



**STRATEGI OPERASI UNIT MOTOR-MOTOR LISTRIK PADA  
PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM KOTA MALANG GUNA  
PENINGKATAN EFISIENSI PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK**

**TESIS**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI SISTEM TENAGA LISTRIK**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Magister Teknik**



**SUTOKO**

**NIM 136060300111015**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2018**

**STRATEGI OPERASI UNIT MOTOR-MOTOR LISTRIK PADA PERUSAHAAN  
DAERAH AIR MINUM KOTA MALANG GUNA PENINGKATAN EFISIENSI  
PENGUNAAN ENERGI LISTRIK**

**TESIS**



oleh:

Nama : Sutoko  
 NIM : 136060300111015  
 Program Magister : Teknik Elektro  
 Minat : Sistem Tenaga Listrik

Naskah ujian tesis ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
 Pada tanggal \_\_\_\_\_

Ketua,

Anggota,

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.  
 NIP. 19730520 200801 1 013

Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc.  
 NIP. 19490309 198602 1 001

Mengetahui,  
 Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT.  
 NIP. 19700329 200012 1 001

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
 FAKULTAS TEKNIK  
 UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
 MALANG**

**2018**

JUDUL TESIS:

**STRATEGI OPERASI UNIT MOTOR-MOTOR LISTRIK PADA PERUSAHAAN  
DAERAH AIR MINUM KOTA MALANG GUNA PENINGKATAN EFISIENSI  
PENGUNAAN ENERGI LISTRIK**

Nama Mahasiswa : Sutoko

NIM : 136060300111015

Program Studi : Program Magister Teknik Elektro

Minat : Sistem Tenaga Listrik

**KOMISI PEMBIMBING**

Ketua : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.

Anggota : Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc.

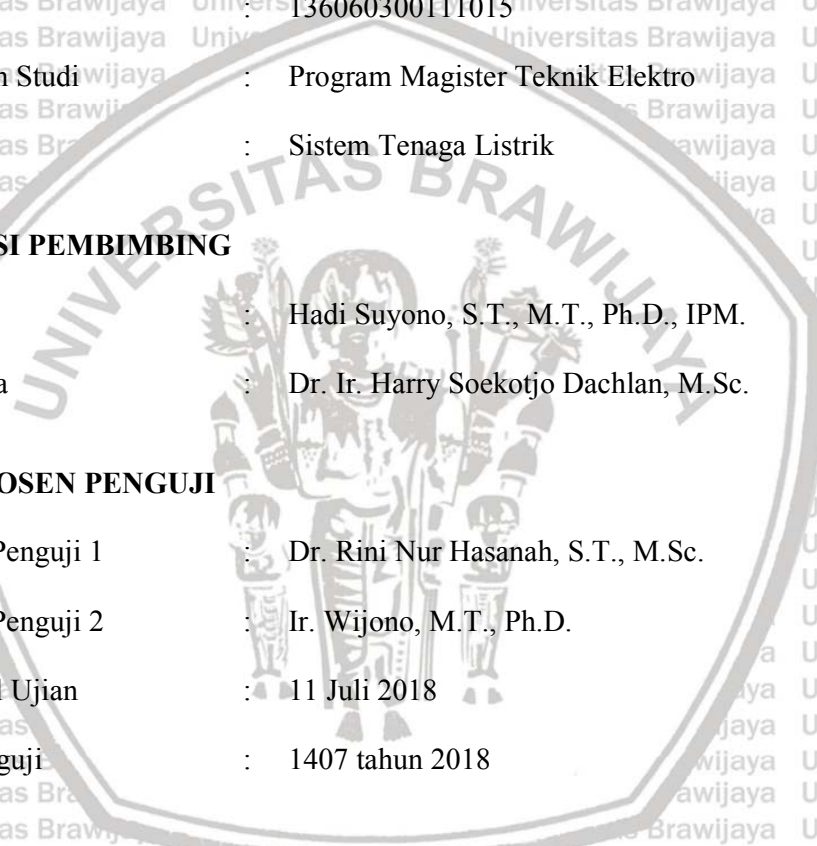
**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji 2 : Ir. Wijono, M.T., Ph.D.

Tanggal Ujian : 11 Juli 2018

SK Penguji : 1407 tahun 2018





## PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2018

Mahasiswa,

SUTOKO

NIM. 136060300111015





*Tulisan Ilmiah ini Kupersembahkan untuk:  
Ibu dan Ayahku yang sangat saya cintai:*

*Istriku Tercinta  
dan*

*Ketiga Buah Hatiku: Erika, Sherline, dan Dika*



## RIWAYAT HIDUP

Sutoko, Malang, 18 Pebruari 1976, anak dari Misidjan dan Mu'ini. Menjalani studi dasar di SDN 02 Kedungsalam. Melanjutkan ke studi lanjutan pertama di SMPN I Pagak lulus tahun 1990. Melanjutkan ke studi tingkat atas di SMAN I Pagak lulus tahun 1993. Mengambil studi lanjutan ke perguruan tinggi jenjang S1 di Universitas Islam Malang lulus tahun 2000. Pengalaman kerja sebagai Staff Pengajar. Studi terakhir adalah pada program Magister (S2) di Program Magister Teknik Elektro Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2013.

Malang, Juli 2018

Penulis





## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian penelitian tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya dan setulusnya kepada:

1. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM., selaku pembimbing utama yang senantiasa memberikan arahan dan garis besar di setiap bimbingan sehingga benar-benar menyalakan semangat penulis dalam penelitian tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc., selaku pembimbing kedua yang selalu aktif memberikan masukan-masukan teknis dan penulisan sehingga esensi penelitian tesis ini benar-benar muncul ke permukaan.
3. Segenap Sivitas Akademika Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
4. Keluarga, yang selalu setia mendampingi dan mendoakan.
5. Saudara, yang selalu memberikan dukungan dengan tulus.
6. Teman-teman, yang selalu memberikan dukungan dan bantuan.
7. Kedua orang tua.

Malang, Juli 2018

Penulis





## RINGKASAN

**Sutoko**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Strategi Operasi Unit Motor-Motor Listrik pada Perusahaan Daerah Air Minum Kota Malang guna Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik*, Dosen Pembimbing: Hadi Suyono dan Harry Soekotjo Dachlan.

Saat ini, Kota Malang memenuhi kebutuhan air bersih untuk penduduknya menggunakan dua metode, yakni secara mandiri dan jasa PDAM (perusahaan daerah air minum) Kota Malang. Pada pemenuhan kebutuhan air bersih secara mandiri, rumah-rumah tempat tinggal maupun tempat industri menggunakan sumur bor pada lahan milik sendiri dan dipompa menggunakan pompa air skala kecil, sedangkan pemenuhan air melalui jasa PDAM Kota Malang dilakukan dengan distribusi menggunakan sistem pemipaan.

Kondisi elevasi keberadaan sumber air yang berbeda-beda mengakibatkan PDAM harus menerapkan dua sistem distribusi, yakni gravitasi dan pompanisasi. Mulai tiga tahun lalu perusahaan menerapkan sistem distribusi air berdasarkan *district metering area* (DMA).

Pada beberapa rumah pompa, motor yang tersedia dioperasikan secara non-stop. Ada yang non-stop bersamaan (pada Rumah Pompa Badut, Sumbersari, Supit Urang, dan Istana Dieng) karena jumlah pompa tunggal atau dua unit. Ada pula yang beroperasi secara non-stop bergantian (pada Rumah Pompa Wendit dan Mojolangu), yaitu menggunakan tiga dari empat pompa yang tersedia, atau menggunakan empat dari lima pompa yang tersedia. Modus operasi non-stop bergantian ini menggunakan standar 1.000 jam operasi untuk setiap motor pompa.

Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan adalah konsumsi energi listrik dan produksi air. Sistem jaringan pipa dan sistem penyimpanan air dalam penelitian ini tidak dibahas. Penelitian ini hanya membahas konsumsi energi yang berasal dari listrik PLN, karena alat ukur yang dimiliki (kWh meter dan kVArh meter) hanya terpasang dari jaringan listrik PLN dan penggunaan generator sangatlah jarang dilakukan. Listrik dari PLN tersebut juga masih dibagi menjadi dua klasifikasi konsumsi, antara lain untuk penerangan dan tenaga pompa air. Yang dibahas pada penelitian ini adalah energi yang dipakai untuk tenaga pompa air. Efisiensi penggunaan energi listrik dari PLN akan menjadi fokus utama pada penelitian ini, yang terdiri dari kualitas daya listrik yang dikonsumsi (berkenaan dengan faktor daya dan efisiensi motor), dan rasio konsumsi listrik terhadap produksi air (disebut juga dengan  $SEC = \text{specific energy consumption}$ ). Produksi air yang dibahas dalam penelitian ini adalah yang menggunakan sistem pemompaan.

Hasil akhir dari penelitian ini adalah memunculkan rekomendasi kepada PDAM Kota Malang, yang berkenaan dengan efisiensi penggunaan energi listrik dan manajemen produksi air.

Kata kunci : PDAM Kota Malang, air minum, motor listrik pompa, energi, SEC.



## SUMMARY

**Sutoko**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2018, Operation Strategy of Electric Motors for Water Pumping on Malang City Regional Water Supply Company (PDAM of Malang City) for Electrical Energy Efficiency Improvement, Academic Supervisor: Hadi Suyono and Harry Soekotjo Dachlan.

Currently, citizen's demand fulfillment of fresh water in Malang City is done through two methods, specifically by self-provision and by PDAM of Malang City (Malang City regional water supply company) service. For the self-provision one, the houses, buildings, and industrial complex utilize drilled wells under their land area using small scale water pumps. PDAM of Malang City service, in contrary, distributes fresh water using pipelining infrastructures.

A wide diversity in fresh water source elevations forced PDAM of Malang City to implement two methods of water distribution, namely gravity-assisted and pumping. Since three years earlier, PDAM of Malang City has implemented the water distribution system based on district metering area. The places where used to be the pumping center are called as pumping station.

Several pumping stations operate the water pump motors 24/7 with no breakdown period, while others operate the motors in rolling breakdown timing. Badut Pumping Station, Summersari Pumping Station, Supit Urang Pumping Station, and Istana Dieng Pumping Station use no breakdown period, since those utilize single or dual unit of motors. Wendit Pumping Station and Mojolangu Pumping Station use rolling breakdown timing, which using seven out of nine, or four out of six, available pump motors. In rolling breakdown timing, each pump motor operates in 1,000-hour start-and-stop sequence.

This study analyzes the electrical energy consumption as well as water production, with the pipeline infrastructure and water reserving system excluded. The energy is limited to the PLN (state electrical company) source, regardless of every pumping station owns their diesel generator due to reliability issue of PLN as electrical power source. Although some power distributed is used for lighting rather than dedicated for pump motors, this study is based on assumption that lighting usage is negligible. Efficiency of the electrical energy usage is where this study focused on. Variables involved are mainly about power quality, power factor, motor efficiency, and the ratio of energy consumption on water production (specific energy consumption – SEC).

Finally, the expected result of this research is to provide useful recommendation for PDAM of Malang City about the energy consumption efficiency and water production management.

**Keywords** : PDAM of Malang City, fresh water, electric pump motor, energy, SEC.



## PENGANTAR

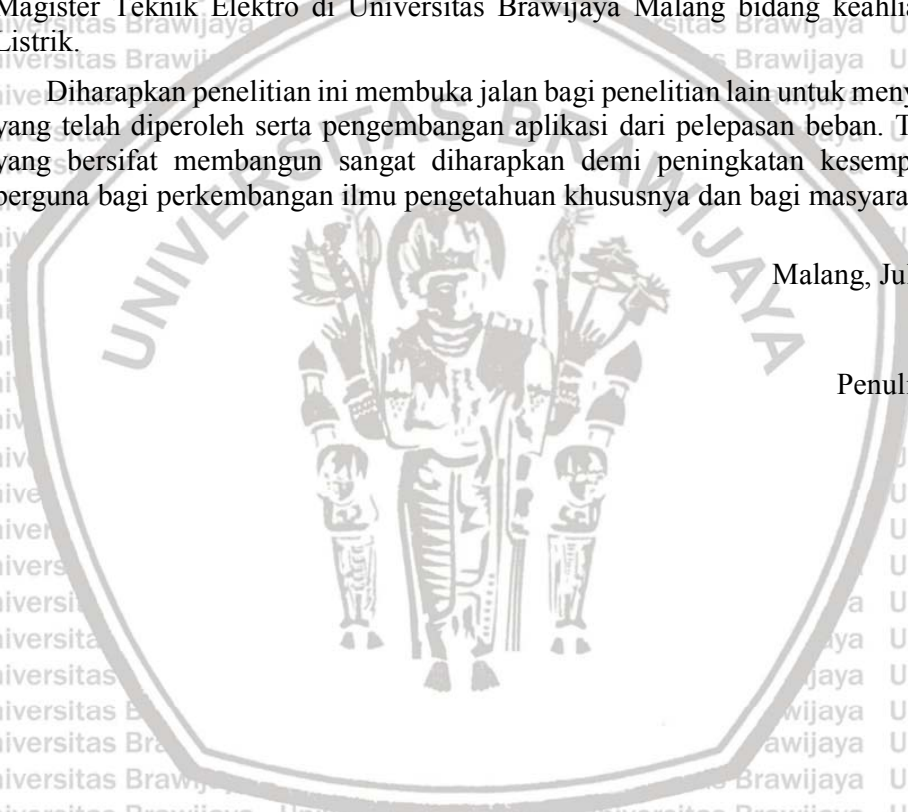
Perkembangan teknologi telah mencapai taraf yang sangat cepat, di mana aplikasinya pada dunia nyata dengan mudah mencapai taraf komersialisasi. Hal ini tidak luput dari perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang kelistrikan. Salah satu aplikasi yang dipakai sebagai kebutuhan masyarakat luas adalah tentang motor pompa air yang dioperasikan oleh PDAM dan efisiensinya. Oleh karenanya motor pompa air dan produksi air merupakan salah satu bidang penelitian yang cukup terbuka lebar untuk para peneliti.

Melalui penelitian ini dicoba untuk mengulas tentang strategi operasi unit motor-motor listrik pada PDAM Kota Malang guna peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik. Penelitian ini juga diajukan sebagai tesis dalam rangka menyelesaikan studi di Program Magister Teknik Elektro di Universitas Brawijaya Malang bidang keahlian Sistem Tenaga Listrik.

Diharapkan penelitian ini membuka jalan bagi penelitian lain untuk menyempurnakan hasil yang telah diperoleh serta pengembangan aplikasi dari pelepasan beban. Tinjauan dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi peningkatan kesempurnaan dan lebih berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dan bagi masyarakat umumnya.

Malang, Juli 2018

Penulis





**DAFTAR ISI**

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>IDENTITAS TIM PENGUJI TESIS</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN TESIS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ix</b>
<b>PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian yang Relevan .....	5
2.2 Motor Induksi .....	6
2.3 Pompa dan Kegunaannya .....	7
2.4 Teori Dasar Pompa .....	8
2.4.1 Tekanan Pompa .....	8
2.4.2 Kapasitas Pompa .....	8
2.4.3 Head .....	9
2.4.4 Kerugian Pompa .....	10
2.4.5 Net Positive Suction Head .....	10
2.4.6 Daya Poros .....	10
2.4.7 Efisiensi Pompa .....	10
2.5 Pompa Sentrifugal .....	11
2.6 Jenis Pompa menurut Letaknya .....	12
2.7 Listrik Arus Bolak-Balik .....	12
2.7.1 Penghitungan Daya .....	12
2.7.2 Daya Kompleks dan Faktor Daya .....	13

2.7.3	Daya Reaktif.....	14
2.8	Kapasitor.....	14
2.9	Variable Frequency Drive.....	15
2.10	ETAP 12.6.0.....	16
2.11	PDAM Kota Malang.....	17
2.12	Konservasi Energi.....	19
<b>BAB III</b>	<b>KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1	Deskripsi Masalah.....	21
3.2	Definisi Operasional Variabel.....	23
3.3	Kerangka Teori Penelitian.....	24
3.4	Alat Penelitian.....	26
3.5	Hipotesis.....	26
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
4.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
4.2	Metode Penelitian.....	28
4.3	Diagram Sistem.....	31
4.4	Target Penelitian.....	31
<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
5.1	Kondisi Instalasi PDAM Kota Malang.....	33
5.2	Rincian Rumah Pompa Utama dan Distribusi.....	35
5.2.1	Rincian Rumah Pompa Wendit 1.....	35
5.2.2	Rincian Rumah Pompa Wendit 2.....	37
5.2.3	Rincian Rumah Pompa Wendit 3.....	38
5.2.4	Rincian Rumah Pompa Mojolangu.....	40
5.2.5	Rincian Rumah Pompa Badut.....	42
5.2.6	Rincian Rumah Pompa Sumpersari.....	44
5.2.7	Rincian Rumah Pompa Istana Dieng.....	46
5.2.8	Rincian Rumah Pompa Supit Urang.....	47
5.3	Analisis Performa dan Rugi-Rugi.....	48
5.3.1	Rekapitulasi Data Semua Pompa.....	48
5.3.2	Analisis Rumah Pompa Wendit 1.....	52
5.3.3	Analisis Rumah Pompa Wendit 2.....	59
5.3.4	Analisis Rumah Pompa Wendit 3.....	66
5.3.5	Analisis Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.....	73
5.3.6	Analisis Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.....	78
5.3.7	Analisis Rumah Pompa Badut Kluster A.....	82
5.3.8	Analisis Rumah Pompa Badut Kluster B.....	90





5.3.9	Analisis Rumah Pompa Sumber Sari .....	97
5.3.10	Analisis Rumah Pompa Istana Dieng .....	104
5.3.11	Analisis Rumah Pompa Supit Urang .....	111
5.4	Analisis Perbandingan Pengukuran .....	118
5.4.1	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 1 .....	120
5.4.2	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 2 .....	120
5.4.3	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 3 .....	121
5.4.4	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Mojolangu .....	121
5.5	Analisis Percobaan Simulasi .....	122
5.5.1	Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 .....	123
5.5.2	Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 .....	126
5.5.3	Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Wendit 2 .....	132
5.5.4	Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Wendit 2 .....	134
5.5.5	Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Mojolangu .....	138
5.5.6	Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Mojolangu .....	141
5.5.7	Simulasi Load Flow pada rumah Pompa Badut .....	146
5.5.8	Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Badut .....	148
5.5.9	Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Sumber Sari .....	153
5.5.10	Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Sumber Sari .....	154
5.5.11	Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Istana Dieng .....	159
5.5.12	Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Istana Dieng .....	160
5.5.13	Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Supit Urang .....	165
5.5.14	Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Supit Urang .....	166
5.6	Rekapitulasi Analisis .....	171
5.6.1	Rekapitulasi Efisiensi Energi .....	171
5.6.2	Rekapitulasi Perbandingan Pengukuran .....	172
5.6.3	Rekapitulasi Simulasi .....	173
5.7	Rekomendasi .....	175

**BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....** **177**

6.1 Kesimpulan .....

6.2 Saran .....

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



**DAFTAR TABEL**

<b>No.</b>	<b>Nama Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 5.1	Data Pompa PDAM Kota Malang.....	50
Tabel 5.2	Pembagian Faktor Kluster Pompa.....	51
Tabel 5.3	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Wendit 1.....	53
Tabel 5.4	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Wendit 1.....	54
Tabel 5.5	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Wendit 1.....	57
Tabel 5.6	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Wendit 2.....	60
Tabel 5.7	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Wendit 2.....	61
Tabel 5.8	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Wendit 2.....	63
Tabel 5.9	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Wendit 3.....	67
Tabel 5.10	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Wendit 3.....	68
Tabel 5.11	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Wendit 3.....	71
Tabel 5.12	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.....	74
Tabel 5.13	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.....	75
Tabel 5.14	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.....	78
Tabel 5.15	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.....	79
Tabel 5.16	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Badut Kluster A.....	83
Tabel 5.17	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Badut Kluster A.....	84
Tabel 5.18	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Badut Kluster A.....	87
Tabel 5.19	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Badut Kluster B.....	91
Tabel 5.20	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Badut Kluster B.....	92
Tabel 5.21	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Badut Kluster B.....	95
Tabel 5.22	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Sumpersari.....	98
Tabel 5.23	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Sumpersari.....	99
Tabel 5.24	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Sumpersari.....	101
Tabel 5.25	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Istana Dieng.....	105



Tabel 5.26	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Istana Dieng.....	106
Tabel 5.27	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Istana Dieng.....	108
Tabel 5.28	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai <i>Nameplate</i> ) Rumah Pompa Supit Urang.....	112
Tabel 5.29	Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Supit Urang.....	113
Tabel 5.30	Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Supit Urang .....	115
Tabel 5.31	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 1 pada Juli 2016 .....	120
Tabel 5.32	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 2 pada Juli 2016 .....	120
Tabel 5.33	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 3 pada Juli 2016 .....	121
Tabel 5.34	Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Mojolangu pada Juli 2016.....	121
Tabel 5.35	<i>Event Simulasi Motor Starting</i> pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3	126
Tabel 5.36	<i>Event Simulasi Motor Starting</i> pada Rumah Pompa Wendit 2.....	134
Tabel 5.37	<i>Event Simulasi Motor Starting</i> pada Rumah Pompa Mojolangu .....	141
Tabel 5.38	<i>Event Simulasi Motor Starting</i> pada Rumah Pompa Badut.....	148
Tabel 5.39	<i>Event Simulasi Motor Starting</i> pada Rumah Pompa Sumpersari .....	154
Tabel 5.40	<i>Event Simulasi Motor Starting</i> pada Rumah Pompa Istana Dieng .....	160
Tabel 5.41	<i>Event Simulasi Motor Starting</i> pada Rumah Pompa Supit Urang .....	166
Tabel 5.42	Rekapitulasi Efisiensi Energi PDAM Kota Malang .....	172
Tabel 5.43	Rekapitulasi Perbandingan Pengukuran PDAM Kota Malang .....	172
Tabel 5.44	Rekapitulasi Perbandingan Simulasi <i>Load Flow</i> PDAM Kota Malang .....	173
Tabel 5.45	Rekapitulasi Perbandingan Pembayaran Rekening Listrik Juli 2016 berdasarkan Simulasi <i>Load Flow</i> pada PDAM Kota Malang .....	174
Tabel 5.46	Rekapitulasi Perbandingan Simulasi <i>Motor Starting</i> PDAM Kota Malang .....	174
Tabel 5.47	Matriks Rekomendasi untuk PDAM Kota Malang .....	175





DAFTAR GAMBAR

No.	Nama Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Bagian stator dari motor induksi.....	6
Gambar 2.2	Rotor sangkar pada motor induksi.....	6
Gambar 2.3	Rotor belitan pada motor induksi.....	7
Gambar 2.4	Segitiga daya.....	13
Gambar 2.5	Kapasitor yang terhubung dengan beban.....	15
Gambar 2.6	Prinsip dasar <i>variable frequency drive</i> .....	16
Gambar 3.1	Kerangka teori penelitian.....	25
Gambar 4.1	Diagram alir metode penelitian.....	29
Gambar 4.2	Diagram sistem penelitian.....	30
Gambar 5.1	Gambaran umum instalasi PDAM Kota Malang.....	34
Gambar 5.2	Bagan Rumah Pompa Wendit 1 dan distribusinya.....	35
Gambar 5.3	<i>One-line diagram</i> gabungan Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3.....	36
Gambar 5.4	Motor Pompa 1, 2, 3, dan 4 pada Rumah Pompa Wendit 1.....	36
Gambar 5.5	Bagan Rumah Pompa Wendit 2 dan distribusinya.....	37
Gambar 5.6	Motor Pompa 1, 2, 3, dan 4 pada Rumah Pompa Wendit 2.....	38
Gambar 5.7	Bagan Rumah Pompa Wendit 3 dan distribusinya.....	39
Gambar 5.8	Motor Pompa 1, 2, 3, 4, dan 5 dari Rumah Pompa Wendit 3.....	39
Gambar 5.9	Bagan Rumah Pompa Mojolangu dan distribusinya.....	40
Gambar 5.10	<i>One-line diagram</i> Rumah Pompa Mojolangu.....	41
Gambar 5.11	Pompa ke pelanggan dari Rumah Pompa Mojolangu.....	41
Gambar 5.12	Pompa ke arah Tlogomas dari Rumah Pompa Mojolangu.....	42
Gambar 5.13	<i>One-line diagram</i> Rumah Pompa Badut.....	43
Gambar 5.14	Pompa pertama dari Rumah Pompa Badut.....	43
Gambar 5.15	Pompa kedua dari Rumah Pompa Badut.....	44
Gambar 5.16	<i>One-line diagram</i> pada Rumah Pompa Sumpersari.....	45
Gambar 5.17	Pompa dari Rumah Pompa Sumpersari.....	45
Gambar 5.18	<i>One-line diagram</i> dari Rumah Pompa Istana Dieng.....	46
Gambar 5.19	Pompa dari Rumah Pompa Istana Dieng.....	46
Gambar 5.20	<i>One-line diagram</i> dari Rumah Pompa Supit Urang.....	47
Gambar 5.21	Pompa dari Rumah Pompa Supit Urang.....	48
Gambar 5.22	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 1.....	55
Gambar 5.23	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 1.....	56
Gambar 5.24	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 1.....	58



Gambar 5.25	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Wendit 1.....	59
Gambar 5.26	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 2.....	62
Gambar 5.27	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 2.....	63
Gambar 5.28	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 2.....	65
Gambar 5.29	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Wendit 2.....	66
Gambar 5.30	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 3.....	69
Gambar 5.31	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 3.....	70
Gambar 5.32	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 3.....	72
Gambar 5.33	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Wendit 3.....	73
Gambar 5.34	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.....	76
Gambar 5.35	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.....	77
Gambar 5.36	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.....	81
Gambar 5.37	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.....	82
Gambar 5.38	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster A.....	86
Gambar 5.39	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster A.....	87
Gambar 5.40	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Badut Kluster A.....	89
Gambar 5.41	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Badut Kluster A.....	90
Gambar 5.42	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster B.....	93
Gambar 5.43	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster B.....	94
Gambar 5.44	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Badut Kluster B.....	96
Gambar 5.45	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Badut Kluster B.....	97
Gambar 5.46	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Sumpersari.....	100
Gambar 5.47	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Sumpersari.....	101
Gambar 5.48	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Sumpersari.....	103
Gambar 5.49	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Sumpersari.....	104
Gambar 5.50	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Istana Dieng.....	107
Gambar 5.51	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Istana Dieng.....	108
Gambar 5.52	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Istana Dieng.....	110
Gambar 5.53	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Istana Dieng.....	111
Gambar 5.54	Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Supit Urang.....	114
Gambar 5.55	Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Supit Urang.....	115
Gambar 5.56	Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Supit Urang.....	117
Gambar 5.57	Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Supit Urang.....	118



Gambar 5.58	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 1.....	124
Gambar 5.59	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 3.....	125
Gambar 5.60	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.....	127
Gambar 5.61	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dengan kondisi menggunakan kapasitor.....	128
Gambar 5.62	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dengan kondisi menggunakan VFD.....	129
Gambar 5.63	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 1 yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.....	130
Gambar 5.64	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 1 yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.....	130
Gambar 5.65	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 3 yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.....	131
Gambar 5.66	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 3 yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.....	131
Gambar 5.67	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 2.....	133
Gambar 5.68	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 2 dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.....	135
Gambar 5.69	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 2 dengan kondisi menggunakan kapasitor.....	135
Gambar 5.70	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 2 dengan kondisi menggunakan VFD.....	136
Gambar 5.71	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 2 yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.....	137
Gambar 5.72	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 2 yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.....	137





Gambar 5.73	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.	139
Gambar 5.74	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.	140
Gambar 5.75	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Mojolangu dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.	142
Gambar 5.76	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Mojolangu dengan kondisi menggunakan kapasitor.	143
Gambar 5.77	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Mojolangu dengan kondisi menggunakan VFD.	144
Gambar 5.78	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Mojolangu yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.	145
Gambar 5.79	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Mojolangu yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.	145
Gambar 5.80	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Badut Kluster A.	147
Gambar 5.81	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Badut Kluster B.	148
Gambar 5.82	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Badut dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.	149
Gambar 5.83	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Badut dengan kondisi menggunakan kapasitor.	150
Gambar 5.84	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Badut dengan kondisi menggunakan VFD.	151
Gambar 5.85	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Badut yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.	152
Gambar 5.86	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Badut yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.	152
Gambar 5.87	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Sumpersari.	154
Gambar 5.88	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Sumpersari dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.	155



Gambar 5.89	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Sumpersari dengan kondisi menggunakan kapasitor.....	156
Gambar 5.90	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Sumpersari dengan kondisi menggunakan VFD.....	157
Gambar 5.91	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Sumpersari yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.....	158
Gambar 5.92	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Sumpersari yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.....	158
Gambar 5.93	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Istana Dieng.....	160
Gambar 5.94	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Istana Dieng dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.....	161
Gambar 5.95	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Istana Dieng dengan kondisi menggunakan kapasitor.....	162
Gambar 5.96	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Istana Dieng dengan kondisi menggunakan VFD.....	163
Gambar 5.97	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Istana Dieng yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.....	164
Gambar 5.98	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Istana Dieng yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.....	164
Gambar 5.99	Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi <i>load flow</i> menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Supit Urang.....	166
Gambar 5.100	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Supit Urang dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.....	167
Gambar 5.101	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Supit Urang dengan kondisi menggunakan kapasitor.....	168
Gambar 5.102	Simulasi <i>motor starting</i> yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Supit Urang dengan kondisi menggunakan VFD.....	169
Gambar 5.103	Simulasi <i>motor starting</i> pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Supit Urang yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.....	170

Gambar 5.104 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Supit Urang yang menunjukkan kecepatan motor dan slip motor dengan kondisi menggunakan VFD.







# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kota Malang memiliki lima kecamatan yaitu kecamatan Sukun, Kedungkandang, Klojen, Lowokwaru, dan Blimbing. Dengan total penduduk sebanyak 881.794 jiwa pada tahun 2015 dan sebanyak 887.443 jiwa pada tahun 2016, Kota Malang memiliki laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,58% per tahun. (Pemerintah Kota Malang, 2004)

Saat ini, Kota Malang memenuhi kebutuhan air bersih untuk penduduknya menggunakan dua metode, yakni secara mandiri dan jasa PDAM (perusahaan daerah air minum) Kota Malang. Pada pemenuhan kebutuhan air bersih secara mandiri, rumah-rumah tempat tinggal maupun tempat industri menggunakan sumur bor pada lahan milik sendiri dan dipompa menggunakan pompa air skala kecil, sedangkan pemenuhan air melalui jasa PDAM Kota Malang dilakukan dengan distribusi menggunakan sistem pemipaan.

Kondisi elevasi keberadaan sumber air yang berbeda-beda mengakibatkan PDAM harus menerapkan 2 sistem distribusi yakni gravitasi dan pompanisasi. Mulai tiga tahun lalu perusahaan menerapkan sistem distribusi air berdasarkan *District Metering Area* (DMA). Pembentukan DMA ini dianggap sebagai cara yang paling efektif dalam pendistribusian air yang dapat membantu PDAM mengendalikan kehilangan air, mengendalikan kualitas air dan tekanan air serta fungsi pendistribusian lainnya. DMA diatur berdasarkan sumber air baku dan tandon yang melayani sistem distribusi tersebut. Jumlah DMA yang terbentuk sampai saat ini berjumlah 156. Dari jumlah tersebut 109 di antaranya sudah terpasang sarana untuk kegiatan penurunan kehilangan air sedangkan yang lainnya masih akan dibangun sesuai dengan standar DMA yang benar. Setiap DMA melayani pelanggan sekitar 500 sampai dengan 1000 sambungan. Sekitar 25 DMA akan terus dievaluasi untuk membentuk DMA yang tepat. (PDAM Kota Malang, 2014)

Sumber yang menggunakan sistem gravitasi adalah sumber yang berada di Kota Batu yakni Banyuning dan sebagian sumber yang berada di Kabupaten Malang yakni Sumpersari. Sumber wendit yang berada di elevasi 400 dpm. menggunakan sistem pompanisasi. Sumber wendit terdiri dari 3 lokasi yakni Wendit 1, Wendit 2 dan Wendit 3. Dengan jumlah total kapasitas produksi yang ada fasilitas pompa memerlukan tenaga listrik yang relatif besar. Selain didistribusikan langsung ke pelanggan, air dari sumber Wendit dialirkan ke tandon



Buring dan tandon Mojolangu. Air dari tandon Buring didistribusikan ke pelanggan sedangkan air yang masuk tandon Mojolangu sebagian didistribusikan dengan pompa ke pelanggan dan sebagian dipompa masuk ke tandon Tlogomas. Dengan demikian maka air yang masuk tandon Tlogomas dari Mojolangu mengalami dua kali pemompaan akibat kondisi elevasi yang tidak memungkinkan. Selain sumber Wendit, sistem pompanisasi juga dilakukan di sumber Badut, Supit Urang dan Istana Dieng yang semuanya merupakan sumber dari sumur air dalam yang lokasinya berada di Kota Malang dengan kapasitas sumber yang relatif kecil dibandingkan dengan sumber Wendit. Sumber sumber tersebut menggunakan sistem pompanisasi dari sumber ke tandon, sedangkan distribusi ke pelanggan menggunakan gravitasi dari tandon. (PDAM Kota Malang, 2014)

Pada beberapa rumah pompa, motor yang tersedia dioperasikan secara non-stop. Ada yang non-stop bersamaan (pada Rumah Pompa Badut, Sumpersari, Supit Urang, dan Istana Dieng) karena jumlah pompa tunggal atau dua unit. Ada pula yang beroperasi secara non-stop bergantian (pada Rumah Pompa Wendit dan Mojolangu), yaitu menggunakan 3 pompa dari 4 pompa yang tersedia, atau menggunakan 4 pompa dari 5 pompa yang tersedia. Modus operasi non-stop bergantian ini menggunakan standar 1.000 jam operasi untuk setiap motor pompa. Waktu operasi pompa dibagi menjadi dua periode per hari, yaitu WBP (waktu beban puncak) PLN mulai dari pukul 18.00 sampai 22.00, dan LWBP (luar waktu beban puncak) PLN mulai dari pukul 22.00 hingga 18.00. (PDAM Kota Malang, 2014)

Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan adalah konsumsi energi listrik dan produksi air. Sistem jaringan pipa dan sistem penyimpanan air dalam penelitian ini tidak dibahas. Konsumsi energi yang tersedia saat ini pada PDAM Kota Malang ada dua macam, yaitu listrik dari PLN dan listrik dari generator diesel milik PDAM sendiri. Penelitian ini hanya membahas konsumsi energi yang berasal dari listrik PLN, karena alat ukur yang dimiliki (kWh meter dan kVArh meter) hanya terpasang dari jaringan listrik PLN dan penggunaan generator sangatlah jarang dilakukan. Listrik dari PLN tersebut juga masih dibagi menjadi dua klasifikasi konsumsi, antara lain untuk penerangan dan tenaga pompa air. Yang dibahas pada penelitian ini adalah energi yang dipakai untuk tenaga pompa air. Efisiensi penggunaan energi listrik dari PLN akan menjadi fokus utama pada penelitian ini, yang terdiri dari kualitas daya listrik yang dikonsumsi (berkenaan dengan faktor daya dan efisiensi motor), dan rasio konsumsi listrik terhadap produksi air (disebut juga dengan SEC – *specific energy consumption*). Produksi air yang dibahas dalam penelitian ini adalah yang



menggunakan sistem pemompaan. Penggunaan sistem gravitasi tidak dibahas dalam penelitian ini.

Dari data yang telah didapatkan mulai Januari 2014 hingga Juli 2016, diketahui bahwa biaya produksi air PDAM Kota Malang pada tahun 2014 adalah sebesar  $0,63 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $616,00 \text{ IDR}\cdot\text{m}^{-3}$  menggunakan tarif progresif tahun itu), pada tahun 2015 adalah sebesar  $0,56 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $681,00 \text{ IDR}\cdot\text{m}^{-3}$  menggunakan tarif progresif tahun itu), dan pada tahun 2016 adalah sebesar  $0,58 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $650,00 \text{ IDR}\cdot\text{m}^{-3}$  menggunakan tarif progresif tahun itu). Efisiensi energi tersebut masih terlalu tinggi bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM bahwa untuk PDAM efisiensi produksi air sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ . (Direktorat Pengembangan Air Minum, 2014)

Investigasi yang telah dilakukan per tahun 2016 memberikan fakta bahwa sebagian rumah pompa yang dimiliki PDAM Kota Malang mengoperasikan motor pompa tanpa penggunaan kapasitor dan tidak menggunakan perangkat bantuan untuk proses *starting*. Selain itu pencatatan otomatis (*data logger*) untuk parameter setiap motor pompa masih dilakukan di sebagian rumah pompa dengan jeda waktu satu jam, padahal proses *starting* motor terjadi dalam skala detik dan anomali yang mungkin terjadi seperti lonjakan arus terjadi dalam skala detik.

Oleh karena itu, maka tujuan dari penelitian ini adalah memberikan alternatif solusi dan rekomendasi kepada PDAM Kota Malang, yang berkenaan dengan efisiensi penggunaan energi listrik dan manajemen produksi air. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan pengumpulan dan pemetaan data untuk kemudian dilakukan analisis yang akan menghasilkan alternatif solusi pada PDAM Kota Malang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah ditulis sebelumnya maka pada penelitian ini memiliki beberapa permasalahan yang akan diteliti:

1. Bagaimana analisis efisiensi penggunaan energi listrik terhadap volume produksi air pada PDAM Kota Malang.
2. Bagaimana alternatif solusi terhadap permasalahan produksi dan konsumsi energi listrik yang terjadi pada PDAM Kota Malang.



### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk melakukan analisis efisiensi penggunaan energi listrik terhadap volume produksi air pada PDAM Kota Malang.
2. Untuk memberikan alternatif solusi terhadap permasalahan produksi dan konsumsi energi listrik yang terjadi pada PDAM Kota Malang.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di PDAM Kota Malang
2. Analisis yang dilakukan adalah terhadap data konsumsi energi listrik, data produksi air, dan *data log* PDAM Kota Malang, yang ditunjang dengan hasil simulasi *load flow* dan *motor starting*.
3. Peralatan yang ada di PDAM Kota Malang yang dipakai meliputi voltmeter, amperemeter, *data logger*, kWh meter, kVRAh meter, dan *water flow meter*. Peralatan yang dipakai untuk simulasi adalah perangkat lunak simulasi ETAP Power Station 12.6.0.
4. Data bulanan yang diambil dan diperhitungkan adalah dari Januari 2014 hingga Juli 2016.
5. Tempat yang diperhitungkan adalah yang menggunakan motor pompa.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mengevaluasi atau melakukan audit penggunaan energi terhadap produksi air di PDAM Kota Malang.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian yang Relevan

Pada tahun 1992, Choudhury melakukan penelitian tentang penentuan kondisi operasi dari motor induksi submersibel. Pada penelitian tersebut dinyatakan bahwa kecepatan operasi motor induksi submersibel perlu diatur untuk mencapai efisiensi maksimal. Hal tersebut bisa dicapai dengan cara mengoperasikan motor pada slip yang konstan. Pada aplikasi pompa submersibel, kecepatan putar motor induksi penggerak tersebut juga sangat penting untuk bisa diatur agar efisiensi maksimal bisa tercapai. Penelitian tersebut mengembangkan metode baru untuk menentukan kecepatan putar motor induksi dari tegangan dan arus yang masuk. (Choudhury & Rahman, 1992)

Liang pada tahun 2012 melakukan penelitian tentang respon dinamis dari VFD (*variable frequency drive*) pada motor pompa submersibel. Penelitian tersebut melakukan analisis tentang respon dinamis dari VFD selama terjadinya gangguan hubung singkat pada motor listrik pompa submersibel. Karena karakteristik khusus yang dimiliki VFD dan pompa submersibel, maka respon dinamis pada putaran motor di saat terjadi gangguan sangat berbeda daripada kondisi umum sistem pendistribusian listrik. Penelitian tersebut menggunakan simulasi dari PSCAD yang memberikan gambaran rinci dan jelas tentang bagaimana VFD dan motor pompa submersibel bereaksi pada setiap kondisi gangguan. (Liang, Ilochonwu, & Adedun, 2012)

Maheswaran pada tahun 2012 mempublikasikan karya ilmiah tentang efisiensi energi pada sistem kelistrikan. Karya ilmiah tersebut mempresentasikan studi kasus tentang beragam teknik efisiensi energi yang digunakan pada pabrik pengolahan baja, dan menghasilkan penghematan energi listrik antara 10% hingga 15%. (Maheswaran, Kalias, Rangaraj, & Kumar, 2012)

Pada tahun 2014, Vasconcellos melakukan penelitian tentang efisiensi kelistrikan dan distorsi harmonisa pada penggunaan VFD pada sistem motor pompa air. Penelitian tersebut berfokus pada kenyataan bahwa penggunaan VFD menghasilkan harmonisa pada arus, yang akan mengganggu sumber tegangan pada sistem. Pada penelitian tersebut ditunjukkan keuntungan yang didapatkan dari penurunan aliran air pada sistem pompa dengan penggunaan VFD. (Vasconcellos, de Carvalho, de Carvalho, & Monteiro, 2014)



## 2.2 Motor Induksi

Motor induksi adalah motor dengan pasokan daya berupa arus bolak-balik (AC) yang umum digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Bagian stator motor induksi ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kumparan pada stator berhubungan dengan sumber tegangan tiga fasa dan menghasilkan medan magnet yang berputar pada kecepatan sinkron. (Sularso & Tahara, 1991)



Gambar 2.1 Bagian stator dari motor induksi.  
Sumber : (Sularso & Tahara, 1991)

Medan magnet putar pada stator tersebut akan memotong kumparan pada rotor, sehingga menginduksi arus. Sesuai dengan hukum Lenz, rotor akan turut mengikuti medan putar stator.



Gambar 2.2 Rotor sangkar pada motor induksi.  
Sumber : (Sularso & Tahara, 1991)

Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor dan akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor akan bertambah besar. Jadi bila beban motor bertambah besar, putaran rotor akan cenderung menurun. Ada dua tipe motor induksi, yaitu:

1. Motor induksi dengan rotor belitan; dan
2. Motor induksi dengan rotor sangkar. (Sularso & Tahara, 1991)



Gambar 2.3 Rotor belitan pada motor induksi.  
Sumber : (Sularso & Tahara, 1991)

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan rotor sangkar yang ada pada motor induksi, sementara rotor belitan ditunjukkan pada Gambar 2.3.

### 2.3 Pompa dan Kegunaannya

Pompa merupakan perangkat yang digunakan untuk mengubah energi mekanik (dari mesin penggerak pompa) menjadi energi tekan pada fluida yang dipompa. Pada umumnya pompa digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain yang lebih tinggi tempatnya, tinggi tekanannya, ataupun untuk sirkulasi.

Cara untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi tekan fluida tersebut antara lain:

1. Menggunakan sudu atau impeler dengan bentuk tertentu.
2. Menggunakan gerak bolak-balik piston.
3. Menukar energi menggunakan fluida perantara yang berkecepatan tinggi dan dicampur dengan fluida yang dipompa berkecepatan rendah. Cara ini biasanya digunakan pada pompa jet (*jet pump*).



4. Menggunakan fluida bertekanan tinggi yang dimasukkan ke dalam saluran yang berisi fluida yang dipompa. Cara ini digunakan pada air atau gas.

Ada berbagai macam pompa, yang didasarkan pada:

1. Tekanan keluaran (rendah, sedang, dan tinggi).
2. Kapasitas yang dihasilkan (rendah, sedang, dan tinggi).
3. Fluida yang ditangani (air, minyak, susu, dan sebagainya).
4. Posisi atau kedudukannya (mendatar, tegak, dan sebagainya).

Sistem klasifikasi pompa yang lebih kuat adalah yang didasarkan pada bagaimana energi ditambahkan pada fluida yang dipompa. Dalam sistem klasifikasi ini, secara garis besar pompa dapat dibagi menjadi:

1. Pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*).
2. Pompa dinamik (*dynamic pump* atau *non positive displacement pump*). (Sularso & Tahara, 1991)

## 2.4 Teori Dasar Pompa

Dasar-dasar teori yang berhubungan dengan pompa, antara lain: tekanan, kapasitas pompa, *head*, kerugian (*losses*), *net positive suction head*, daya poros, dan efisiensi.

### 2.4.1 Tekanan Pompa

Dalam pengukuran tekanan dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Tekanan absolut.
2. Tekanan relatif.

Alat ukur tekanan yang terpasang pada saluran hisap biasanya menunjukkan tekanan di bawah tekanan atmosfer. Selain kedua istilah tersebut terdapat pula istilah tekanan statis, tekanan dinamis, dan tekanan total. (Sularso & Tahara, 1991)

### 2.4.2 Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa adalah jumlah aliran tiap satuan waktu. Dalam teori pompa, kapasitas ini dibedakan menjadi:

1. Kapasitas teoritis, yaitu kapasitas ideal dari suatu pompa. Kapasitas jenis ini tidak memperhitungkan kebocoran-kebocoran di dalam pompa.



2. Kapasitas aktual, yaitu jumlah cairan yang mengalir keluar pompa tiap satuan waktu.  
Kapasitas aktual merupakan kapasitas teoritis ditambah dengan kebocoran.
3. Kapasitas optimum, yaitu kapasitas yang didapat pada saat pompa bekerja pada efisiensi total yang maksimum. (Sularso & Tahara, 1991)

#### 2.4.3 Head

*Head* di dalam perpompaan dapat didefinisikan secara sederhana sebagai energi tiap satuan berat. *Head* dari sistem instalasi pompa dapat dibedakan menjadi *head* statis (tidak dipengaruhi debit, hanya beda tekanan dan ketinggian) dan *head* dinamis (dipengaruhi oleh debit, terdiri dari *losses* karena gesekan, *fitting*, dan juga pada saat masuk dan keluar saluran).

Ada tiga bagian dari *head*, yaitu:

1. *Head* total

Merupakan *head* yang harus disediakan oleh pompa untuk memindahkan fluida dari suatu titik ke titik yang lain tergantung pada perbedaan tekanan fluida pada masing-masing titik, perbedaan ketinggian, kecepatan aliran, dan instalasi pipa.

2. *Head* rugi

*Head* rugi yang terjadi pada instalasi disebabkan gesekan di dalam pipa, kerugian pada belokan, kerugian pada katup, maupun kerugian karena pembesaran atau penyempitan pipa secara tiba-tiba. Besarnya kerugian yang timbul dalam instalasi tergantung pada kecepatan aliran, geometri saluran, dan kondisi permukaan saluran yang digunakan.

3. *Head* yang tersedia

Untuk mencegah terjadinya kavitasi, maka diusahakan agar tidak satu bagaimanapun aliran di dalam pompa yang mempunyai tekanan di bawah tekanan uap jenuhnya. Sehubungan dengan hal tersebut maka didefinisikan suatu besaran yang berguna untuk memperkirakan keamanan pompa terhadap terjadinya kavitasi, yaitu tekanan hisap positif neto (*net positive suction head* – NPSH). Ada dua jenis NPSH yang dipertimbangkan, yaitu NPSH yang dibutuhkan dan NPSH yang tersedia. (Sularso & Tahara, 1991)



#### 2.4.4 Kerugian Pompa

Dalam aliran, kerugian pompa dibedakan menjadi:

1. Kerugian mayor, adalah kerugian karena gesekan aliran dengan pipa dan besarnya kerugian ini dapat diprediksi.
2. Kerugian minor, adalah kerugian aliran pada saat melewati *fitting* dan hambatan aliran. (Sularso & Tahara, 1991)

#### 2.4.5 Net Positive Suction Head

*Net positive suction head* adalah tinggi hisap positif (m) yang diperoleh pada saat pompa bekerja. Sehubungan dengan kavitasasi (penguapan karena tekanan berada di bawah tekanan jenuh), NPSH dibedakan antara NPSH yang tersedia (NPSHA – *net positive suction head available*), yang tergantung pada kondisi instalasi pompa, dan NPSH yang dibutuhkan (NPSHR – *net positive suction head requirement*). Informasi parameter ini diberikan oleh pabrik pembuat pompa. Dalam instalasi pompa tidak terjadi kavitasasi bila NPSHA lebih besar daripada NPSHR. (Sularso & Tahara, 1991)

#### 2.4.6 Daya Poros

Bila pompa dihubungkan langsung dengan mesin penggerak (motor listrik) maka daya poros ini kira-kira sama dengan daya motor listriknya. (Sularso & Tahara, 1991)

#### 2.4.7 Efisiensi Pompa

Pada pompa kita mengenal beberapa macam efisiensi:

1. Efisiensi volumetris

Efisiensi ini disebabkan karena adanya kebocoran di dalam pompa. Artinya fluida yang sudah mengalami pemompaan kembali lagi ke sisi hisap dengan melewati sela antara bagian yang bergerak dengan bagian yang diam, yang mana fluida ini mengalami pemompaan lagi.

2. Efisiensi hidrolis

Efisiensi ini disebabkan karena adanya kerugian-kerugian aliran dalam pompa, misalnya karena adanya turbulensi.

3. Efisiensi mekanis



Efisiensi ini timbul karena adanya kerugian gesekan mekanis pompa (gesekan pada bantalan, kotak packing, dan sebagainya).

#### 4. Efisiensi total

Efisiensi ini adalah perkalian dari efisiensi volumetris, efisiensi hidrolis, dan efisiensi mekanis. (Sularso & Tahara, 1991)

## 2.5 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah pompa yang digerakkan oleh motor listrik, yang mana daya dari motor diberikan kepada poros pompa untuk memutar *impeler* yang terpasang pada poros tersebut. Zat cair yang ada di dalam *impeler* akan ikut berputar karena dorongan sudu-sudu. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah *impeler* akan keluar melalui saluran di antara sudu-sudu dan meninggalkan *impeler* dengan kecepatan tinggi.

Zat cair yang keluar dari *impeler* dengan kecepatan tinggi tersebut kemudian akan keluar melalui saluran yang penampangnya makin membesar sehingga terjadi perubahan dari *head* kecepatan menjadi *head* tekanan. Oleh sebab itu, zat cair yang keluar dari flens pompa memiliki *head* total yang lebih besar.

Penghisapan terjadi karena setelah zat cair dilempar oleh *impeler*, ruang di antara sudu-sudu menjadi turun tekanannya, sehingga zat cair akan terhisap masuk.

Selisih energi per satuan berat atau *head* total dari zat cair pada flens keluar dan flens masuk disebut *head* pompa total. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pompa sentrifugal berfungsi mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan *head* kecepatan, *head* tekan, dan *head* potensial secara kontinyu.

Pompa jenis ini diklasifikasikan menjadi:

### 1. Pompa aliran radial (*radial flow*)

Pompa ini memiliki konstruksi sedemikian rupa sehingga aliran zat cair yang keluar dari *impeler* akan tegak lurus dengan poros pompa.

### 2. Pompa aliran campuran (*mixed flow*)

Aliran zat cair di dalam pompa ini saat meninggalkan *impeler* bergerak sepanjang permukaan kerucut (miring), sehingga komponen kecepatan alirannya berarah radial dan aksial (campuran).



3. Pompa aliran aksial

Aliran zat cair yang meninggalkan impeler bergerak sepanjang permukaan silinder (arah aksial).

2.6 Jenis Pompa menurut Letaknya

Menurut letaknya, pompa dibagi menjadi dua macam, yaitu pompa hisap (*suction pump*) dan pompa benam (*submersible pump*). Pompa hisap adalah pompa yang perangkat putarnya diletakkan di permukaan tanah, sedangkan permukaan air berada di bawah peletakan pompa tersebut. Jenis pompa ini melakukan kerja menghisap fluida dengan cara menggunakan media fluida lainnya yang dipindahkan dengan kecepatan tinggi. Pompa jenis berikutnya adalah pompa benam, yang merupakan pompa dengan perangkat yang seluruhnya diletakkan di bawah permukaan air. Pompa jenis ini melakukan operasinya dengan mendorong fluida ke permukaan tanah.

2.7 Listrik Arus Bolak-Balik

Berbeda dengan listrik arus searah (DC), listrik arus bolak balik (AC) merupakan aliran listrik yang selalu mengubah arah arusnya secara periodik. Biasanya frekuensi perubahan arah arus tersebut memiliki standar 50 Hz atau 60 Hz.

2.7.1 Penghitungan Daya

Tegangan adalah energi per satuan muatan, sedangkan arus adalah muatan per satuan waktu. Sehingga daya atau energi listrik per satuan waktu pada suatu hambatan bisa diungkapkan seperti pada Persamaan (2-1).

$$p = vi = I^2R = \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots (2-1)$$

Untuk tegangan dan arus yang berubah secara sinus, nilai sesaat dari daya juga bersifat periodik. Oleh karena itu, daya dari listrik bolak-balik dalam suatu hambatan bisa diungkapkan pada Persamaan (2-2).

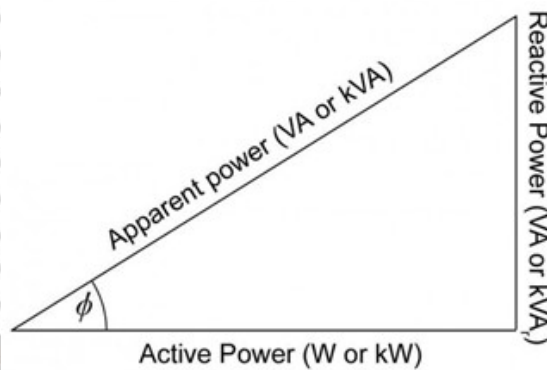
$$P = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i^2R dt = I^2R = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (2-2)$$

Nilai arus atau tegangan ini paling banyak dipakai dan ditulis tanpa RMS. (Ramdhani, 2000)



### 2.7.2 Daya Kompleks dan Faktor Daya

Segitiga daya merupakan suatu cara untuk menggambarkan daya kompleks. Daya pada arus bolak-balik dapat digambarkan sebagai daya kompleks, di mana komponen nyatanya menunjukkan daya aktif (daya yang diserap oleh perangkat dan melakukan kerja yang berguna), serta komponen imajinernya menunjukkan daya reaktif (daya yang tidak berguna atau dibuang sebagai panas). Pada Gambar 2.4 ditunjukkan ilustrasi dari segitiga daya.



Gambar 2.4 Segitiga daya.

Sumber : Smith, 1984.

Persamaan (2-3) hingga Persamaan (2-6) menunjukkan hubungan antara komponen dalam segitiga daya.

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2-3)$$

$$|S|^2 = P^2 + Q^2 \dots\dots\dots (2-4)$$

$$P = Re[S] = |S| \cos \phi \dots\dots\dots (2-5)$$

$$Q = Im[S] = |S| \sin \phi \dots\dots\dots (2-6)$$

Daya aktif direpresentasikan dengan P, sedangkan daya reaktif direpresentasikan dengan Q. Daya kompleks disimbolkan dengan S, sedangkan daya semu merupakan nilai mutlak dari S. Faktor daya disimbolkan dengan  $\cos \phi$  di mana  $\phi$  adalah sudut ketertinggalan arus terhadap tegangan.

Faktor daya, dalam hal ini, merupakan besaran yang bernilai 1 bila beban murni resistif, di mana semua daya yang terserap digunakan untuk melakukan kerja yang berguna. Bila beban bersifat kapasitif atau induktif, maka faktor daya bisa bernilai antara 0 hingga 1. Ketika faktor daya bernilai 0, maka daya aktif tidak ada, atau dengan kata lain, semua daya semu yang dipasok ke perangkat seluruhnya diubah menjadi panas. (Ramdhani, 2000)



**2.7.3 Daya Reaktif**

Karena daya pada resistans sebanding dengan kuadrat tegangan atau arus, daya selalu positif dan energi didisipasi sepanjang daur. Tidaklah demikian dengan induktansi dan kapasitansi, yang menyimpan tetapi tidak mendisipasi daya. Jika arus dalam induktansi naik maka tenaga dialihkan dari rangkaian ke medan magnetik, namun bila arus berkurang maka energi dikembalikan. Demikian pula jika tegangan pada kapasitansi naik, energi dialihkan dari rangkaian ke medan listrik dan daya bertanda positif. Jika tegangan turun maka energi ini dikembalikan dan daya bertanda negatif.

Dari hubungan unsur dasar, untuk suatu induktansi L yang mengalirkan arus pada Persamaan (2-7), maka tegangannya seperti pada Persamaan (2-8), dan daya sesaatnya adalah seperti pada Persamaan (2-9).

$$i = I_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2}I \sin(\omega t) \dots\dots\dots (2-7)$$

$$v_L = L \frac{di}{dt} = \sqrt{2}\omega LI \cos(\omega t) \dots\dots\dots (2-8)$$

$$p_L = iv_L = 2I^2\omega L \sin(\omega t) \cos(\omega t) = I^2X_L \sin(2\omega t) \dots\dots\dots (2-9)$$

Untuk suatu kapasitansi C yang mengalirkan arus yang sama, maka tegangan adalah seperti pada Persamaan (2-10) dan daya sesaatnya seperti pada Persamaan (2-11).

$$v_C = \frac{1}{C} \int i dt + V_0 = -\sqrt{2} \frac{1}{\omega C} I \cos(\omega t) \dots\dots\dots (2-10)$$

$$p_C = iv_C = 2I^2 \frac{-1}{\omega C} \sin(\omega t) \cos(\omega t) = I^2X_C \sin(2\omega t) \dots\dots\dots (2-11)$$

Disimpulkan bahwa dalam unsur reaktif tidak ada pengalihan energi atau daya rata-rata adalah nol. Yang ada hanyalah penyimpanan dan pengembalian energi secara periodik dan amplitudo variasi daya adalah seperti pada Persamaan (2-12).

$$P_X = I^2X \dots\dots\dots (2-12)$$

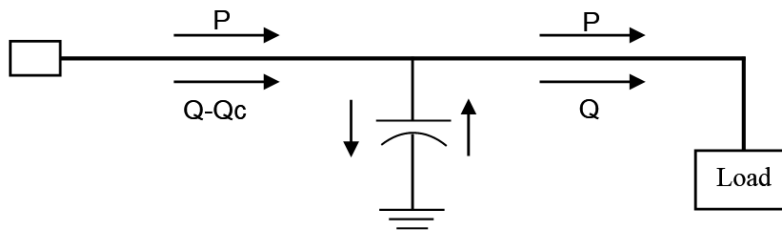
Besaran tersebut berguna dan disebut daya reaktif karena kesamaannya dengan daya aktif. (Ramdhani, 2000)

**2.8 Kapasitor**

Kapasitor merupakan perangkat untuk menyimpan muatan listrik. Penggunaannya pada sistem tenaga listrik adalah untuk memperbaiki faktor daya dan untuk mengatur kualitas

tegangan. Karena beban induktif menyerap daya reaktif, maka dengan dipasangnya kapasitor, beban akan mendapatkan kembali suplai daya reaktif.

Kompensasi yang dilakukan oleh kapasitor mampu mengurangi penyerapan daya reaktif sistem oleh beban. Dengan demikian penurunan tegangan yang terjadi pada sistem dapat ditekan. Pengaturan tegangan dengan menggunakan kapasitor, selain dapat memperbaiki nilai tegangan juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. (Ramdhani, 2000)



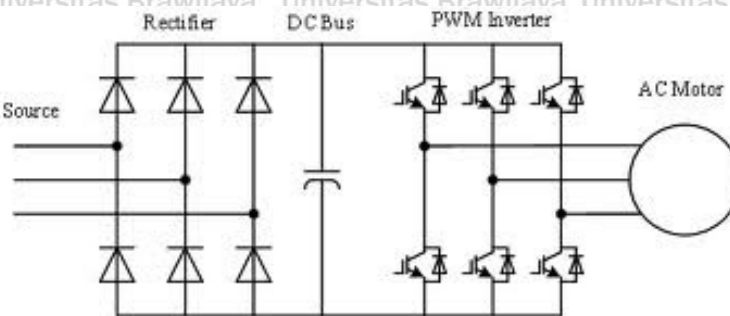
Gambar 2.5 Kapasitor yang terhubung dengan beban.  
Sumber : (Ramdhani, 2000)

Pemasangan kapasitor akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban. Dengan berkurangnya daya reaktif yang diserap oleh beban, maka nilai faktor daya akan meningkat. Pemasangan kapasitor pada sistem dapat dilihat seperti pada Gambar 2.5.

## 2.9 Variable Frequency Drive

*Variable frequency drive* (VFD), atau sering juga disebut *variable speed drive*, merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar VFD untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur menggunakan *microcontroller* dan MOSFET.





Gambar 2.6 Prinsip dasar *variable frequency drive*.

Sumber : (U.S. Department of Energy Industrial Technologies Program , 2004)

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (AC-DC *converter*) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (*rectifier diode*) namun juga ada yang menggunakan penyearah terkendali (*thyristor rectifier*). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tandon kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh *inverter* pada VFD dengan teknik PWM (*pulse width modulation*). Dengan teknik PWM ini bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan. Selain itu teknik PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal. Maka dari itu teknik PWM inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah tegangan DC menjadi AC. (U.S. Department of Energy Industrial Technologies Program , 2004)

### 2.10 ETAP 12.6.0

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one-line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting motor*, *transient stability*, koordinasi relay proteksi, dan sistem harmonisasi. Proyek



sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diubah langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

## 2.11 PDAM Kota Malang

Melalui Peraturan Daerah Kotamadya Malang Nomor 11 Tahun 1974, PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) Kota Malang didirikan dan diberi tugas oleh Pemerintah Daerah untuk melakukan kegiatan penyediaan air bagi masyarakat Kota Malang. Pendirian tersebut sekaligus menunjukkan keinginan yang besar dari Pemerintah Kotamadya Malang pada saat itu untuk dapat memberikan pelayanan air yang lebih baik karena dilaksanakan oleh instansi yang lebih tepat.

Penduduk berkembang dengan sangat dinamis baik dari sisi jumlah maupun dari sisi kualitas yang mengakibatkan berubahnya tuntutan yang semakin meningkat. Dengan pertumbuhan penduduk 0,9% per tahun maka PDAM Kota Malang harus berpacu menambah pelanggan agar tingkat cakupan tidak menurun karena penambahan penduduk yang lebih cepat dari kemampuan pengembangan pelayanan. Di sisi lain rata-rata tingkat pendidikan yang lebih tinggi dan keterbukaan informasi mengakibatkan PDAM Kota Malang harus siap menghadapi tuntutan masyarakat untuk menyediakan pelayanan sesuai standar yang ditentukan oleh peraturan yang berlaku.

Dinamisnya perkembangan penduduk menjadi dorongan bagi PDAM Kota Malang untuk mengukur sejauh mana kemampuan Perusahaan saat ini dapat memenuhi kebutuhan masyarakat saat ini dan kemungkinan perkembangan kebutuhan di masa mendatang. Antisipasi pemenuhan ini tidak bisa dipandang sepele tetapi menuntut tanggung jawab yang besar dan merupakan masalah strategis yang mungkin tidak hanya dapat diselesaikan sendiri oleh PDAM secara internal tetapi juga memerlukan dukungan para *stakeholder*.

Kota Malang dilalui oleh salah satu Daerah Aliran Sungai (DAS) terpenting di Jawa Timur yaitu DAS Brantas. DAS Brantas merupakan sebuah sungai terbesar di Jawa Timur dengan panjang  $\pm$  320 km yang mengalir secara melingkar dan di tengah-tengahnya terdapat gunung berapi yang masih aktif yaitu Gunung Kelud. Sungai Brantas yang bersumber pada lereng Gunung Arjuno, mula-mula mengalir ke arah timur melalui Kota Malang, lalu membelok ke arah selatan. Di kota Kepanjen Kali Brantas membelok ke arah barat dan di sini Kali Lesti yang bersumber di Gunung Semeru bersatu dengan Kali Brantas. Setelah bersatu dengan Kali Ngrowo di daerah Tulungagung, Kali Brantas berbelok ke utara melalui



kota Kediri. Di kota Kertosono, Kali Brantas bertemu dengan Kali Widas, kemudian ke Timur mengalir ke kota Mojokerto. Di kota ini Kali Brantas bercabang dua, ke arah kota Surabaya dan ke kota Porong yang selanjutnya bermuara di selat Madura.

Wilayah DAS Brantas merupakan DAS strategis sebagai penyedia air baku untuk berbagai kebutuhan seperti sumber tenaga untuk pembangkit tenaga listrik, PDAM, irigasi, industri dan lain-lain. Luas Wilayah DAS Brantas sekitar 12.000 km<sup>2</sup> yang mencakup kurang lebih 25% luas Provinsi Jawa Timur, dengan potensi sumber daya air per tahun ± 12.000.000.000 m<sup>3</sup>.

DAS Brantas Hulu merupakan daerah tangkapan hujan yang kondisinya sangat memprihatinkan. DAS Brantas Hulu terdiri dari sub DAS Brantas Hulu (182 km<sup>2</sup>), Amprong (348 km<sup>2</sup>), Bango (262 km<sup>2</sup>), Metro (309 km<sup>2</sup>), Lahor (188 km<sup>2</sup>) dan Lesti (608 km<sup>2</sup>). Kawasan DAS Brantas Hulu seluas 1.897 km<sup>2</sup>, meliputi tiga administrasi wilayah yaitu Kabupaten Malang 80,2%, Kota Malang 3,1% dan Kota Batu 16,7%. Tata Guna Lahan Eksisting DAS Brantas Hulu didominasi oleh tegalan atau ladang yaitu sebesar 37,78%.

Secara morfologi wilayah Kota Malang dikelompokkan menjadi 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu satuan morfologi dataran yang menempati bagian tengah dan selatan, satuan morfologi perbukitan bergelombang menempati bagian timur dan utara, dan satuan morfologi pegunungan menempati wilayah bagian barat, utara dan timur. Secara geologi daerahnya disusun oleh batuan hasil kegiatan gunung api yang terdiri dari tufa, tufa pasir, breksi gunung api, aglomerat, dan lava. Secara hidrogeologi akumulasi air tanah di Cekungan Malang dijumpai pada lapisan akuifer yang dapat dipisahkan menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu kelompok akuifer dengan kedalaman kurang dari 40 m, kelompok akuifer dengan kedalaman antara 40 m hingga 100 m, dan kelompok akuifer dengan kedalaman antara 100 m hingga 150 m. Berdasarkan kuantitas dan kualitas air tanahnya, potensi air tanah di Cekungan Malang dikelompokkan menjadi empat wilayah potensi air tanah, yaitu:

1. Wilayah potensi air tanah besar;
2. Wilayah potensi air tanah sedang;
3. Wilayah potensi air tanah kecil;
4. Wilayah potensi air tanah langka.

Penggunaan lahan di daerah ini berupa hutan belukar yang menempati bagian barat, utara, dan timur. Tanah persawahan menempati bagian selatan yang merupakan dataran,



tanah perkebunan, dan selebihnya merupakan tanah pemukiman penduduk perkotaan dan pedesaan. (PDAM Kota Malang, 2014)

## 2.12 Konservasi Energi

Salah satu metode yang sering dipakai untuk mengefisienkan pemakaian energi listrik adalah metode konservasi energi. Konservasi energi adalah peningkatan efisiensi energi yang digunakan atau biasa disebut dengan proses penghematan energi. Dalam metode ini terdapat audit energi, yaitu suatu metode untuk menghitung tingkat konsumsi energi suatu gedung atau bangunan. Kemudian hasil dari audit energi tersebut nanti akan dibandingkan dengan standar yang ada dan kemudian dicari solusi penghematan konsumsi energi jika tingkat konsumsi energinya melebihi standar yang ada.

Efisien diartikan sebagai tingkat penghematan, yang menggambarkan berapa banyak besaran nilai yang terpakai (bukan banyaknya nilai yang terbuang), atau berapa besar tingkat penghematan atau nilai daya guna suatu sistem. Adapun efisiensi diartikan sebagai penggunaan sumber daya secara bijak atau upaya melakukan tindakan dengan menggunakan kuantitas sumber daya sekecil mungkin namun dengan hasil besar, atau melakukan tindakan dengan memperhitungkan nilai penggunaan (hasil guna). (Direktorat Pengembangan Air Minum, 2014)







## BAB III

### KERANGKA KONSEP PENELITIAN

Kerangka konsep penelitian adalah suatu hubungan antara konsep satu dengan konsep yang lainnya dari permasalahan yang ingin diteliti. Sehingga kerangka konsep berguna untuk menghubungkan secara terinci tentang suatu topik yang dibahas.

#### 3.1 Deskripsi Masalah

Penelitian ini didasari pada kondisi PDAM Kota Malang yang memiliki pelanggan lebih sedikit dibandingkan total banyaknya kepala keluarga yang ada. Hal ini memunculkan anggapan bahwasannya penggunaan pompa sumur bor di rata-rata kepala keluarga membutuhkan biaya yang lebih sedikit dibandingkan bila menggunakan klangganan PDAM. Atau bisa juga muncul anggapan bahwa jaringan PDAM belum bisa menjangkau seluruh kepala keluarga yang ada di Kota Malang, sehingga penggunaan sumur bor merupakan suatu pilihan yang jauh lebih ekonomis secara kolektif.

Namun masalah utama yang terjadi adalah masih belum adanya audit efisiensi energi yang digunakan dalam produksi air minum pada PDAM Kota Malang. Dengan adanya audit yang nantinya memunculkan rekomendasi, maka akan didapatkan keuntungan APBD yang lebih besar karena peningkatan efisiensi energi pada PDAM Kota Malang pastilah akan menghasilkan proses produksi air yang memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dibandingkan sebelumnya.

Produksi air minum membutuhkan energi pasokan yang sebagian besar berupa energi listrik, yaitu yang digunakan untuk mengoperasikan motor-motor listrik yang menggerakkan pompa air, karena air yang diambil merupakan air dari dalam tanah yang memerlukan distribusi ke permukaan atau ke tempat pelanggan yang bisa lebih tinggi daripada tempat sumber air. Sistem pemompaan merupakan sistem yang membutuhkan pasokan energi karena dalam kasus ini air yang akan didistribusikan memiliki energi potensial yang lebih rendah bila dibandingkan ketika sudah mencapai pelanggan. Sebaliknya, sistem yang tidak memerlukan pasokan energi adalah sistem gravitasi, yang mana air yang akan didistribusikan memang pada sumbernya sudah memiliki energi potensial yang lebih tinggi dibandingkan ketika sudah mencapai pelanggan.



Pasokan energi untuk mengantarkan air sampai ke pelanggan menggunakan media pipa tersebut harus diperiksa besarnya untuk dibandingkan dengan volume air yang berhasil didistribusikan ke pelanggan, agar biaya ekonomisnya tetap bisa dijangkau oleh masyarakat. Surplus biaya ekonomis harga air minum yang dibayarkan oleh pelanggan diharapkan juga bisa menaikkan pendapatan daerah, selain bisa dialokasikan untuk investasi perangkat yang lebih efisien, berkapasitas lebih tinggi, dan manajemen operasional maupun marketing yang lebih baik lagi.

Saat ini alat ukur yang terpasang pada perangkat-perangkat yang dimiliki oleh PDAM Kota Malang masih sangat minim. Sebagai contoh, *water flow meter* hanya dipasang di sisi pengirim air dan tidak ada di sisi penerima air, sehingga kerugian akibat kehilangan air sewaktu dilakukan distribusi tidak bisa dideteksi. *Water flow meter* juga hanya dipasang satu unit untuk setiap kluster pompa, bukannya dipasang di setiap keluaran pompa, sehingga bila terjadi ketidakseimbangan operasi pompa yang dikarenakan kerusakan atau menurunnya performa salah satu pompa maka tidak dapat ditentukan dengan cepat pompa mana yang harus segera diperbaiki atau diganti. Pemasangan *water flow meter* yang tidak dicatat secara otomatis juga menimbulkan riwayat debit atau produksi air tidak terdeteksi secara akurat.

Saat ini pencatatan riwayat produksi air hanya dilakukan sebulan sekali secara manual. Bila terjadi perbedaan performa pada skala harian atau yang lebih singkat lagi maka riwayat tersebut tidak akan bisa tercatat. Hal ini sangat merugikan mengingat volume produksi yang melampaui  $100 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  merupakan debit yang sangat besar; sedikit rasio perbedaan produksi akan sangat mempengaruhi volume yang didistribusikan secara signifikan.

Alat ukur pencatat konsumsi energi listrik juga dibuat menyatu dengan kontrak PDAM Kota Malang pada PLN untuk setiap rumah pompa. Bahkan ada rumah pompa yang memiliki kluster pompa lebih dari satu tetapi menggunakan alat ukur pencatat konsumsi energi listrik tunggal. Sama halnya seperti dalam kasus produksi, bila terjadi ketidakseimbangan atau penurunan performa motor listrik pompa (dalam hal ini menurunnya faktor daya motor) maka tidak akan bisa dideteksi secara langsung dan secara mandiri per pompa. Pencatatan dilakukan hanya berdasarkan pemakaian bulanan, sehingga kerusakan yang terjadi dalam satuan hari (bahkan seharusnya dalam satuan jam) hampir tidak mungkin terdeteksi.

Oleh karena itu perlu diadakan investigasi dari riwayat yang ada (pada konsumsi energi maupun produksi) apakah kondisi perangkat yang dimiliki PDAM Kota Malang masih



memenuhi persyaratan Kementerian ESDM yaitu SEC (*specific energy consumption*) yang harus bernilai maksimal  $0,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$  atau tidak.

Dari data yang telah didapatkan mulai Januari 2014 hingga Juli 2016, diketahui bahwa biaya produksi air PDAM Kota Malang pada tahun 2014 adalah sebesar  $0,63 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $616,00 \text{ IDR} \cdot \text{m}^{-3}$  menggunakan tarif progresif tahun itu), pada tahun 2015 adalah sebesar  $0,56 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $681,00 \text{ IDR} \cdot \text{m}^{-3}$  menggunakan tarif progresif tahun itu), dan pada tahun 2016 adalah sebesar  $0,58 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $650,00 \text{ IDR} \cdot \text{m}^{-3}$  menggunakan tarif progresif tahun itu). Efisiensi energi tersebut masih terlalu tinggi bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM bahwa untuk PDAM efisiensi produksi air sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ . (Direktorat Pengembangan Air Minum, 2014)

Investigasi yang telah dilakukan per tahun 2016 memberikan fakta bahwa sebagian rumah pompa yang dimiliki PDAM Kota Malang mengoperasikan motor pompa tanpa penggunaan kapasitor dan tidak menggunakan perangkat bantuan untuk proses *starting*. Selain itu pencatatan otomatis (*data logger*) untuk parameter setiap motor pompa masih dilakukan di sebagian rumah pompa dengan jeda waktu satu jam, padahal proses *starting* motor terjadi dalam skala detik dan anomali yang mungkin terjadi seperti lonjakan arus terjadi dalam skala detik.

### 3.2 Definisi Operasional Variabel

Dalam penelitian ini, variabel yang akan dimunculkan antara lain adalah:

#### 1. Konsumsi daya listrik ideal maksimal alat pompa air

Yaitu masukan ideal maksimal motor listrik pompa air. Variabel ini terdiri dari konsumsi daya aktif dan konsumsi daya reaktif, dan secara otomatis saling bergantung dengan faktor daya yang dimiliki oleh pompa air. Variabel ini menghasilkan integral berupa konsumsi energi listrik ideal maksimal bulanan.

#### 2. Kapasitas produksi air ideal maksimal alat pompa air

Yaitu merupakan kemampuan keluaran volume air per satuan waktu. Variabel ini menghasilkan integral berupa kapasitas produksi air ideal maksimal bulanan.

#### 3. SEC ideal alat pompa air

Yaitu merupakan hasil bagi dari konsumsi energi listrik ideal maksimal bulanan terhadap kapasitas produksi air ideal maksimal bulanan.



#### 4. Konsumsi energi listrik aktual bulanan alat pompa air

Yaitu masukan aktual bulanan motor listrik pompa air. Variabel ini terdiri dari konsumsi energi aktif dan konsumsi energi reaktif, dan secara otomatis saling bergantung dengan faktor daya yang dimiliki oleh pompa air. Variabel ini memiliki turunan berupa konsumsi daya listrik aktual.

#### 5. Produksi air aktual bulanan alat pompa air

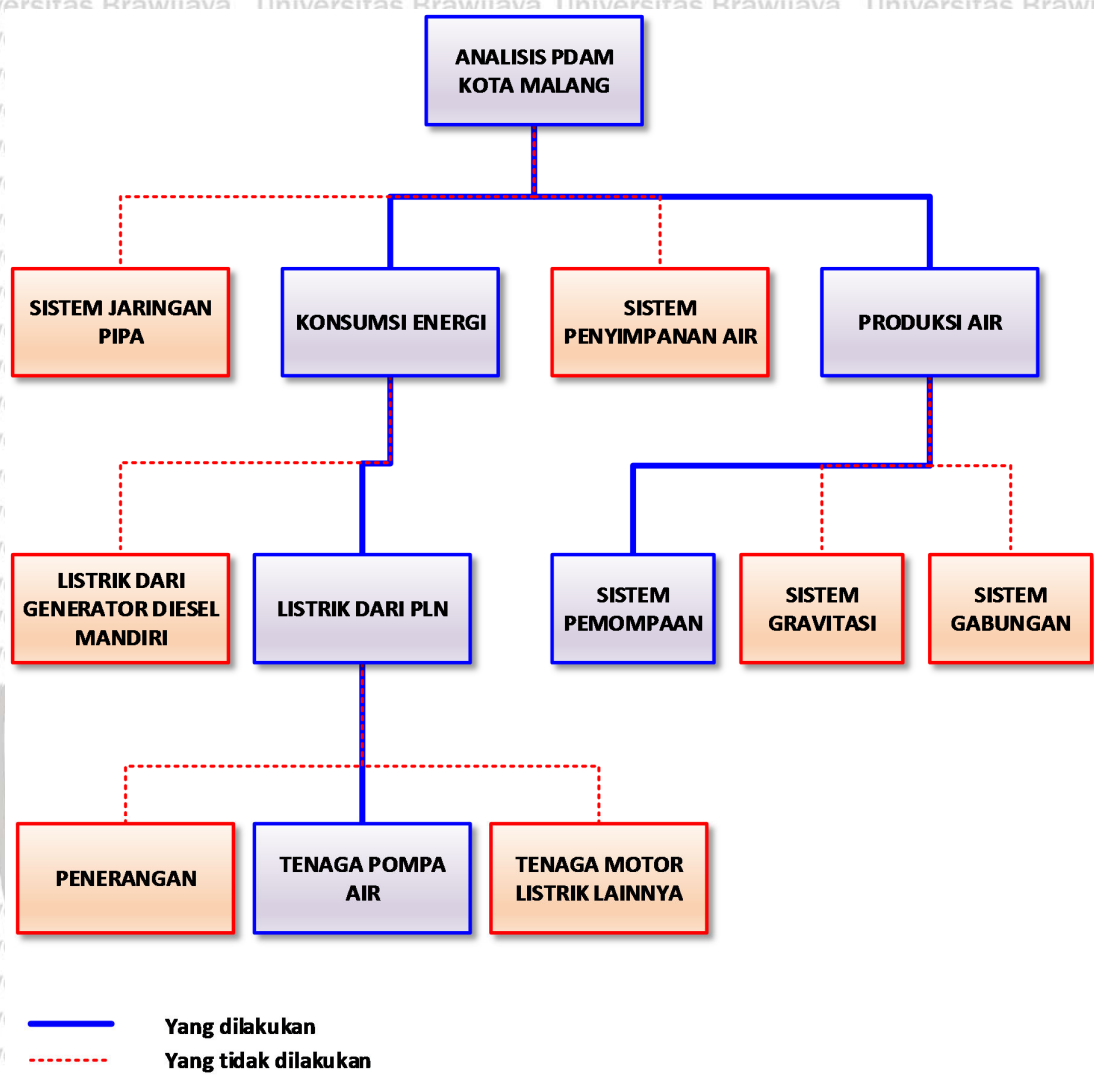
Yaitu merupakan hasil keluaran volume air dalam periode bulanan tertentu. Variabel ini memiliki turunan berupa kapasitas produksi air aktual.

#### 6. SEC aktual alat pompa air

Yaitu merupakan hasil bagi dari konsumsi energi listrik aktual bulanan terhadap produksi air aktual bulanan, atau hasil bagi dari masing-masing turunannya.

### 3.3 Kerangka Teori Penelitian

Kerangka teori penelitian disusun sedemikian rupa sehingga dalam proses penyelesaian permasalahan dapat dilakukan secara sistematis dan terstruktur. Adapun kerangka tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka teori penelitian.

Sumber : -

Berdasarkan pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan bahwa analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah konsumsi energi dan produksi air. Sistem jaringan pipa dan sistem penyimpanan air dalam penelitian ini tidak dibahas. Konsumsi energi yang tersedia saat ini pada PDAM Kota Malang ada dua macam, yaitu listrik dari PLN dan listrik dari generator diesel milik PDAM sendiri. Penelitian ini hanya membahas konsumsi energi yang berasal dari listrik PLN, karena alat ukur yang dimiliki (kWh meter dan kVArh meter) hanya terpasang dari jaringan listrik PLN dan penggunaan generator sangatlah jarang dilakukan. Listrik dari PLN tersebut juga masih dibagi menjadi tiga klasifikasi konsumsi, antara lain untuk penerangan, tenaga pompa air, dan tenaga motor listrik lainnya. Yang dibahas pada penelitian ini adalah energi yang dipakai untuk tenaga pompa air. Produksi air yang dibahas



dalam penelitian ini adalah yang menggunakan sistem pemompaan. Penggunaan sistem gravitasi tidak dibahas dalam hal ini.

Dalam hal ini dilakukan perbandingan antara efisiensi penggunaan energi listrik terhadap produksi air yang tercatat pada PDAM Kota Malang dengan SEC (*specific energy consumption*) ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ . Hubungan antara konsumsi energi listrik dengan produksi air adalah seberapa energi listrik yang digunakan (dinyatakan dalam satuan kWh) untuk mengantarkan sejumlah air tertentu (dinyatakan dalam satuan  $\text{m}^3$ ) menuju ke pelanggan.

### 3.4 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan alat-alat penelitian sebagai berikut:

1. *Nameplate* pada setiap pompa yang menyatakan spesifikasi pompa air tersebut.
2. Pencatatan penggunaan energi dari daya aktif (kWh meter).
3. Pencatatan penggunaan energi dari daya reaktif (kVARh meter).
4. Pencatat riwayat (*data logger*) dari amperemeter dan voltmeter masing-masing motor pompa di sebagian rumah pompa.
5. Microsoft Visio 2013, untuk melakukan penggambaran pemetaan geografis jaringan dan titik-titik penelitian PDAM Kota Malang.
6. Microsoft Excel 2013, untuk melakukan penghitungan data ideal, data aktual, dan melakukan rekapitulasi hingga mengeluarkan hasil berupa grafis riwayat.
7. ETAP 12.6.0, untuk menggambar *one-line diagram* dan melakukan simulasi *load flow* dan *motor starting* dengan pemasangan kapasitor dan VFD.

### 3.5 Hipotesis

Diharapkan penelitian ini dapat melakukan analisis efisiensi penggunaan energi listrik terhadap volume produksi air dan mampu memberikan alternatif solusi terhadap permasalahan produksi dan konsumsi energi listrik yang terjadi pada PDAM Kota Malang.

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di BAB I maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan diuraikan sebagai berikut.

#### 4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian ini berlokasi di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Malang. Perusahaan ini merupakan badan usaha milik daerah Kota Malang yang menyalurkan air bersih layak minum dan melayani konsumen di lima kecamatan. Untuk melayani kebutuhan secara maksimal di Kota Malang maka dibangun sistem jaringan air minum yang terdiri dari beberapa rumah pompa, sumur bor, sumber air gravitasi, tandon, dan infrastruktur pipa sampai ke pelanggan.

Penelitian lapangan dilakukan untuk mendapatkan data yang berupa gambaran infrastruktur, data konsumsi energi, dan data produksi air. Waktu penelitian untuk pengumpulan data dilaksanakan dari bulan Februari 2016 sampai dengan bulan Agustus 2016, dan didapatkan riwayat data bulanan yang lengkap dan akurat dari Januari 2014 hingga Juli 2016.

Titik-titik tempat yang dijadikan objek penelitian antara lain:

1. Rumah Pompa Wendit 1.
2. Rumah Pompa Wendit 2.
3. Rumah Pompa Wendit 3.
4. Rumah Pompa dan Reservoir Mojolangu.
5. Rumah Pompa Badut.
6. Rumah Pompa Sumbersari.
7. Rumah Pompa Supit Urang.
8. Rumah Pompa Istana Dieng.

Objek penelitian ini akan dititikberatkan pada beberapa faktor yang ada pada tempat-tempat tersebut di atas, antara lain:



1. Spesifikasi ideal setiap pompa, yang diperhitungkan dalam kelompok-kelompok tertentu karena belum adanya alat ukur khusus yang terpasang di masing-masing pompa.
2. Konsumsi energi listrik dari setiap rumah pompa, yang memiliki alat ukur bersama (tidak terperinci di setiap pompa) dan berada pada titik penyambungan kontrak PLN. Alat ukur ini berupa kWh meter yang merinci riwayat penggunaan energi dari daya aktif listrik dan kVArh meter yang merinci riwayat penggunaan energi dari daya reaktif listrik.
3. Produksi air dari setiap rumah pompa, yang memiliki alat ukur bersama (tidak terperinci di setiap pompa) di masing-masing kelompok pompa. Namun karena konsumsi energi listrik yang tercatat adalah per rumah pompa, maka semua alat ukur produksi air ini dibuat per rumah pompa juga. Alat ukur ini berupa *water flow meter* yang merinci riwayat volume air yang dilepaskan menuju pipa utama.

#### 4.2 Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini menggunakan dua sumber utama sebagai masukan awal, yaitu studi literatur dan pengambilan data. Sesuai dengan Gambar 4.1, studi literatur dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan arah penelitian ini. Dalam tahap studi literatur ini, dikumpulkan teori-teori yang berkaitan dengan:

1. Pemindahan air dari dalam tanah (artesis) ke permukaan menggunakan teknik pemompaan.
2. Pemindahan air dari satu tempat di permukaan tanah ke tempat lainnya dengan perbedaan elevasi, menggunakan teknik penekanan pompa ataupun teknik gravitasi.
3. Struktur dalam pompa air, jenis-jenisnya, dan penggerak yang digunakan.
4. Konsumsi energi listrik dan turunannya (konsumsi daya listrik) yang dipergunakan untuk penggerak pompa air.

Tahap pengumpulan data merupakan bagian selanjutnya yang dilakukan pada PDAM

Kota Malang sesuai dengan yang telah dijelaskan pada Sub Bab 4.1. Data yang dikumpulkan adalah riwayat data bulanan berupa pemakaian energi dari kWh meter dan kVArh meter beserta rekening listriknya mulai Januari 2014 hingga Juli 2016.



Gambar 4.1 Diagram alir metode penelitian.

Sumber : -

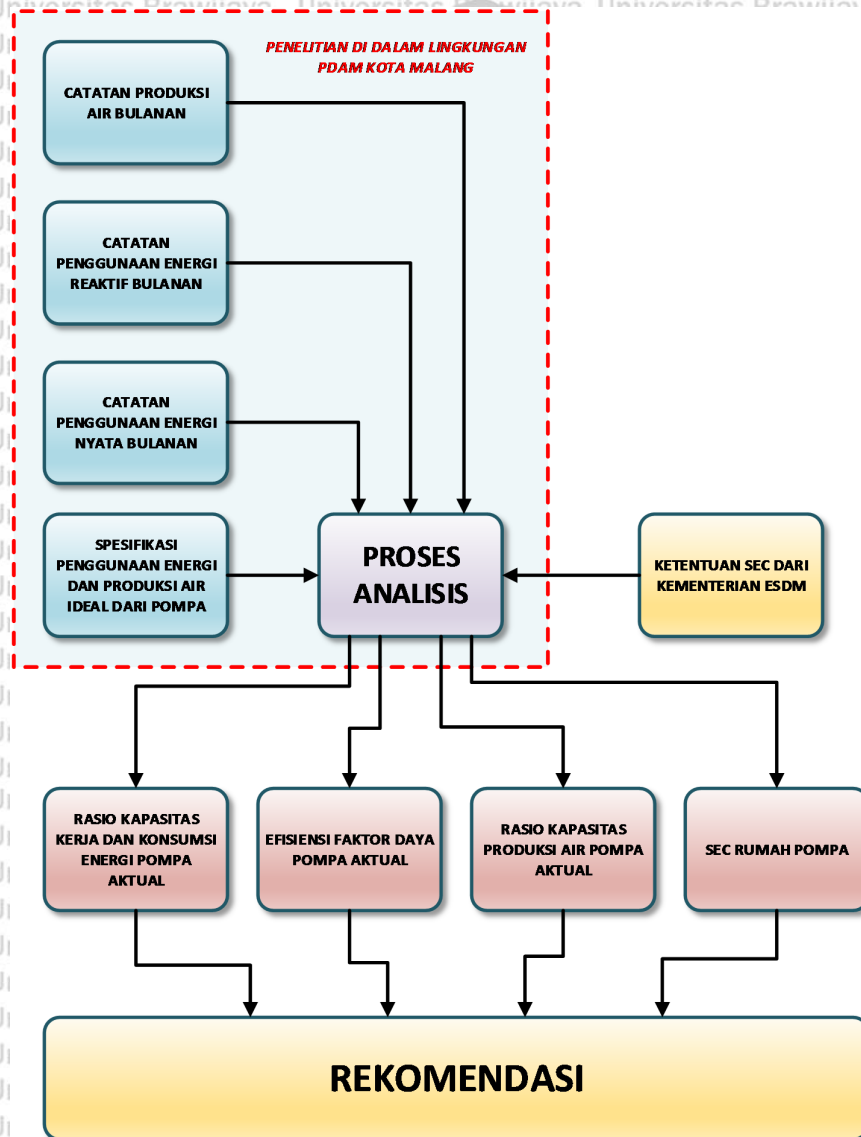
Setelah pengambilan data selesai, maka dilakukan pemetaan data, untuk mengetahui infrastruktur yang dibangun oleh PDAM Kota Malang secara geografis dan melakukan klasifikasi dari data yang telah dikumpulkan. Pemetaan geografis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Visio 2013 sehingga semua infrastruktur PDAM Kota Malang baik secara umum di seluruh Kota Malang maupun secara spesifik di masing-masing rumah pompa yang dijadikan titik penelitian terlihat dengan jelas. Pemetaan numeris dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2013 sehingga rincian data dan olahan variabelnya baik secara ideal, secara aktual masing-masing rumah pompa, maupun secara aktual global terlihat dengan jelas sampai menampilkan dalam bentuk visual grafis.

Tahap analisis dilakukan untuk menarik teori berdasarkan investigasi masing-masing pemetaan data yang telah dilakukan sebelumnya. Teori tersebut akan diuji dan diklarifikasi seperlunya dengan data yang dikumpulkan dan juga dengan persyaratan umum yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM sehubungan dengan efisiensi energi pada produksi air di Indonesia. Dalam tahap analisis ini, pemetaan numeris yang telah dilakukan dipakai untuk



membuat simulasi dengan tujuan menekan konsumsi energi listrik serta meningkatkan efisiensi produksi. Simulasi kelistrikan yang dilakukan adalah percobaan penambahan kapasitor (per kluster pompa) dan percobaan penambahan perangkat VFD (pada tiap motor pompa) menggunakan perangkat lunak ETAP Power Station 12.6.0, yg mana disimulasikan pada dua macam skenario, yaitu skenario *load flow* dan skenario *motor starting*.

Tahap terakhir penelitian ini adalah memunculkan rekomendasi berkaitan dengan hasil analisis baik untuk setiap rumah pompa maupun secara umum pada PDAM Kota Malang.



Gambar 4.2 Diagram sistem penelitian.

Sumber :-

### 4.3 Diagram Sistem

Sistem yang dibangun pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.2, yang menggambarkan pembahasan dan hasil penelitian ini.

Sesuai dengan Gambar 4.2, ditunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan pada lingkup PDAM Kota Malang meliputi proses analisis dari spesifikasi yang tertera di masing-masing pompa, hasil pencatatan konsumsi energi aktif bulanan, hasil pencatatan konsumsi energi reaktif bulanan, dan hasil pencatatan produksi air bulanan. Proses analisis tersebut akan membandingkan kondisi aktual saat ini dengan ketentuan yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM.

Proses analisis menghasilkan rasio kapasitas kerja dan konsumsi energi pompa aktual, efisiensi faktor daya pompa, rasio kapasitas produksi air aktual, hingga SEC (*specific energy consumption*) global dan setiap rumah pompa. Keempat hasil tersebut dipakai untuk memunculkan rekomendasi pada PDAM Kota Malang.

### 4.4 Target Penelitian

Dari semua hasil akhir yang didapatkan dari penelitian ini berupa rekapitulasi umum konsumsi energi listrik dan produksi air yang disertai beberapa kondisi khusus beberapa titik tempat penelitian, maka akan diberikan rekomendasi untuk perbaikan kinerja dan peningkatan efisiensi energi. Berbeda dengan kesimpulan, rekomendasi tersebut merupakan usulan dan saran yang diberikan kepada PDAM Kota Malang sebagai alat untuk memperbaiki manajemen dan teknis institusi.





## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil penelitian diulas tentang langkah identifikasi kondisi instalasi PDAM Kota Malang saat ini yang meliputi penghitungan analisis daya, rugi-rugi (*losses*), dan keuntungan, simulasi, serta langkah pembentukan rekomendasi yang bisa diberikan.

#### 5.1 Kondisi Instalasi PDAM Kota Malang

Secara umum, terdapat elemen-elemen utama yang berperan pada distribusi air minum di Kota Malang, yang bisa dibagi sebagai berikut:

1. Sumber Air, merupakan elemen yang menjadi tempat pengambilan air, bisa berupa sumur bor (pengambilan air harus dilakukan menggunakan perangkat pompa) ataupun berupa gravitasi (pengambilan air bisa dilakukan langsung karena tekanan atau gravitasi).
2. Reservoir, merupakan elemen yang menjadi tempat transit air dari suatu sumber kemudian ditampung dan siap untuk didistribusikan kembali, baik menggunakan gravitasi maupun perangkat pompa.
3. Pompa Air, merupakan elemen yang menjadi perangkat untuk memindahkan air ketika elevasi tujuan lebih tinggi daripada elevasi sumber atau untuk meningkatkan debit air. Jenis pompa air ada dua, yaitu submersible yang merupakan pompa benam dalam air, dan centrifugal yang merupakan pompa kering.
4. Pipa Air, merupakan elemen yang menjadi alat transportasi air ketika pada sumber terdapat tekanan air yang lebih tinggi daripada tekanan air pada tujuan, baik karena gravitasi ataupun pemompaan.

Instalasi distribusi PDAM Kota Malang ditampilkan pada Gambar 5.1, yang berupa gambaran umum dan secara rinci ditunjukkan pada bagian Lampiran.





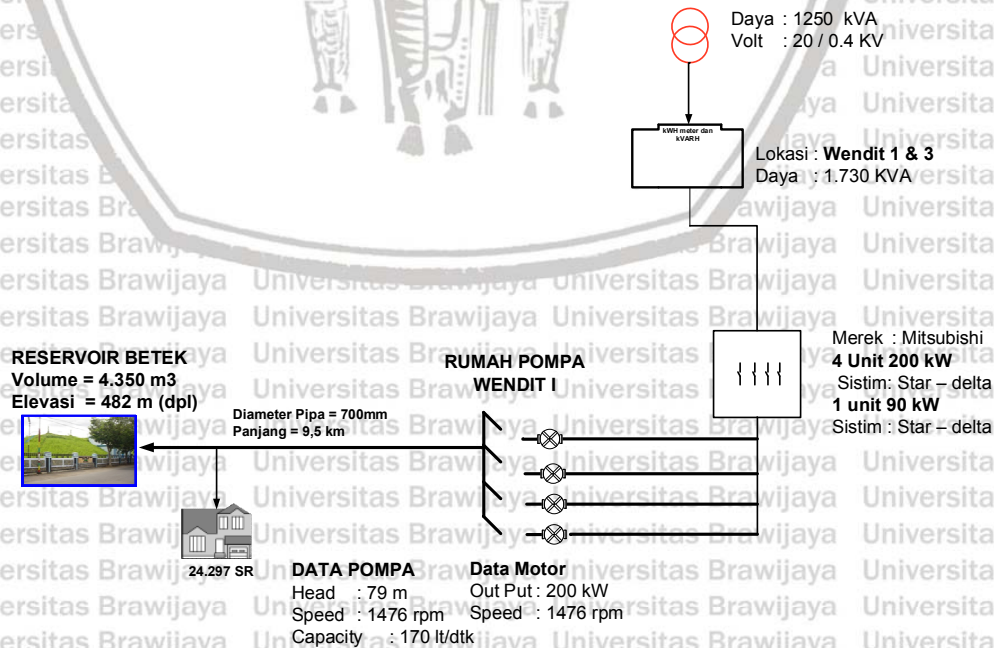
8. Reservoir Rangkon, melakukan distribusi gravitasi ke 8.825 pelanggan.
9. Sumur Supit Urang, melakukan pemompaan ke tandon dan didistribusikan secara gravitasi ke 450 pelanggan.
10. Sumur Badut, melakukan pemompaan ketandon dan didistribusikan gravitasi ke Tidar.
11. Sumur Istana Dieng, melakukan pemompaan dan didistribusikan gravitasi ke Perumahan Dieng.

## 5.2 Rincian Rumah Pompa Utama dan Distribusi

Pada bagian ini akan diulas rincian dari khususnya masing-masing rumah pompa dan distribusinya. Masing-masing rumah pompa dipasok daya listrik oleh PLN sebagai pelanggan mandiri, kecuali untuk Rumah Pompa Wendit 1 dan Rumah Pompa Wendit 3 yang dipasok daya listrik PLN sebagai pelanggan tunggal.

### 5.2.1 Rincian Rumah Pompa Wendit 1

Rumah Pompa Wendit 1 memiliki pasokan daya listrik dari PLN berbagi dengan Rumah Pompa Wendit 3. Gambar 5.2 menunjukkan bagan Rumah Pompa Wendit 1 dan distribusinya.

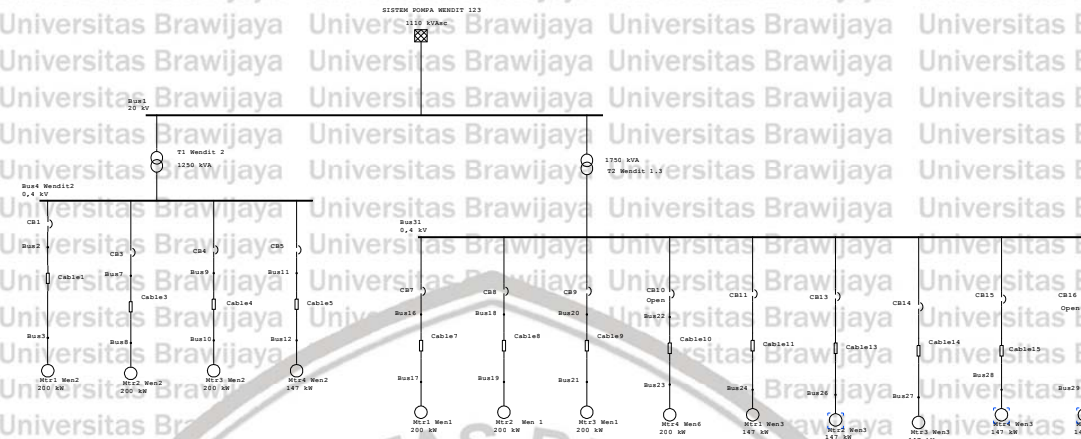


Gambar 5.2 Bagan Rumah Pompa Wendit 1 dan distribusinya.

Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.



Gambar 5.3 menunjukkan *one-line diagram* gabungan pada Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3.



Gambar 5.3 *One-line diagram* gabungan Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3.

Sumber : Simulasi ETAP, 2017.

Pasokan daya pada Rumah Wendit 1 adalah 1.250 kVA, berbagi dengan Rumah Pompa Wendit 3. Sistem tegangan yang dipakai adalah 20 kV / 380 V. Kemampuan instalasi pada sistem pompa ini adalah 1.730 kVA. Kemudian pengaman-pembatas memiliki kemampuan 4 unit 200 kW dan 1 unit 90 kW dengan menggunakan sistem Star-Delta.



Gambar 5.4 Motor Pompa 1, 2, 3, dan 4 pada Rumah Pompa Wendit 1.

Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

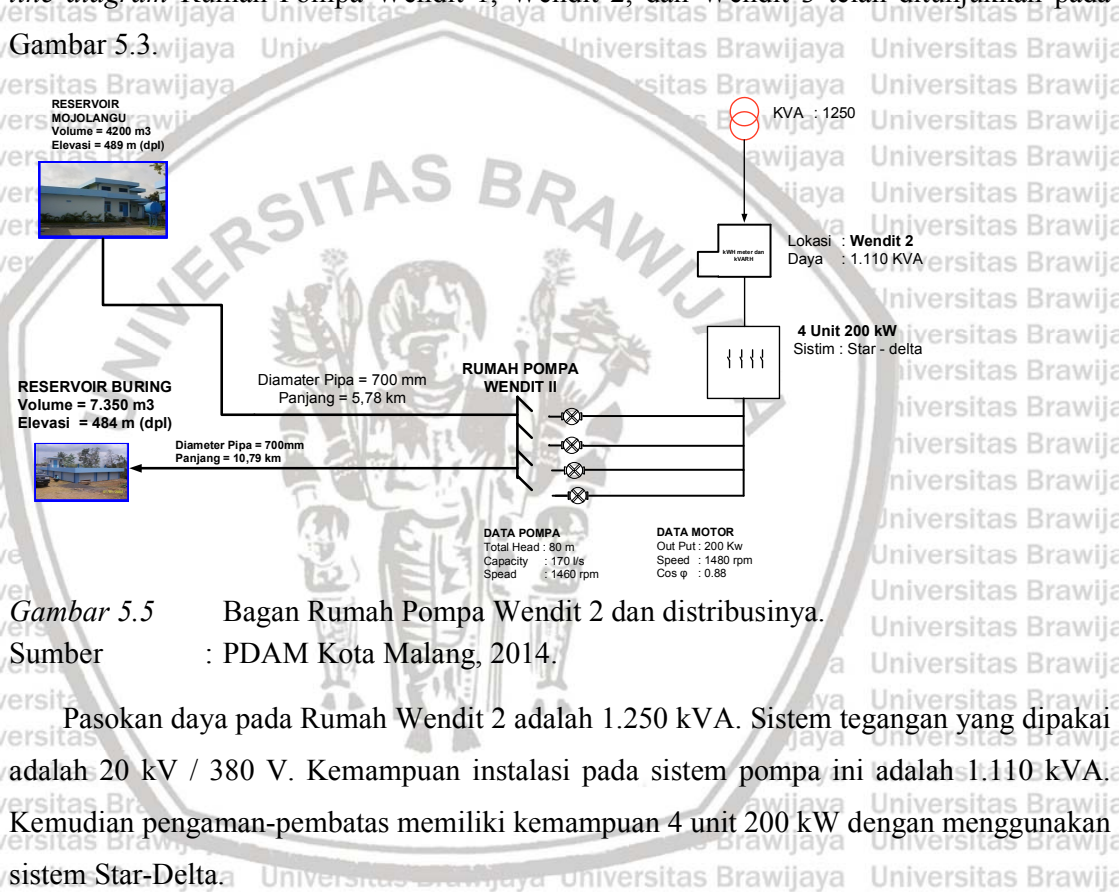
Keempat motor yang digunakan pada Rumah Pompa Wendit 1 seperti tertera pada Gambar 5.4 masing-masing memiliki keluaran daya maksimal 200 kW dan kecepatan putar 1.476 RPM. Pompa-pompa tersebut memiliki *head* 79 m dan kapasitas  $170 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dalam satu waktu tiga pompa beroperasi sementara 1 pompa dalam posisi *stand-by*.



Distribusi dari Rumah Pompa Wendit 1 adalah menuju ke Reservoir Betek dan 24.297 pelanggan. Pipa distribusi memiliki diameter 700 mm, dengan panjang 9.500 m dan selisih elevasi 274 m.

### 5.2.2 Rincian Rumah Pompa Wendit 2

Rumah Pompa Wendit 2 memiliki pasokan daya listrik dari PLN secara mandiri. Gambar 5.5 menunjukkan bagan Rumah Pompa Wendit 2 dan distribusinya, sedangkan *one-line diagram* Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3 telah ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.5 Bagan Rumah Pompa Wendit 2 dan distribusinya.  
Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

Pasokan daya pada Rumah Wendit 2 adalah 1.250 kVA. Sistem tegangan yang dipakai adalah 20 kV / 380 V. Kemampuan instalasi pada sistem pompa ini adalah 1.110 kVA. Kemudian pengaman-pembatas memiliki kemampuan 4 unit 200 kW dengan menggunakan sistem Star-Delta.







Gambar 5.6 Motor Pompa 1, 2, 3, dan 4 pada Rumah Pompa Wendit 2.

Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

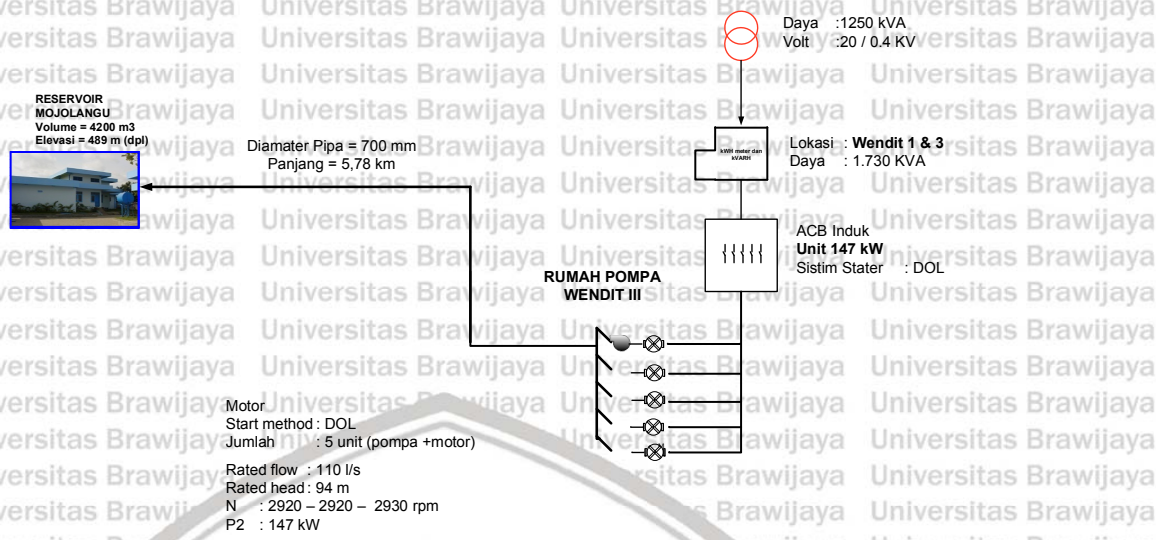
Keempat motor yang digunakan pada Rumah Pompa Wendit 2, seperti terlihat pada Gambar 5.6, masing-masing memiliki keluaran daya maksimal 200 kW dan kecepatan putar 1.480 RPM. Pompa-pompa tersebut memiliki *head* 80 m dan kapasitas  $170 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dari keempat pompa, tiga selalu dalam kondisi operasional, dan satu dalam posisi *stand-by*.

Distribusi dari Rumah Pompa Wendit 2 adalah menuju ke Reservoir Mojolangu menggunakan pipa distribusi berdiameter 700 mm dan panjang 5.780 m, dan menuju ke Reservoir Buring menggunakan pipa distribusi berdiameter 700 mm dan panjang 10.790 m.

### 5.2.3 Rincian Rumah Pompa Wendit 3

Rumah Pompa Wendit 3 memiliki pasokan daya listrik dari PLN berbagi dengan Rumah Pompa Wendit 1. Gambar 5.7 menunjukkan bagan Rumah Pompa Wendit 3 dan distribusinya. *One-line diagram* gabungan pada Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3 telah ditunjukkan pada Gambar 5.3.





Gambar 5.7 Bagan Rumah Pompa Wendit 3 dan distribusinya.  
 Sumber : PDAM Kota Malang, 2017.

Pasokan daya pada Rumah Wendit 3 adalah 1.250 kVA, berbagi dengan Rumah Pompa Wendit 3. Sistem tegangan yang dipakai adalah 20 kV / 380 V. Kemampuan instalasi pada sistem pompa ini adalah 1.730 kVA. Kemudian pengaman-pembatas memiliki kemampuan 1 unit 147 kW dengan menggunakan sistem DOL.



Gambar 5.8 Motor Pompa 1, 2, 3, 4, dan 5 dari Rumah Pompa Wendit 3.  
 Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

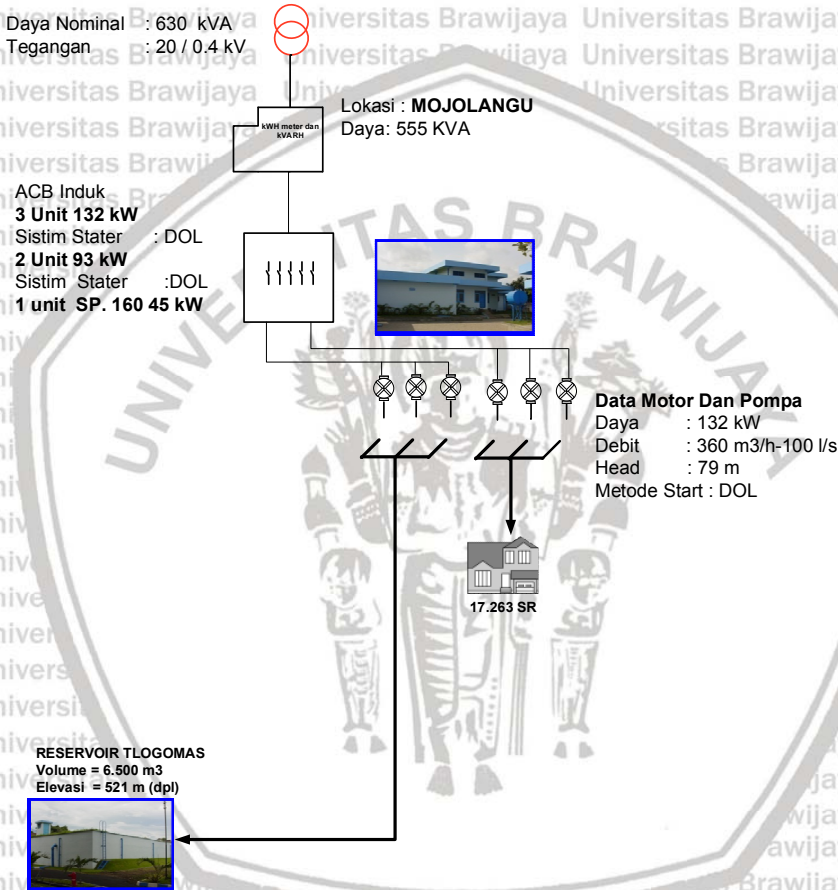
Kelima motor yang digunakan pada Rumah Pompa Wendit 3, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.8, masing-masing memiliki keluaran daya maksimal 147 kW dan kecepatan putar 2.920 RPM. Pompa-pompa tersebut memiliki head 94 m dan kapasitas 110 l·s<sup>-1</sup>. Dari kelima pompa yang ada, dalam satu waktu ada empat pompa yang berada dalam kondisi operasional, sementara satu sisanya dalam kondisi *stand-by*.

Distribusi dari Rumah Pompa Wendit 3 adalah menuju ke Reservoir Mojolangu menggunakan pipa distribusi berdiameter 700 mm dan panjang 5.780 m.



### 5.2.4 Rincian Rumah Pompa Mojolangu

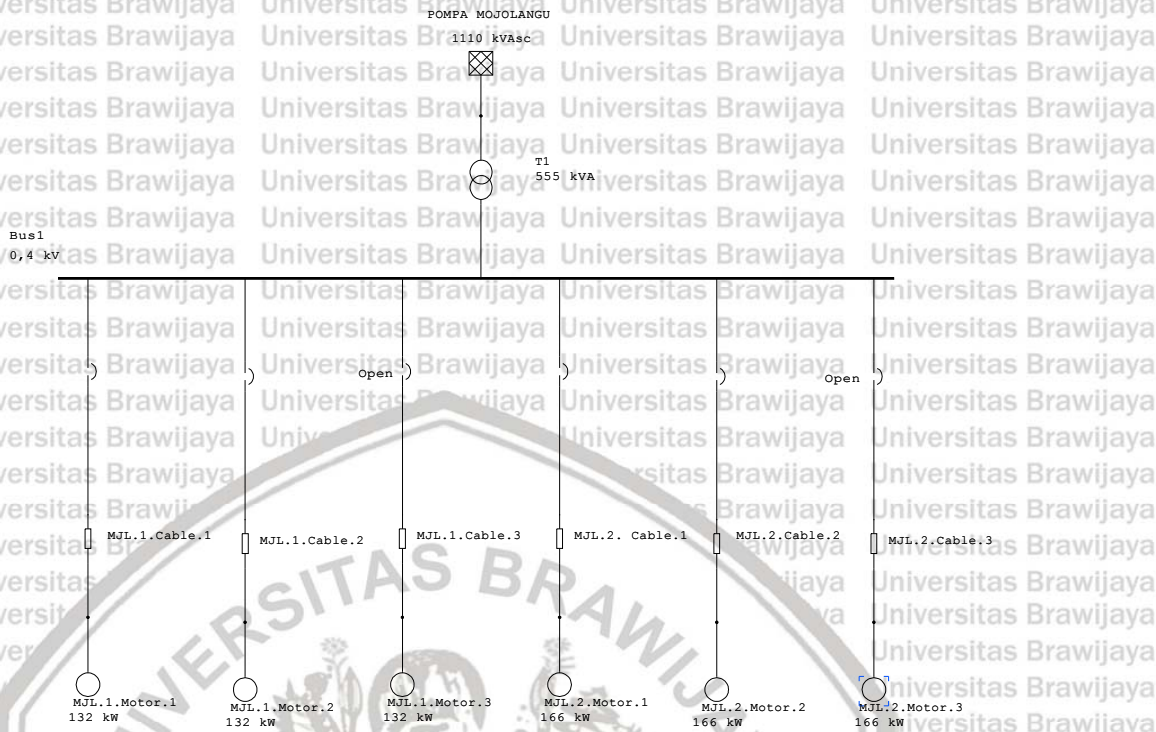
Rumah Pompa Mojolangu memiliki pasokan daya listrik dari PLN secara mandiri. Gambar 5.9 menunjukkan bagan Rumah Pompa Mojolangu dan distribusinya. Dalam hal ini, Rumah Pompa Mojolangu merupakan pompa transfer, yaitu yang melakukan pemompaan dari reservoir menuju ke pelanggan dan Reservoir Tlogomas. Rumah Pompa Mojolangu memiliki elevasi 489 m dpl.



Gambar 5.9 Bagan Rumah Pompa Mojolangu dan distribusinya.

Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

Pasokan daya pada Rumah Mojolangu adalah 630 kVA, dengan sistem tegangan yang dipakai adalah 20 kV/ 380 V. Kemampuan instalasi pada sistem pompa ini adalah 555 kVA. Kemudian pengaman-pembatas memiliki kemampuan 3 unit 132 kW, 2 unit 93 kW, dan 1 unit 45 kW dengan menggunakan sistem DOL. Pada Gambar 5.10 ditunjukkan *one-line diagram* dari Rumah Pompa Mojolangu yang dibuat untuk simulasi.



Gambar 5.10 One-line diagram Rumah Pompa Mojolangu.

Sumber : Simulasi ETAP, 2017.

Ketiga motor yang digunakan pada Rumah Pompa Mojolangu yang mengarah ke pelanggan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.11, masing-masing memiliki keluaran daya maksimal 132 kW dan kecepatan putar 2.920 RPM. Pompa tersebut memiliki *head* 79 m dan kapasitas 100 l·s<sup>-1</sup>.



Gambar 5.11 Pompa ke pelanggan dari Rumah Pompa Mojolangu.

Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

Ketiga motor yang digunakan pada Rumah Pompa Mojolangu yang mengarah ke Tlogomas, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.12, masing-masing memiliki keluaran daya maksimal 166 kW dan kecepatan putar 2.884 RPM. Pompa pada sistem tersebut memiliki



head 60 m dan kapasitas  $110 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pada Rumah Pompa Mojolangu, semua pompa dalam kondisi beroperasi.



Gambar 5.12 Pompa ke arah Tlogomas dari Rumah Pompa Mojolangu.

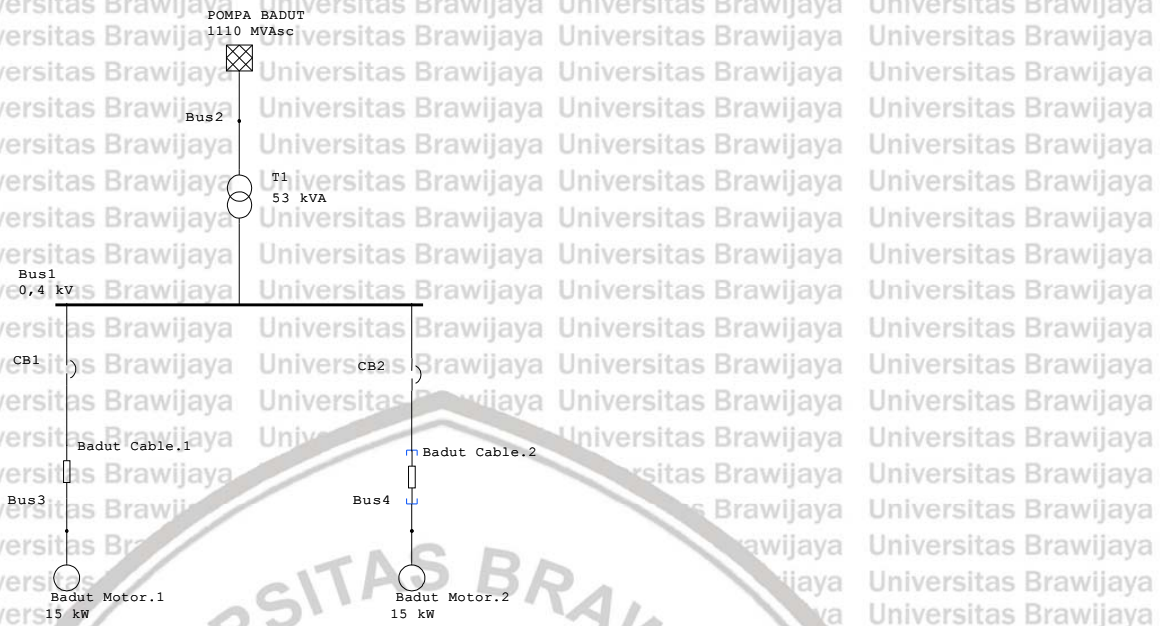
Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

Distribusi dari Rumah Pompa Mojolangu adalah menuju ke Reservoir Tlogomas menggunakan pipa distribusi berdiameter 700 mm, sementara yang menuju ke pelanggan menggunakan pipa distribusi berdiameter 700 mm.

### 5.2.5 Rincian Rumah Pompa Badut

Rumah Pompa Badut memiliki pasokan daya listrik dari PLN secara mandiri. Pada rumah pompa ini menggunakan sumur bor sebagai sumber air, dan tempat ini memiliki elevasi 470 m dpl. Gambar 5.13 menunjukkan *one-line diagram* dari Rumah Pompa Badut.





Gambar 5.13 One-line diagram Rumah Pompa Badut.

Sumber : Simulasi ETAP, 2017.

Gambar 5.14 menunjukkan pompa pertama pada Rumah Pompa Badut.



Gambar 5.14 Pompa pertama dari Rumah Pompa Badut.

Sumber : PDAM Kota Malang, 2014,

Pompa pertama ini berjenis *submersible*, memiliki daya 15 kW dengan putaran motor 2.860 RPM dan kapasitas produksi  $16,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , sementara pompa kedua ditunjukkan pada Gambar 5.15.





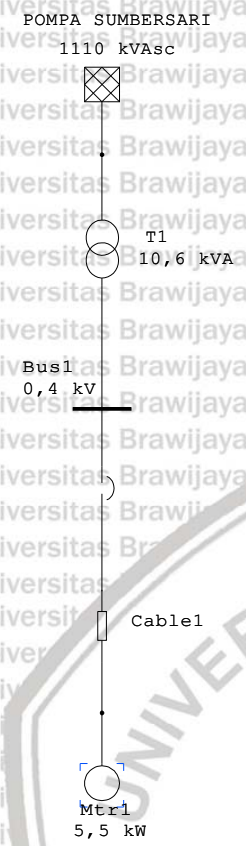
Gambar 5.15 Pompa kedua dari Rumah Pompa Badut.

Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

Pompa kedua ini juga berjenis *submersible*, memiliki daya 15 kW dengan putaran motor 2.860 RPM dan kapasitas produksi  $21,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### 5.2.6 Rincian Rumah Pompa Summersari

Rumah Pompa Summersari memiliki pasokan daya listrik dari PLN secara mandiri. Pada rumah pompa ini menggunakan sumur bor sebagai sumber air, dan tempat ini memiliki elevasi 452 m dpl. Gambar 5.16 menunjukkan *one-line diagram* dari Rumah Pompa Summersari.



Gambar 5.16 One-line diagram pada Rumah Pompa Sumpersari.  
 Sumber : Simulasi ETAP, 2017.

Gambar 5.16 menunjukkan pompa pada Rumah Pompa Sumpersari.



Gambar 5.17 Pompa dari Rumah Pompa Sumpersari.  
 Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

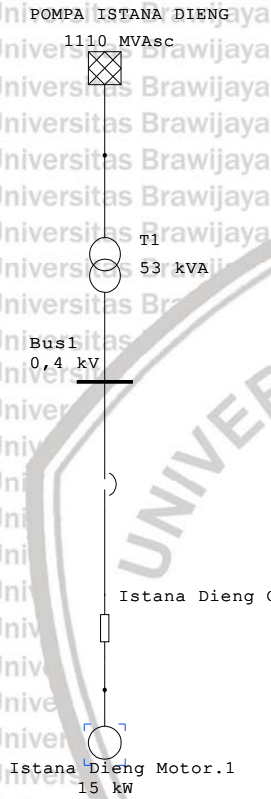
Pompa ini berjenis sentrifugal, memiliki daya 5,5 kW dengan kecepatan putar motor sebesar 2.840 RPM dan kapasitas produksi  $4,7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .



**5.2.7 Rincian Rumah Pompa Istana Dieng**

Rumah Pompa Istana Dieng memiliki pasokan daya listrik dari PLN secara mandiri.

Pada rumah pompa ini menggunakan sumur bor sebagai sumber air, dan tempat ini memiliki elevasi 491 m dpl.



Gambar 5.18 One-line diagram dari Rumah Pompa Istana Dieng.  
 Sumber : Simulasi ETAP, 2017.

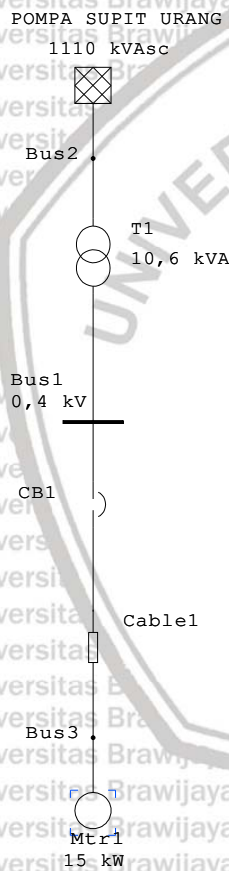


Gambar 5.19 Pompa dari Rumah Pompa Istana Dieng.  
 Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

Gambar 5.18 menunjukkan *one-line diagram* dari Rumah Pompa Istana Dieng. Gambar 5.19 menunjukkan pompa pada Rumah Pompa Istana Dieng. Pompa ini berjenis *submersible*, memiliki daya 15 kW dengan kecepatan putar motor sebesar 2.840 RPM dan kapasitas produksi  $21,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 5.2.8 Rincian Rumah Pompa Supit Urang

Rumah Pompa Supit Urang memiliki pasokan daya listrik dari PLN secara mandiri. Pada rumah pompa ini menggunakan sumur bor sebagai sumber air, dan tempat ini memiliki elevasi 529 m dpl.



Gambar 5.20 *One-line diagram* dari Rumah Pompa Supit Urang.

Sumber : Simulasi ETAP, 2017.

Pada Gambar 5.20 ditunjukkan *one-line diagram* dari Rumah Pompa Supit Urang, sementara Gambar 5.21 menunjukkan pompa pada Rumah Pompa Supit Urang. Pompa ini berjenis *submersible*, memiliki daya 15 kW dengan kecepatan putar motor sebesar 2.840 RPM dan kapasitas produksi  $21,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .





Gambar 5.21 Pompa dari Rumah Pompa Supit Urang.  
Sumber : PDAM Kota Malang, 2014.

### 5.3 Analisis Performa dan Rugi-Rugi

Untuk melakukan analisis performa dan rugi-rugi listrik, diperlukan data performa harian dan bulanan dari produksi air minum PDAM dan melakukan perbandingan dengan tagihan listrik PLN pada setiap rumah pompa. Selain itu diperlukan konversi dari rugi-rugi mekanis menuju ke rugi-rugi listrik untuk setiap pipa distribusi. Data yang telah dikumpulkan diulas pada bagian ini dan dilakukan analisis hingga mendapatkan hasil kondisi sekarang dan dibentuk suatu simulasi untuk mendapatkan rekomendasi.

#### 5.3.1 Rekapitulasi Data Semua Pompa

Sebelum melakukan analisa data performa aktual, maka semua data pompa secara ideal (berupa konsumsi ideal maksimal listrik dan kapasitas pemompaan maksimal) harus ditunjukkan terlebih dahulu. Dari *nameplate* yang ada di setiap pompa, spesifikasi konsumsi energi listrik yang tersedia adalah sebagai berikut:

1. Sistem tegangan (*voltage*), yang dinyatakan dalam V. Ini merupakan tegangan operasional motor pompa tersebut.
2. Arus listrik (*current*), yang dinyatakan dalam A. Ini merupakan arus listrik yang dikonsumsi motor pompa tersebut.
3. Daya keluaran (*output power*), yang dinyatakan dalam W (atau kW). Ini merupakan daya aktif yang dikonsumsi oleh motor tersebut dan diubah menjadi tenaga mekanik.



4. Frekuensi (*frequency*), yang dinyatakan dalam Hz. Parameter ini merupakan frekuensi listrik bolak-balik yang dipakai.

5. Faktor daya (*power factor*), dengan nama lain  $\cos \varphi$ , adalah besaran tak berdimensi. Parameter ini menyatakan cosinus dari sudut ketertinggalan arus terhadap tegangan yang disebabkan beban kapasitif atau induktif dalam motor listrik.

Dari semua spesifikasi tersebut yang bisa digunakan langsung dan berpengaruh adalah daya keluaran dan faktor daya. Untuk mencari variabel penting lainnya, yaitu daya reaktif, diperlukan konversi seperti ditunjukkan pada Persamaan (5-4), setelah dilakukan substitusi dari Persamaan (5-1) hingga Persamaan (5-3).

$$Q = |S| \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (5-1)$$

$$|S| = \frac{P}{\cos \varphi} \dots\dots\dots (5-2)$$

$$Q = \frac{P}{\cos \varphi} \sin \varphi \dots\dots\dots (5-3)$$

$$Q = \frac{P}{\cos \varphi} \sin(\cos^{-1}(\cos \varphi)) \dots\dots\dots (5-4)$$

Dengan:

- Q = daya reaktif (VAr)
- |S| = daya kompleks
- S = daya semu (VA)
- P = daya aktif (W)
- $\varphi$  = ketertinggalan sudut fase (rad)

Persamaan (5-4) diperlukan karena yang diketahui dari *nameplate* pompa hanyalah daya aktif (P) dan faktor daya ( $\cos \varphi$ ). Persamaan (5-1) hingga (5-4) berlaku untuk arus bolak-balik 1 fasa. Untuk arus bolak-balik 3 fasa yang digunakan pada semua motor pompa di PDAM Kota Malang, faktor  $3^{0.5}$  dikalikan pada daya aktif seperti pada Persamaan (5-5).

$$Q_3 = \frac{P_3 \cdot \sqrt{3}}{\cos \varphi} \cdot \sin(\cos^{-1}(\cos \varphi)) \dots\dots\dots (5-5)$$

Dengan:

- $Q_3$  = daya reaktif untuk 3 fasa (VAr)
- $P_3$  = daya aktif untuk 3 fasa (W)
- $\varphi$  = ketertinggalan sudut fase (rad)





Daftar rumah pompa (tempat yang mengoperasikan pompa dan mengkonsumsi energi listrik untuk keperluan pemompaan) antara lain adalah Wendit 1, Wendit 2, Wendit 3, Mojolangu, Badut, Summersari, Istana Dieng, dan Supit Urang. Khusus Wendit 1 dan Wendit 3 akan ditampilkan secara tergabung karena lokasi yang sangat berdekatan dan kontrak listrik berlangganan dari PLN merupakan kontrak tunggal (termasuk kWh meter dan kVArh meter). Tabel 5.1 menunjukkan semua data pompa yang ada pada rumah pompa di bawah manajemen PT. PDAM Kota Malang.

Tabel 5.1  
Data Pompa PDAM Kota Malang

ID	RUMAH POMPA	BANYAK MOTOR		PARAMETER DAYA MAKSIMAL					MAKSIMAL KAPASITAS PRODUKSI PER MOTOR		
		OP.	ALL	PER MOTOR		OPERASI		FD	FLOW	KONS. DAYA	SEC
				P	Q	P	Q				
				kW	kVAr	kW	kVAr				
C-1-1	WENDIT 1	3	4	200.00	150.00	600.00	450.00	80.00	170.00	1.18	0.33
C-2-1	WENDIT 2	3	4	200.00	150.00	600.00	450.00	80.00	170.00	1.18	0.33
C-3-1	WENDIT 3	4	5	147.00	91.10	588.00	364.40	85.00	110.00	1.34	0.37
C-4-1	MOJOLANGU	2	3	132.00	74.80	264.00	149.60	87.00	100.00	1.32	0.37
C-4-2	MOJOLANGU	2	3	166.00	107.20	332.00	214.40	84.01	110.00	1.51	0.42
C-5-1	BADUT	1	1	15.00	9.30	15.00	9.30	84.99	16.70	0.90	0.25
C-5-2	BADUT	1	1	15.00	9.30	15.00	9.30	84.99	21.70	0.69	0.19
C-6-1	SUMBERSARI	1	1	5.50	3.40	5.50	3.40	85.06	4.70	1.17	0.33
C-7-1	ISTANA DIENG	1	1	15.00	9.30	15.00	9.30	84.99	21.70	0.69	0.19
C-8-1	SUPIT URANG	1	1	15.00	9.30	15.00	9.30	84.99	21.70	0.69	0.19
<b>TOTAL</b>						<b>2,449.50</b>	<b>1,669.00</b>				

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data yang ditampilkan pada Tabel 5.1 menunjukkan total pompa yang ada, total pompa yang dioperasikan bersamaan, jenis, dan data konsumsi serta kapasitas. Data konsumsi dibagi menjadi dua, yaitu konsumsi daya aktif dan daya reaktif, yang dihitung berdasarkan daya keluaran dan faktor daya yang tertera pada spesifikasi setiap pompa. Kapasitas dihitung berdasarkan debit maksimal yang tertera pada spesifikasi setiap pompa. Untuk melakukan pemisahan, maka dilakukan klasifikasi menurut nomor kluster pompa (*Cluster ID* atau ID) yang dibagi menurut prosentase beban satu kluster motor pompa yang aktif dibandingkan dengan beban keseluruhan. Pembagian ini dilakukan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.2, yang dipisah menurut konsumsi P (daya aktif) dan konsumsi Q (daya reaktif).

Wendit 1 dan Wendit 3 adalah rumah pompa yang memiliki 2 jenis kluster pompa, yang pertama 3 pompa operasi dari 4 pompa berjenis sentrifugal, sedangkan yang kedua adalah 4

pompa operasi dari 5 pompa berjenis *submersible*. Konsumsi daya aktif ideal maksimal adalah 600 kW ditambah 588 kW, sehingga total bernilai 1.188 kW. Konsumsi daya reaktif ideal maksimal adalah 259,8 kVAr ditambah 210,4 kVAr, sehingga total bernilai 470,2 kVAr. Kapasitas produksi air masing-masing  $510 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  dan  $440 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , sehingga total senilai  $950 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Tabel 5.2  
Pembagian Faktor Kluster Pompa

ID	RUMAH POMPA	BANYAK MOTOR		FAKTOR DARI P	FAKTOR DARI Q
		OP.	SEMUA		
				%	%
C-1-1	WENDIT 1	3	4	50.50	55.16
C-2-1	WENDIT 2	3	4	100.00	100.00
C-3-1	WENDIT 3	4	5	49.50	44.84
C-4-1	MOJOLANGU	2	3	44.31	41.01
C-4-2	MOJOLANGU	2	3	55.69	58.99
C-5-1	BADUT	1	1	50.00	50.00
C-5-2	BADUT	1	1	50.00	50.00
C-6-1	SUMBERSARI	1	1	100.00	100.00
C-7-1	ISTANA DIENG	1	1	100.00	100.00
C-8-1	SUPIT URANG	1	1	100.00	100.00

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Wendit 2 adalah rumah pompa yang memiliki 1 jenis kluster pompa, yaitu 3 pompa operasi dari 4 pompa berjenis sentrifugal. Konsumsi daya aktif ideal maksimal adalah 600 kW. Konsumsi daya reaktif ideal maksimal adalah 259,8 kVAr. Kapasitas produksi air total  $510 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$

Mojolangu adalah rumah pompa yang memiliki 2 jenis kluster pompa, yang pertama 2 pompa operasi dari 3 pompa berjenis *submersible*, sedangkan yang kedua adalah 2 pompa operasi dari 3 pompa yang juga berjenis *submersible*. Konsumsi daya aktif ideal maksimal adalah 264 kW ditambah 332 kW, sehingga total bernilai 596 kW. Konsumsi daya reaktif ideal maksimal adalah 86,4 kVAr ditambah 123,8 kVAr, sehingga total bernilai 210,2 kVAr. Secara teoritis, kapasitas produksi air masing-masing  $200 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  dan  $220 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , sehingga total senilai  $420 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Hanya saja, Mojolangu merupakan reservoir yang menampung air dari Wendit 1 dan Wendit 2 kemudian memompa ulang ke pelanggan dan reservoir Tlogomas, sehingga tidak diperhitungkan sebagai tempat produksi air secara langsung.



Badut adalah rumah pompa yang memiliki 2 jenis kluster pompa, yang pertama 1 pompa tunggal berjenis *submersible*, sedangkan yang kedua adalah 1 pompa tunggal yang juga berjenis *submersible*. Konsumsi daya aktif ideal maksimal masing-masing 15 kW, sehingga total bernilai 30 kW. Konsumsi daya reaktif ideal maksimal masing-masing 5,4 kVAr, sehingga total bernilai 10,8 kVAr. Kapasitas produksi air rumah pompa Badut masing-masing  $16,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  dan  $21,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , sehingga total senilai  $38,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Sumbersari adalah rumah pompa yang memiliki 1 jenis kluster pompa, yaitu 1 pompa tunggal berjenis sentrifugal. Konsumsi daya aktif ideal maksimal adalah 5,5 kW. Konsumsi daya reaktif ideal maksimal adalah 2 kVAr, sementara kapasitas produksi air total adalah  $4,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Istana Dieng adalah rumah pompa yang memiliki 1 jenis kluster pompa, yaitu 1 pompa tunggal berjenis *submersible*. Konsumsi daya aktif ideal maksimal adalah 15 kW. Konsumsi daya reaktif ideal maksimal adalah 5,4 kVAr, sementara kapasitas produksi air total adalah  $21,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Yang terakhir adalah Supit Urang, yang merupakan rumah pompa yang memiliki 1 jenis kluster pompa, yaitu 1 pompa tunggal berjenis *submersible*. Konsumsi daya aktif ideal maksimal adalah 15 kW. Konsumsi daya reaktif ideal maksimal adalah 5,4 kVAr, sementara kapasitas produksi air total adalah  $21,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Dari ketujuh rumah pompa tersebut di atas, dapat dilihat bahwa total daya aktif ideal maksimal yang dikonsumsi oleh semua pompa adalah 2.449,5 kW, dan total daya reaktif ideal maksimal senilai 963,6 kVAr, sedangkan total produksi air maksimal secara teoritis adalah  $1.966,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 5.3.2 Analisis Rumah Pompa Wendit 1

Meskipun memiliki pompa tersendiri, Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 memiliki meter kWh tunggal, karenanya analisis konsumsi listrik dan produksi air pada kedua rumah pompa tersebut dilakukan secara terpadu. Hanya saja pada analisis ini dilakukan secara terpisah dengan menggunakan faktor beban kluster pompa. Selanjutnya untuk analisis mandiri Rumah Pompa Wendit 1 akan berdasarkan data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari gabungan Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dikalikan faktor beban sebesar 50,5% untuk konsumsi P (energi dan daya aktif) dan 55,16% untuk konsumsi Q (energi dan daya reaktif).

Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Wendit 1 adalah pompa jenis sentrifugal (CEN), sebanyak total 4 unit, tetapi hanya 3 unit yang beroperasi dalam waktu bersamaan. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif total bila 3 unit pompa beroperasi adalah 600 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 450 kVAr, dengan faktor daya sebesar 80%.

Tabel 5.3  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Wendit 1

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAR	%			
2014	1	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	2	28	403,200.00	600.00	302,400.00	450.00	80.00
2014	3	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	4	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	5	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	6	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	7	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	8	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	9	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	10	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	11	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	12	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	1	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	2	28	403,200.00	600.00	302,400.00	450.00	80.00
2015	3	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	4	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	5	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	6	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	7	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	8	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	9	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	10	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	11	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	12	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	1	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	2	29	417,600.00	600.00	313,200.00	450.00	80.00
2016	3	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	4	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2016	5	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	6	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2016	7	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
<b>TOTAL</b>			<b>13,579,200.00</b>	<b>600.00</b>	<b>10,184,400.00</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>438,038.71</b>	<b>600.00</b>	<b>328,529.03</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>403,200.00</b>	<b>600.00</b>	<b>302,400.00</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>446,400.00</b>	<b>600.00</b>	<b>334,800.00</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.



Pada Tabel 5.3 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Wendit 1 bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

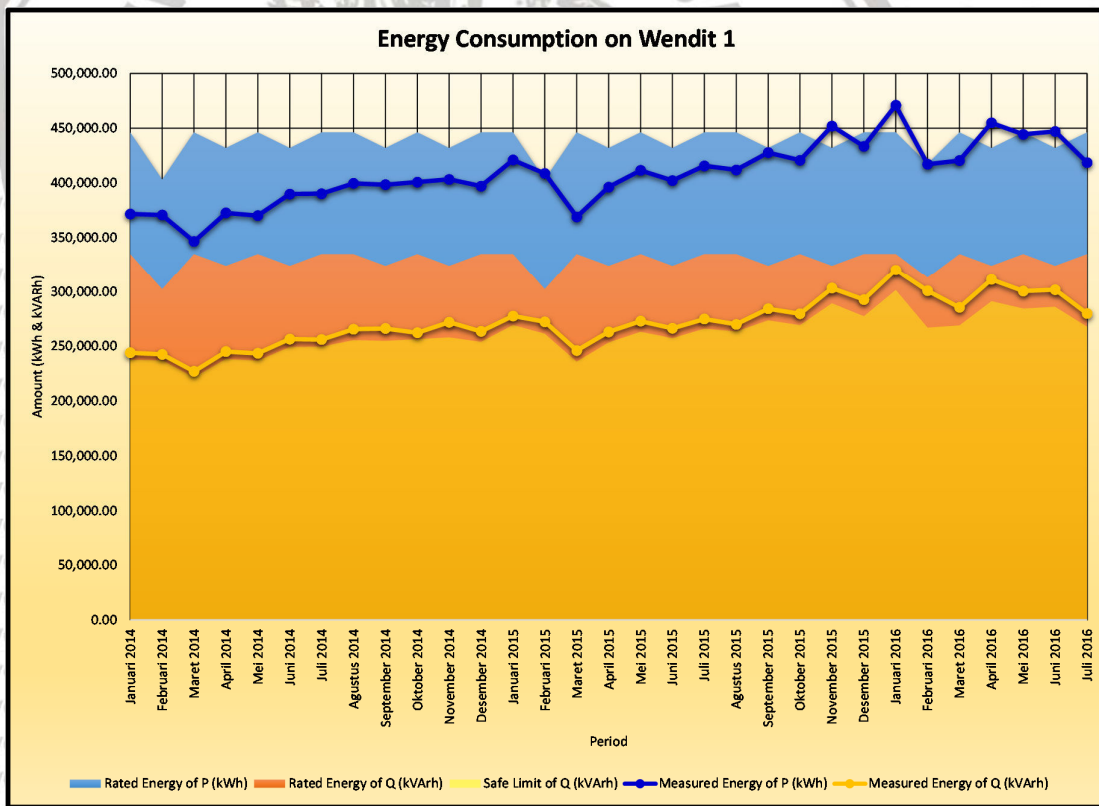
Tabel 5.4  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Wendit 1

TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR											
			P				Q							FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA		
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVA	kVA	kVA	%	
2014	1	31	322,006.00	49,680.00	371,686.00	499.58	237,879.04	244,181.30	6,302.26	319.73	328.20	8.47	83.58	
2014	2	28	320,672.85	49,993.09	370,665.94	551.59	237,226.20	242,647.86	5,421.66	353.02	361.08	8.07	83.67	
2014	3	31	301,180.59	45,296.77	346,477.36	465.70	221,745.51	227,203.12	5,457.61	298.05	305.38	7.34	83.62	
2014	4	30	321,117.23	51,487.83	372,605.06	517.51	238,467.24	245,262.43	6,795.19	331.20	340.64	9.44	83.53	
2014	5	31	314,825.17	55,315.59	370,140.76	497.50	236,890.08	243,640.74	6,750.65	318.40	327.47	9.07	83.53	
2014	6	30	325,651.96	64,233.55	389,885.50	541.51	249,526.72	256,625.35	7,098.63	346.56	356.42	9.86	83.53	
2014	7	31	329,570.61	60,607.78	390,178.39	524.43	249,714.17	256,184.07	6,469.90	335.64	344.33	8.70	83.59	
2014	8	31	338,397.67	61,244.06	399,641.73	537.15	255,770.71	265,660.52	9,889.81	343.78	357.07	13.29	83.28	
2014	9	30	336,458.54	61,920.73	398,379.28	553.30	254,962.74	266,234.18	11,271.44	354.11	369.77	15.65	83.14	
2014	10	31	338,064.38	62,708.50	400,772.89	538.67	256,494.65	262,350.93	5,856.28	344.75	352.62	7.87	83.67	
2014	11	30	333,782.15	69,525.74	403,307.89	560.15	258,117.05	271,970.80	13,853.75	358.50	377.74	19.24	82.91	
2014	12	31	330,449.27	66,687.75	397,137.03	533.79	254,167.70	263,586.51	9,418.81	341.62	354.28	12.66	83.32	
2015	1	31	351,587.77	69,495.44	421,083.21	565.97	269,493.26	277,619.16	8,125.90	362.22	373.14	10.92	83.49	
2015	2	28	341,538.65	67,122.04	408,660.69	608.13	261,542.84	272,378.98	10,836.14	389.20	405.33	16.13	83.21	
2015	3	31	311,088.31	57,880.89	368,969.20	495.93	236,140.29	246,233.25	10,092.96	317.39	330.96	13.57	83.18	
2015	4	30	334,802.21	61,405.65	396,207.86	550.29	253,573.03	263,167.30	9,594.27	352.18	365.51	13.33	83.30	
2015	5	31	348,386.19	63,092.29	411,478.48	553.06	263,346.23	272,919.55	9,573.32	353.96	366.83	12.87	83.34	
2015	6	30	348,436.69	53,790.54	402,227.23	558.65	257,425.43	266,399.66	8,974.23	357.54	370.00	12.46	83.37	
2015	7	31	359,414.97	56,264.95	415,679.92	558.71	266,035.15	274,883.23	8,848.09	357.57	369.47	11.89	83.41	
2015	8	31	360,960.21	50,982.85	411,943.06	553.69	263,643.56	270,040.21	6,396.65	354.36	362.96	8.60	83.63	
2015	9	30	372,372.77	55,345.89	427,718.66	594.05	273,739.94	284,249.36	10,509.42	380.19	394.79	14.60	83.29	
2015	10	31	359,515.96	61,284.46	420,800.42	565.59	269,312.27	279,671.10	10,358.83	361.98	375.90	13.92	83.28	
2015	11	30	381,856.31	70,162.02	452,018.33	627.80	289,291.73	303,213.30	13,921.56	401.79	421.13	19.34	83.05	
2015	12	31	366,010.02	67,505.82	433,515.84	582.68	277,450.14	292,699.84	15,249.71	372.92	393.41	20.50	82.88	
2016	1	31	399,278.14	71,747.66	471,025.80	633.10	301,456.51	320,014.96	18,558.45	405.18	430.13	24.94	82.72	
2016	2	29	350,194.02	66,920.04	417,114.06	599.30	266,953.00	300,686.98	33,733.98	383.55	432.02	48.47	81.12	
2016	3	31	354,900.44	65,596.99	420,497.43	565.18	269,118.36	285,518.04	16,399.68	361.72	383.76	22.04	82.73	
2016	4	30	382,330.99	72,656.62	454,987.62	631.93	291,192.07	311,101.14	19,909.07	404.43	432.08	27.65	82.55	
2016	5	31	374,342.20	70,101.42	444,443.62	597.37	284,443.92	300,455.31	16,011.39	382.32	403.84	21.52	82.85	
2016	6	30	375,261.26	71,818.36	447,079.62	620.94	286,130.96	301,679.85	15,548.90	397.40	419.00	21.60	82.89	
2016	7	31	353,324.90	65,314.20	418,639.10	562.69	267,929.03	279,957.93	12,028.91	360.12	376.29	16.17	83.13	
<b>TOTAL</b>			<b>10,737,778.42</b>	<b>1,917,189.55</b>	<b>12,654,967.97</b>		<b>8,099,179.50</b>	<b>8,448,436.95</b>	<b>349,257.45</b>					
<b>AVERAGE</b>			<b>346,379.95</b>	<b>61,844.82</b>	<b>408,224.77</b>	<b>559.55</b>	<b>261,263.85</b>	<b>272,530.22</b>	<b>11,266.37</b>	<b>358.11</b>	<b>373.60</b>	<b>15.49</b>	<b>83.19</b>	
<b>MINIMUM</b>			<b>301,180.59</b>	<b>45,296.77</b>	<b>346,477.36</b>	<b>465.70</b>	<b>221,745.51</b>	<b>227,203.12</b>	<b>5,421.66</b>	<b>298.05</b>	<b>305.38</b>	<b>7.34</b>	<b>81.12</b>	
<b>MAXIMUM</b>			<b>399,278.14</b>	<b>72,656.62</b>	<b>471,025.80</b>	<b>633.10</b>	<b>301,456.51</b>	<b>320,014.96</b>	<b>33,733.98</b>	<b>405.18</b>	<b>432.08</b>	<b>48.47</b>	<b>83.67</b>	

Sumber: Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.3 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.

Tabel 5.4 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Wendit 1, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.



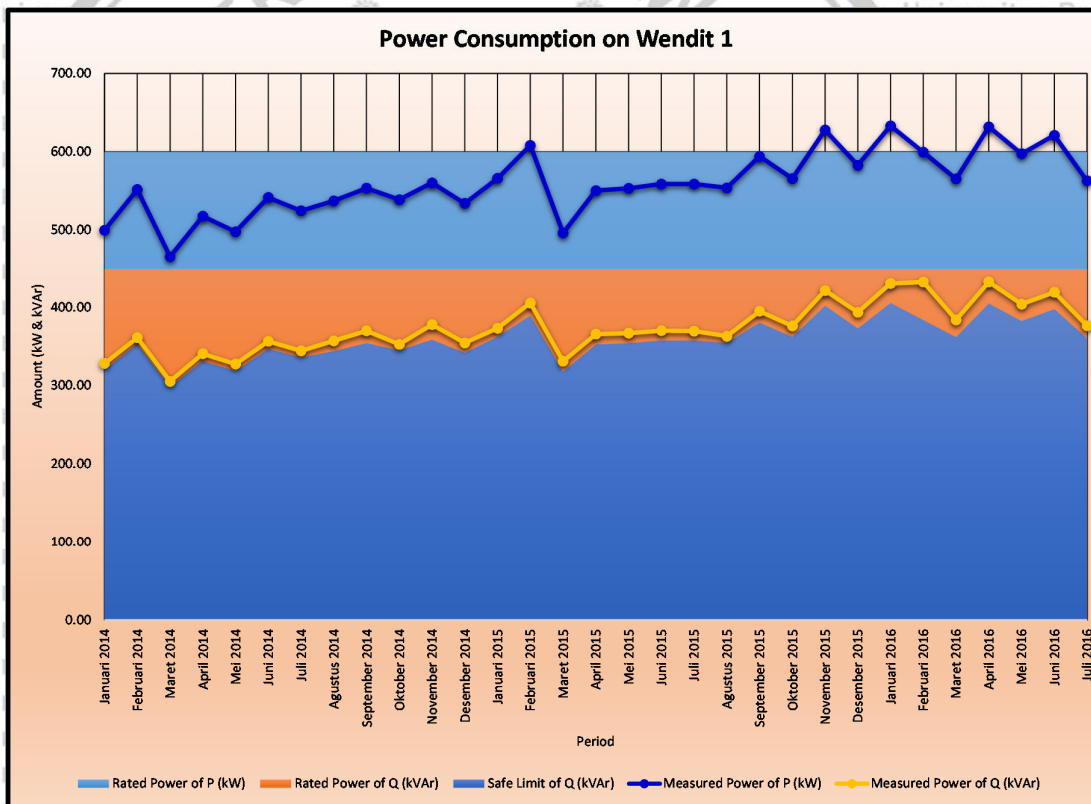
Gambar 5.22 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 1.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.22 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 1. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.4, konsumsi



daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 465,7 kW hingga 633,1 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung menaik. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 600 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa pada sebelum Desember 2015 konsumsi daya aktif masih di bawah konsumsi puncak ideal, kemudian cenderung naik di atas konsumsi puncak ideal. Hal ini menyatakan bahwa terdapat penurunan efisiensi dan terjadi *over-capacity* motor listrik yang ada di Rumah Pompa Wendit 1. Konsumsi daya reaktif masih di bawah *nameplate*, yang menunjukkan bahwa faktor daya motor pompa telah mengalami perbaikan dari standar yang ada (karena telah ada pemasangan kapasitor). Namun demikian, konsumsi daya reaktif menunjukkan tren yang cenderung naik, dan ditambah lagi konsumsi ini masih di atas batas ambang aman yang ditentukan PLN, sehingga Rumah Pompa Wendit 1 harus membayar denda kelebihan kVArh.



Gambar 5.23 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 1.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.23 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 1, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.22 sebagai versi energi.

Tabel 5.5  
Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Wendit 1

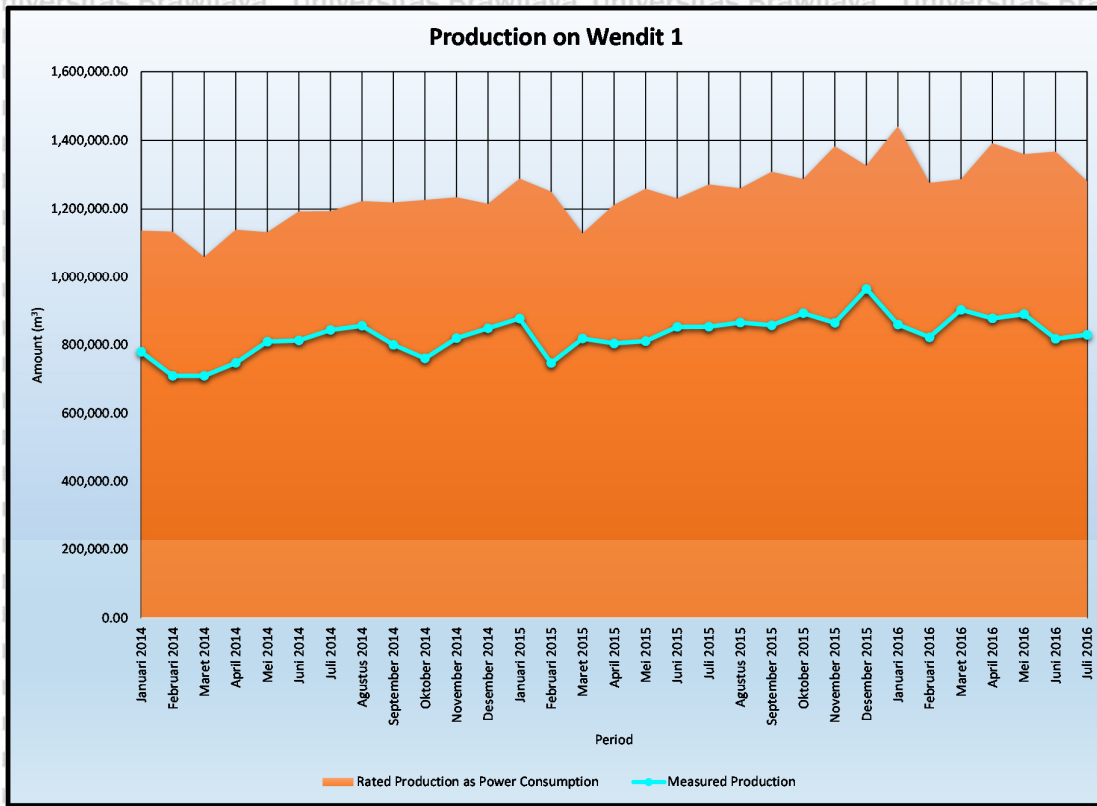
TAHUN	BULAN	BY K HARI	PROD. MAKS.					SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.	PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>
2014	1	31	1,365,984.00	1,137,359.16	780,123.99	-357,235.17	68.59	0.33	0.48	0.40
2014	2	28	1,233,792.00	1,134,237.77	710,200.32	-424,037.45	62.61	0.33	0.52	0.40
2014	3	31	1,365,984.00	1,060,220.73	710,200.32	-350,020.41	66.99	0.33	0.49	0.40
2014	4	30	1,321,920.00	1,140,171.49	748,005.19	-392,166.30	65.60	0.33	0.50	0.40
2014	5	31	1,365,984.00	1,132,630.72	809,921.89	-322,708.83	71.51	0.33	0.46	0.40
2014	6	30	1,321,920.00	1,193,049.64	813,658.75	-379,390.89	68.20	0.33	0.48	0.40
2014	7	31	1,365,984.00	1,193,945.88	844,112.11	-349,833.77	70.70	0.33	0.46	0.40
2014	8	31	1,365,984.00	1,222,903.69	856,389.71	-366,513.99	70.03	0.33	0.47	0.40
2014	9	30	1,321,920.00	1,219,040.59	800,684.28	-418,356.32	65.68	0.33	0.50	0.40
2014	10	31	1,365,984.00	1,226,365.03	760,939.27	-465,425.77	62.05	0.33	0.53	0.40
2014	11	30	1,321,920.00	1,234,122.14	820,408.82	-413,713.32	66.48	0.33	0.49	0.40
2014	12	31	1,365,984.00	1,215,239.30	849,025.07	-366,214.23	69.86	0.33	0.47	0.40
2015	1	31	1,365,984.00	1,288,514.63	877,641.32	-410,873.31	68.11	0.33	0.48	0.40
2015	2	28	1,233,792.00	1,250,501.70	747,310.34	-503,191.36	59.76	0.33	0.55	0.40
2015	3	31	1,365,984.00	1,129,045.76	819,188.28	-309,857.47	72.56	0.33	0.45	0.40
2015	4	30	1,321,920.00	1,212,396.06	804,900.36	-407,495.70	66.39	0.33	0.49	0.40
2015	5	31	1,365,984.00	1,259,124.14	811,623.17	-447,500.97	64.46	0.33	0.51	0.40
2015	6	30	1,321,920.00	1,230,815.33	853,162.38	-377,652.95	69.32	0.33	0.47	0.40
2015	7	31	1,365,984.00	1,271,980.55	853,549.70	-418,430.85	67.10	0.33	0.49	0.40
2015	8	31	1,365,984.00	1,260,545.76	865,730.84	-394,814.92	68.68	0.33	0.48	0.40
2015	9	30	1,321,920.00	1,308,819.09	858,042.51	-450,776.58	65.56	0.33	0.50	0.40
2015	10	31	1,365,984.00	1,287,649.29	893,165.43	-394,483.86	69.36	0.33	0.47	0.40
2015	11	30	1,321,920.00	1,383,176.09	864,997.61	-518,178.48	62.54	0.33	0.52	0.40
2015	12	31	1,365,984.00	1,326,558.46	964,182.89	-362,375.57	72.68	0.33	0.45	0.40
2016	1	31	1,365,984.00	1,441,338.96	860,262.91	-581,076.05	59.68	0.33	0.55	0.40
2016	2	29	1,277,856.00	1,276,369.03	822,839.80	-453,529.23	64.47	0.33	0.51	0.40
2016	3	31	1,365,984.00	1,286,722.15	903,149.91	-383,572.23	70.19	0.33	0.47	0.40
2016	4	30	1,321,920.00	1,392,262.10	877,997.83	-514,264.27	63.06	0.33	0.52	0.40
2016	5	31	1,365,984.00	1,359,997.47	890,316.84	-469,680.64	65.46	0.33	0.50	0.40
2016	6	30	1,321,920.00	1,368,063.63	818,454.55	-549,609.08	59.83	0.33	0.55	0.40
2016	7	31	1,365,984.00	1,281,035.66	830,079.71	-450,955.95	64.80	0.33	0.50	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>41,552,352.00</b>	<b>38,724,201.99</b>	<b>25,720,266.09</b>	<b>-13,003,935.90</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>1,340,398.45</b>	<b>1,249,167.81</b>	<b>829,686.00</b>	<b>-419,481.80</b>	<b>66.53</b>	<b>0.33</b>	<b>0.49</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>1,233,792.00</b>	<b>1,060,220.73</b>	<b>710,200.32</b>	<b>-581,076.05</b>	<b>59.68</b>	<b>0.33</b>	<b>0.45</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>1,365,984.00</b>	<b>1,441,338.96</b>	<b>964,182.89</b>	<b>-309,857.47</b>	<b>72.68</b>	<b>0.33</b>	<b>0.55</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.5 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 1.

Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai *nameplate*, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.

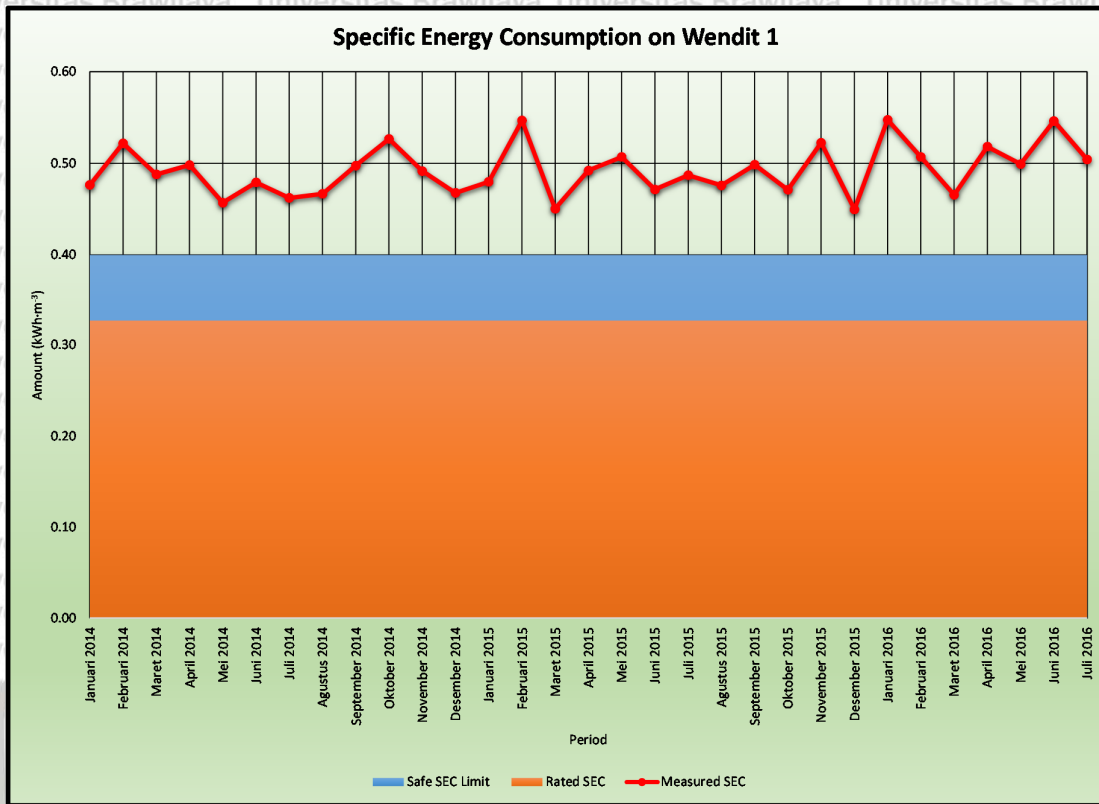




Gambar 5.24 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 1.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.5, pada Gambar 5.24 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.25 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Wendit 1 rata-rata hanya 66,53% bila dibandingkan dengan seharusnya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung konstan. SEC yang dihasilkan ternyata masih terlalu tinggi, yaitu  $0,49 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$  bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ .



Gambar 5.25 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Wendit 1.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Ada dua hasil analisis elektris pada Rumah Pompa Wendit 1:

1. Penambahan pemasangan kapasitor untuk menaikkan faktor daya hingga di atas 84,23%. Hal ini digunakan untuk menghindari denda kelebihan kVARh.
2. Perbaikan motor pompa karena dua hal, yaitu *over-capacity* motor pompa dan efisiensi yang terlalu rendah (SEC yang terlalu tinggi).

### 5.3.3 Analisis Rumah Pompa Wendit 2

Untuk analisis mandiri Rumah Pompa Wendit 2 akan dilakukan berdasarkan data konsumsi listrik yang dikumpulkan langsung data Rumah Pompa Wendit 2.

Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Wendit 2 adalah sebanyak total 4 unit, tetapi hanya 3 unit yang beroperasi dalam waktu bersamaan. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif total bila 3 unit pompa beroperasi adalah 600 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 450 kVAR, dengan faktor daya sebesar 80%.



Tabel 5.6  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Wendit 2

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	2	28	403,200.00	600.00	302,400.00	450.00	80.00
2014	3	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	4	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	5	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	6	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	7	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	8	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	9	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	10	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2014	11	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2014	12	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	1	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	2	28	403,200.00	600.00	302,400.00	450.00	80.00
2015	3	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	4	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	5	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	6	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	7	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	8	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	9	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	10	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2015	11	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2015	12	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	1	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	2	29	417,600.00	600.00	313,200.00	450.00	80.00
2016	3	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	4	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2016	5	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
2016	6	30	432,000.00	600.00	324,000.00	450.00	80.00
2016	7	31	446,400.00	600.00	334,800.00	450.00	80.00
<b>TOTAL</b>			<b>13,579,200.00</b>	<b>600.00</b>	<b>10,184,400.00</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>438,038.71</b>	<b>600.00</b>	<b>328,529.03</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>403,200.00</b>	<b>600.00</b>	<b>302,400.00</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>446,400.00</b>	<b>600.00</b>	<b>334,800.00</b>	<b>450.00</b>	<b>80.00</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.6 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Wendit 2 bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

Tabel 5.7  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Wendit 2

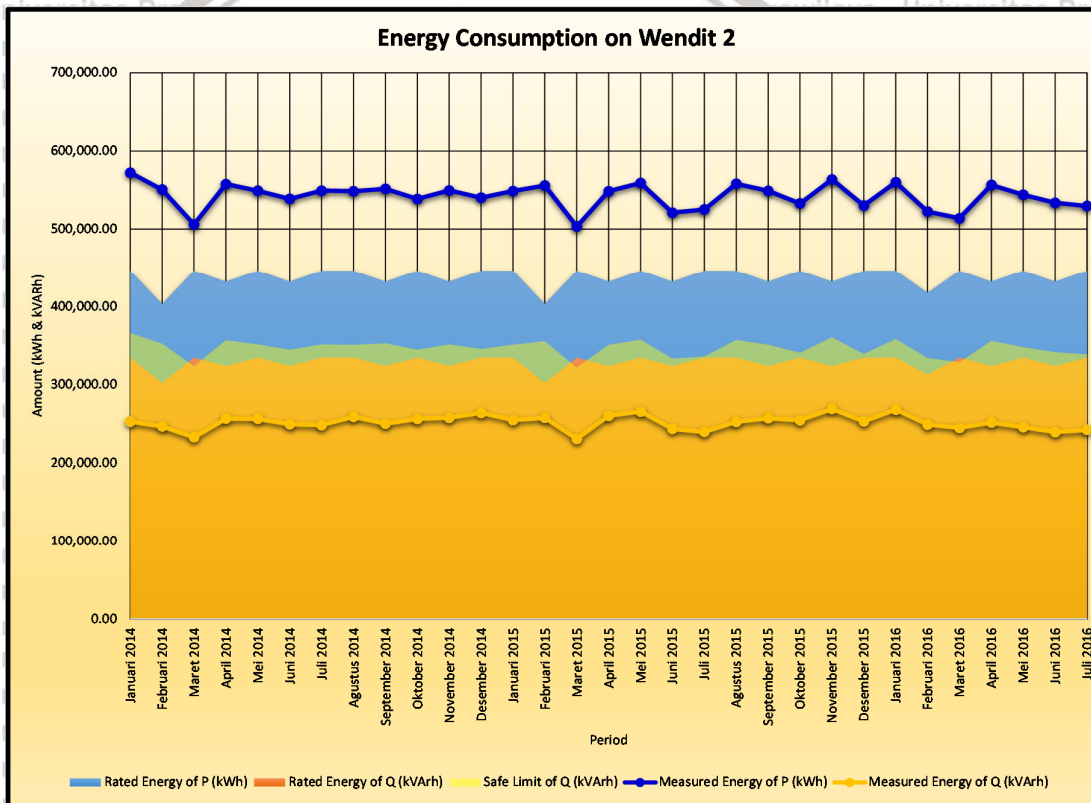
TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVA	kVA	kVA	
2014	1	31	477,680.00	94,540.00	572,220.00	769.11	366,220.80	253,136.00	0.00	492.23	340.24	0.00	91.45
2014	2	28	456,460.00	94,220.00	550,680.00	819.46	352,435.20	247,072.00	0.00	524.46	367.67	0.00	91.24
2014	3	31	422,460.00	83,480.00	505,940.00	680.03	323,801.60	233,216.00	0.00	435.22	313.46	0.00	90.82
2014	4	30	464,160.00	93,540.00	557,700.00	774.58	356,928.00	256,928.00	0.00	495.73	356.84	0.00	90.83
2014	5	31	457,780.00	91,320.00	549,100.00	738.04	351,424.00	256,768.00	0.00	472.34	345.12	0.00	90.59
2014	6	30	448,880.00	89,860.00	538,740.00	748.25	344,793.60	249,840.00	0.00	478.88	347.00	0.00	90.72
2014	7	31	456,600.00	92,600.00	549,200.00	738.17	351,488.00	248,640.00	0.00	472.43	334.19	0.00	91.10
2014	8	31	457,300.00	91,180.00	548,480.00	737.20	351,027.20	259,312.00	0.00	471.81	348.54	0.00	90.41
2014	9	30	458,740.00	92,920.00	551,660.00	766.19	353,062.40	250,576.00	0.00	490.36	348.02	0.00	91.05
2014	10	31	449,180.00	89,500.00	538,680.00	724.03	344,755.20	256,560.00	0.00	463.38	344.84	0.00	90.28
2014	11	30	456,340.00	93,120.00	549,460.00	763.14	351,654.40	258,080.00	0.00	488.41	358.44	0.00	90.51
2014	12	31	450,020.00	90,200.00	540,220.00	726.10	345,740.80	264,256.00	0.00	464.71	355.18	0.00	89.83
2015	1	31	457,540.00	91,200.00	548,740.00	737.55	351,193.60	255,152.00	0.00	472.03	342.95	0.00	90.68
2015	2	28	461,760.00	94,080.00	555,840.00	827.14	355,737.60	257,984.00	0.00	529.37	383.90	0.00	90.71
2015	3	31	419,940.00	83,440.00	503,380.00	676.59	322,163.20	231,120.00	0.00	433.02	310.65	0.00	90.88
2015	4	30	455,880.00	92,580.00	548,460.00	761.75	351,014.40	260,576.00	0.00	487.52	361.91	0.00	90.32
2015	5	31	466,140.00	92,840.00	558,980.00	751.32	357,747.20	265,968.00	0.00	480.84	357.48	0.00	90.30
2015	6	30	432,460.00	88,600.00	521,060.00	723.69	333,478.40	243,840.00	0.00	463.16	338.67	0.00	90.57
2015	7	31	437,260.00	87,880.00	525,140.00	705.83	336,089.60	240,128.00	0.00	451.73	322.75	0.00	90.94
2015	8	31	464,360.00	93,660.00	558,020.00	750.03	357,132.80	252,864.00	0.00	480.02	339.87	0.00	91.08
2015	9	30	457,060.00	91,920.00	548,980.00	762.47	351,347.20	257,504.00	0.00	487.98	357.64	0.00	90.54
2015	10	31	443,820.00	89,000.00	532,820.00	716.16	341,004.80	254,880.00	0.00	458.34	342.58	0.00	90.21
2015	11	30	470,640.00	92,940.00	563,580.00	782.75	360,691.20	269,344.00	0.00	500.96	374.09	0.00	90.23
2015	12	31	442,080.00	88,120.00	530,200.00	712.63	339,328.00	253,488.00	0.00	456.09	340.71	0.00	90.22
2016	1	31	465,560.00	94,420.00	559,980.00	752.66	358,387.20	268,416.00	0.00	481.70	360.77	0.00	90.18
2016	2	29	432,960.00	89,440.00	522,400.00	750.57	334,336.00	249,408.00	0.00	480.37	358.34	0.00	90.24
2016	3	31	427,820.00	86,020.00	513,840.00	690.65	328,857.60	245,264.00	0.00	442.01	329.66	0.00	90.25
2016	4	30	464,560.00	92,040.00	556,600.00	773.06	356,224.00	252,080.00	0.00	494.76	350.11	0.00	91.09
2016	5	31	454,200.00	89,680.00	543,880.00	731.02	348,083.20	246,080.00	0.00	467.85	330.75	0.00	91.11
2016	6	30	444,060.00	89,660.00	533,720.00	741.28	341,580.80	239,776.00	0.00	474.42	333.02	0.00	91.22
2016	7	31	444,400.00	85,160.00	529,560.00	711.77	338,918.40	242,592.00	0.00	455.54	326.06	0.00	90.91
<b>TOTAL</b>			<b>13,998,100.00</b>	<b>2,809,160.00</b>	<b>16,807,260.00</b>	<b>743.33</b>	<b>10,756,646.40</b>	<b>7,820,848.00</b>	<b>0.00</b>	<b>475.73</b>	<b>345.85</b>	<b>0.00</b>	<b>90.66</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>451,551.61</b>	<b>90,618.06</b>	<b>542,169.68</b>	<b>743.33</b>	<b>346,988.59</b>	<b>252,285.42</b>	<b>0.00</b>	<b>475.73</b>	<b>345.85</b>	<b>0.00</b>	<b>90.66</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>419,940.00</b>	<b>83,440.00</b>	<b>503,380.00</b>	<b>676.59</b>	<b>322,163.20</b>	<b>231,120.00</b>	<b>0.00</b>	<b>433.02</b>	<b>310.65</b>	<b>0.00</b>	<b>89.83</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>477,680.00</b>	<b>94,540.00</b>	<b>572,220.00</b>	<b>827.14</b>	<b>366,220.80</b>	<b>269,344.00</b>	<b>0.00</b>	<b>529.37</b>	<b>383.90</b>	<b>0.00</b>	<b>91.45</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.6 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.



Tabel 5.7 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Wendit 2, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.



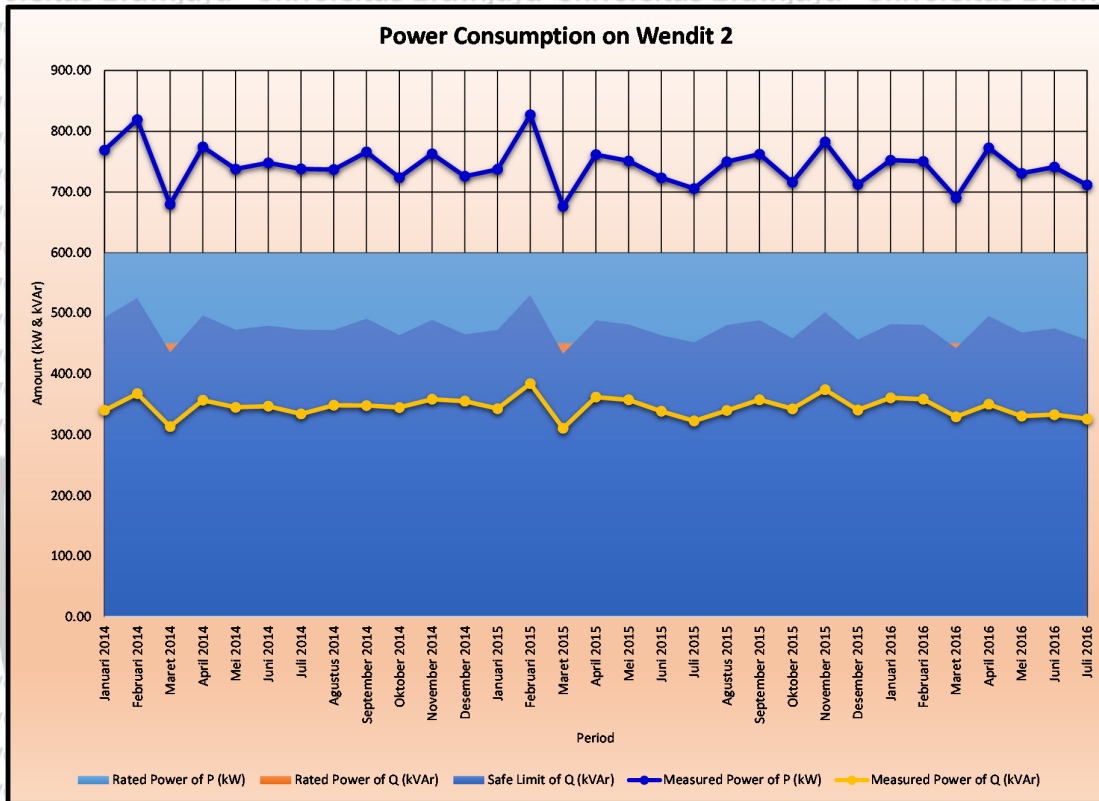
Gambar 5.26 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 2.

Sumber: Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.26 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 2. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.7, konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 676,59 kW hingga 827,16 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung konstan. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 600 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa terdapat penurunan efisiensi dan terjadi *over-capacity* motor listrik yang ada di Rumah Pompa



Wendit 2. Konsumsi daya reaktif masih di bawah *nameplate*, yang menunjukkan bahwa faktor daya motor pompa telah mengalami perbaikan dari standar yang ada (karena telah ada pemasangan kapasitor). Konsumsi daya reaktif ini masih di bawah batas ambang aman yang ditentukan PLN, sehingga Rumah Pompa Wendit 2 tidak terkena denda kelebihan kVArh.



Gambar 5.27 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 2.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.27 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 2, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.26 sebagai versi energi.

Tabel 5.8  
Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Wendit 2

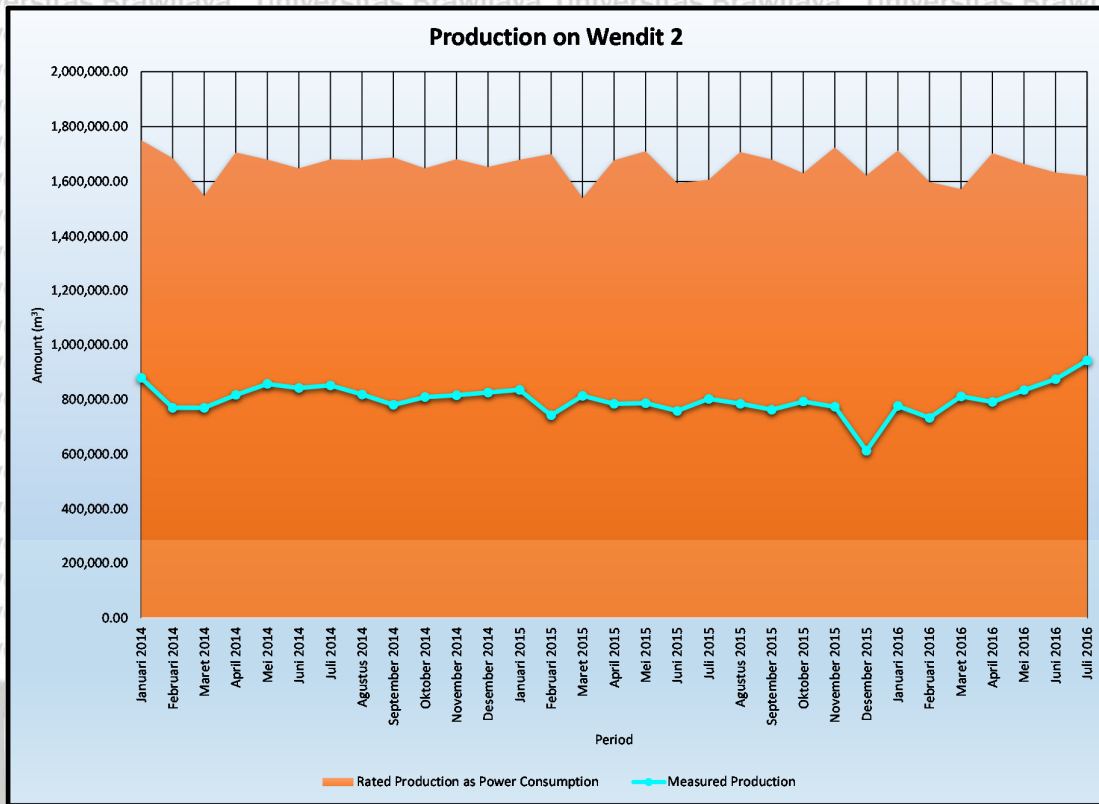
TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		m <sup>3</sup>	%	MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN
2014	1	31	1,365,984.00	1,750,993.20	879,941.00	-871,052.20	50.25	0.33	0.65	0.40
2014	2	28	1,233,792.00	1,685,080.80	770,692.00	-914,388.80	45.74	0.33	0.71	0.40
2014	3	31	1,365,984.00	1,548,176.40	770,692.00	-777,484.40	49.78	0.33	0.66	0.40
2014	4	30	1,321,920.00	1,706,562.00	817,511.00	-889,051.00	47.90	0.33	0.68	0.40
2014	5	31	1,365,984.00	1,680,246.00	858,064.00	-822,182.00	51.07	0.33	0.64	0.40



TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN		
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>
2014	6	30	1,321,920.00	1,648,544.40	842,999.00	-805,545.40	51.14	0.33	0.64	0.40
2014	7	31	1,365,984.00	1,680,552.00	852,450.00	-828,102.00	50.72	0.33	0.64	0.40
2014	8	31	1,365,984.00	1,678,348.80	819,419.00	-858,929.80	48.82	0.33	0.67	0.40
2014	9	30	1,321,920.00	1,688,079.60	781,409.00	-906,670.60	46.29	0.33	0.71	0.40
2014	10	31	1,365,984.00	1,648,360.80	809,962.00	-838,398.80	49.14	0.33	0.67	0.40
2014	11	30	1,321,920.00	1,681,347.60	816,682.00	-864,665.60	48.57	0.33	0.67	0.40
2014	12	31	1,365,984.00	1,653,073.20	826,572.00	-826,501.20	50.00	0.33	0.65	0.40
2015	1	31	1,365,984.00	1,679,144.40	836,462.00	-842,682.40	49.81	0.33	0.66	0.40
2015	2	28	1,233,792.00	1,700,870.40	743,309.00	-957,561.40	43.70	0.33	0.75	0.40
2015	3	31	1,365,984.00	1,540,342.80	814,575.00	-725,767.80	52.88	0.33	0.62	0.40
2015	4	30	1,321,920.00	1,678,287.60	784,979.00	-893,308.60	46.77	0.33	0.70	0.40
2015	5	31	1,365,984.00	1,710,478.80	787,562.00	-922,916.80	46.04	0.33	0.71	0.40
2015	6	30	1,321,920.00	1,594,443.60	759,344.00	-835,099.60	47.62	0.33	0.69	0.40
2015	7	31	1,365,984.00	1,606,928.40	803,242.00	-803,686.40	49.99	0.33	0.65	0.40
2015	8	31	1,365,984.00	1,707,541.20	785,570.00	-921,971.20	46.01	0.33	0.71	0.40
2015	9	30	1,321,920.00	1,679,878.80	763,687.00	-916,191.80	45.46	0.33	0.72	0.40
2015	10	31	1,365,984.00	1,630,429.20	793,403.00	-837,026.20	48.66	0.33	0.67	0.40
2015	11	30	1,321,920.00	1,724,554.80	774,637.00	-949,917.80	44.92	0.33	0.73	0.40
2015	12	31	1,365,984.00	1,622,412.00	613,479.00	-1,008,933.00	37.81	0.33	0.86	0.40
2016	1	31	1,365,984.00	1,713,538.80	777,242.00	-936,296.80	45.36	0.33	0.72	0.40
2016	2	29	1,277,856.00	1,598,544.00	733,837.00	-864,707.00	45.91	0.33	0.71	0.40
2016	3	31	1,365,984.00	1,572,350.40	812,370.00	-759,980.40	51.67	0.33	0.63	0.40
2016	4	30	1,321,920.00	1,703,196.00	792,077.00	-911,119.00	46.51	0.33	0.70	0.40
2016	5	31	1,365,984.00	1,664,272.80	835,241.00	-829,031.80	50.19	0.33	0.65	0.40
2016	6	30	1,321,920.00	1,633,183.20	875,075.00	-758,108.20	53.58	0.33	0.61	0.40
2016	7	31	1,365,984.00	1,620,453.60	943,437.00	-677,016.60	58.22	0.33	0.56	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>41,552,352.00</b>	<b>51,430,215.60</b>	<b>24,875,921.00</b>	<b>-26,554,294.60</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>1,340,398.45</b>	<b>1,659,039.21</b>	<b>802,449.06</b>	<b>-856,590.15</b>	<b>48.40</b>	<b>0.33</b>	<b>0.68</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>1,233,792.00</b>	<b>1,540,342.80</b>	<b>613,479.00</b>	<b>-1,008,933.00</b>	<b>37.81</b>	<b>0.33</b>	<b>0.56</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>1,365,984.00</b>	<b>1,750,993.20</b>	<b>943,437.00</b>	<b>-677,016.60</b>	<b>58.22</b>	<b>0.33</b>	<b>0.86</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.8 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 2. Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai *nameplate*, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.

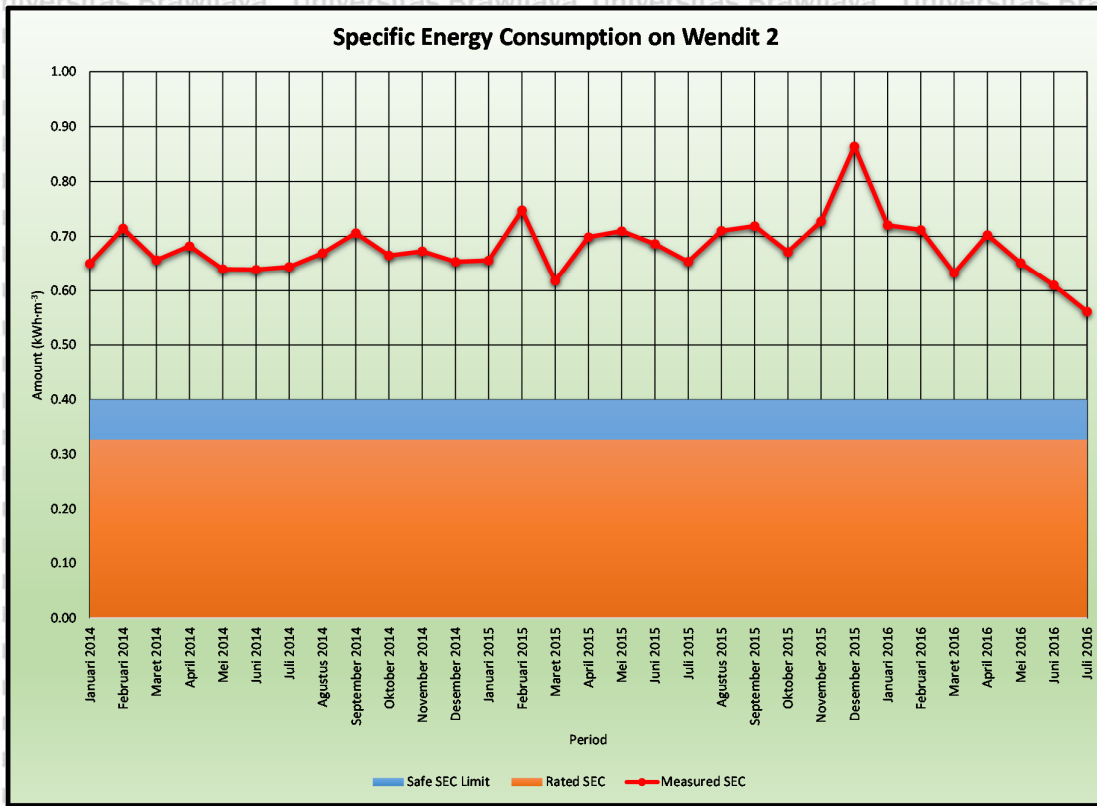


Gambar 5.28 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 2.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.8, pada Gambar 5.28 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.29 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Wendit 2 rata-rata hanya 48,40% bila dibandingkan dengan seharusnya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung konstan. SEC yang dihasilkan ternyata masih terlalu tinggi, yaitu  $0,56 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$  bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ .





Gambar 5.29 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Wendit 2.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Ada satu hasil analisis elektris pada Rumah Pompa Wendit 2:

1. Perbaiki motor pompa karena dua hal, yaitu *over-capacity* motor pompa dan efisiensi yang terlalu rendah (SEC yang terlalu tinggi).

### 5.3.4 Analisis Rumah Pompa Wendit 3

Meskipun memiliki pompa tersendiri, Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 memiliki meter kWh tunggal, karenanya analisis konsumsi listrik dan produksi air pada kedua rumah pompa tersebut dilakukan secara terpadu. Hanya saja pada analisis ini dilakukan secara terpisah dengan menggunakan faktor beban kluster pompa. Selanjutnya untuk analisis mandiri Rumah Pompa Wendit 3 akan berdasarkan data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari gabungan Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dikalikan faktor beban sebesar 49,5% untuk konsumsi P (energi dan daya aktif) dan 44,84% untuk konsumsi Q (energi dan daya reaktif).

Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Wendit 1 adalah pompa sebanyak total 5 unit, tetapi hanya 4 unit yang beroperasi dalam waktu bersamaan. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif total bila 4 unit pompa

beroperasi adalah 588 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 364,4 kVAr, dengan faktor daya sebesar 85%.

Tabel 5.9  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Wendit 3

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2014	2	28	395,136.00	588.00	244,876.80	364.40	85.00
2014	3	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2014	4	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2014	5	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2014	6	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2014	7	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2014	8	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2014	9	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2014	10	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2014	11	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2014	12	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2015	1	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2015	2	28	395,136.00	588.00	244,876.80	364.40	85.00
2015	3	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2015	4	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2015	5	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2015	6	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2015	7	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2015	8	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2015	9	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2015	10	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2015	11	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2015	12	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2016	1	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2016	2	29	409,248.00	588.00	253,622.40	364.40	85.00
2016	3	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2016	4	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2016	5	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
2016	6	30	423,360.00	588.00	262,368.00	364.40	85.00
2016	7	31	437,472.00	588.00	271,113.60	364.40	85.00
<b>TOTAL</b>			<b>13,307,616.00</b>	<b>588.00</b>	<b>8,247,100.80</b>	<b>364.40</b>	<b>85.00</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>429,277.94</b>	<b>588.00</b>	<b>266,035.51</b>	<b>364.40</b>	<b>85.00</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>395,136.00</b>	<b>588.00</b>	<b>244,876.80</b>	<b>364.40</b>	<b>85.00</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>437,472.00</b>	<b>588.00</b>	<b>271,113.60</b>	<b>364.40</b>	<b>85.00</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.9 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Wendit 3 bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa



yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

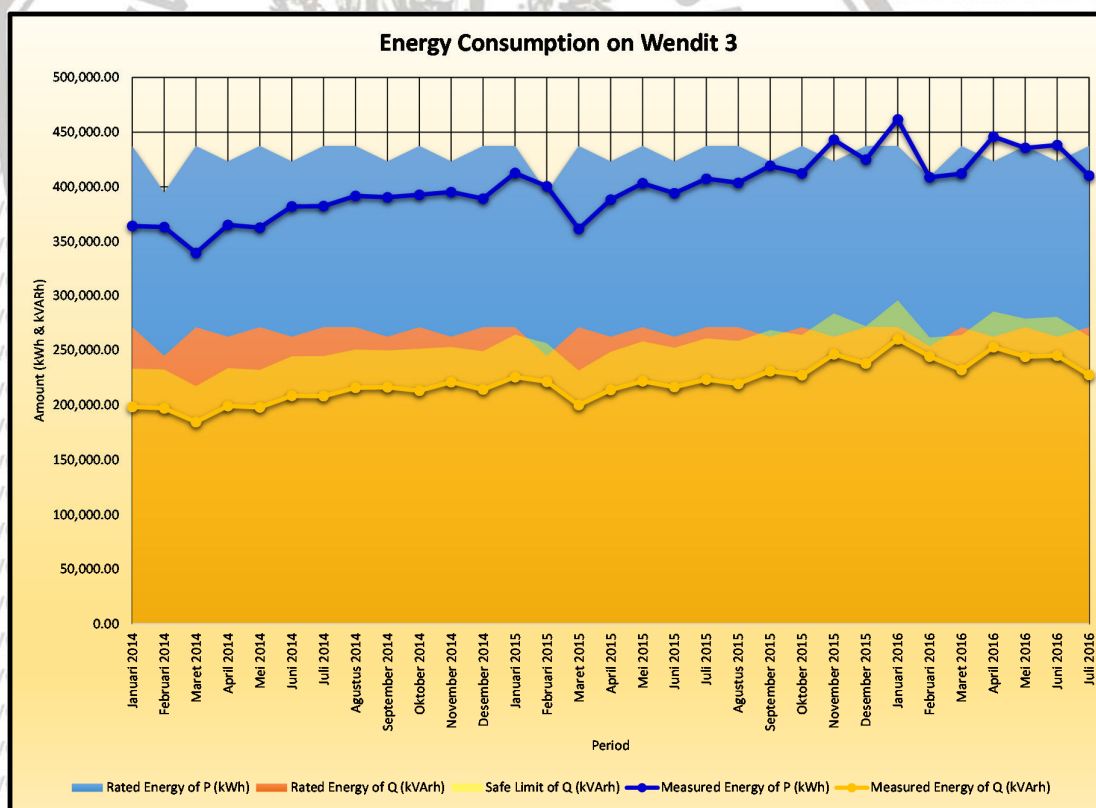
Tabel 5.10  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Wendit 3

TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2014	1	31	315,654.00	48,700.00	364,354.00	489.72	233,186.56	198,498.70	0.00	313.42	266.80	0.00	87.81
2014	2	28	314,347.15	49,006.91	363,354.06	540.71	232,546.60	197,252.14	0.00	346.05	293.53	0.00	87.89
2014	3	31	295,239.41	44,403.23	339,642.64	456.51	217,371.29	184,696.88	0.00	292.17	248.25	0.00	87.85
2014	4	30	314,782.77	50,472.17	365,254.94	507.30	233,763.16	199,377.57	0.00	324.67	276.91	0.00	87.77
2014	5	31	308,614.83	54,224.41	362,839.24	487.69	232,217.12	198,059.26	0.00	312.12	266.21	0.00	87.77
2014	6	30	319,228.04	62,966.45	382,194.50	530.83	244,604.48	208,614.65	0.00	339.73	289.74	0.00	87.78
2014	7	31	323,069.39	59,412.22	382,481.61	514.09	244,788.23	208,255.93	0.00	329.02	279.91	0.00	87.83
2014	8	31	331,722.33	60,035.94	391,758.27	526.56	250,725.29	215,959.48	0.00	337.00	290.27	0.00	87.58
2014	9	30	329,821.46	60,699.27	390,520.72	542.39	249,933.26	216,425.82	0.00	347.13	300.59	0.00	87.47
2014	10	31	331,395.62	61,471.50	392,867.11	528.05	251,434.95	213,269.07	0.00	337.95	286.65	0.00	87.89
2014	11	30	327,197.85	68,154.26	395,352.11	549.10	253,025.35	221,089.20	0.00	351.42	307.07	0.00	87.28
2014	12	31	323,930.73	65,372.25	389,302.97	523.26	249,153.90	214,273.49	0.00	334.88	288.00	0.00	87.61
2015	1	31	344,652.23	68,124.56	412,776.79	554.81	264,177.14	225,680.84	0.00	355.08	303.33	0.00	87.74
2015	2	28	334,801.35	65,797.96	400,599.31	596.13	256,383.56	221,421.02	0.00	381.52	329.50	0.00	87.52
2015	3	31	304,951.69	56,739.11	361,690.80	486.14	231,482.11	200,166.75	0.00	311.13	269.04	0.00	87.49
2015	4	30	328,197.79	60,194.35	388,392.14	539.43	248,570.97	213,932.70	0.00	345.24	297.13	0.00	87.59
2015	5	31	341,513.81	61,847.71	403,361.52	542.15	258,151.37	221,860.45	0.00	346.98	298.20	0.00	87.62
2015	6	30	341,563.31	52,729.46	394,292.77	547.63	252,347.37	216,560.34	0.00	350.48	300.78	0.00	87.65
2015	7	31	352,325.03	55,155.05	407,480.08	547.69	260,787.25	223,456.77	0.00	350.52	300.35	0.00	87.68
2015	8	31	353,839.79	49,977.15	403,816.94	542.76	258,442.84	219,519.79	0.00	347.37	295.05	0.00	87.86
2015	9	30	365,027.23	54,254.11	419,281.34	582.34	268,340.06	231,070.64	0.00	372.69	320.93	0.00	87.58
2015	10	31	352,424.04	60,075.54	412,499.58	554.43	263,999.73	227,348.90	0.00	354.84	305.58	0.00	87.58
2015	11	30	374,323.69	68,777.98	443,101.67	615.42	283,585.07	246,486.70	0.00	393.87	342.34	0.00	87.39
2015	12	31	358,789.98	66,174.18	424,964.16	571.19	271,977.06	237,940.16	0.00	365.56	319.81	0.00	87.25
2016	1	31	391,401.86	70,332.34	461,734.20	620.61	295,509.89	260,145.04	0.00	397.19	349.66	0.00	87.12
2016	2	29	343,285.98	65,599.96	408,885.94	587.48	261,687.00	244,433.02	0.00	375.99	351.20	0.00	85.83
2016	3	31	347,899.56	64,303.01	412,202.57	554.04	263,809.64	232,101.96	0.00	354.58	311.97	0.00	87.14
2016	4	30	374,789.01	71,223.38	446,012.38	619.46	285,447.93	252,898.86	0.00	396.46	351.25	0.00	86.99
2016	5	31	366,957.80	68,718.58	435,676.38	585.59	278,832.88	244,244.69	0.00	374.78	328.29	0.00	87.23
2016	6	30	367,858.74	70,401.64	438,260.38	608.69	280,486.64	245,240.15	0.00	389.56	340.61	0.00	87.27
2016	7	31	346,355.10	64,025.80	410,380.90	551.59	262,643.77	227,582.07	0.00	353.02	305.89	0.00	87.45
<b>TOTAL</b>			<b>10,525,961.58</b>	<b>1,879,370.45</b>	<b>12,405,332.03</b>	<b>548.51</b>	<b>7,939,412.50</b>	<b>6,867,863.05</b>	<b>0.00</b>	<b>351.05</b>	<b>303.70</b>	<b>0.00</b>	<b>87.50</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>339,547.15</b>	<b>60,624.85</b>	<b>400,172.00</b>	<b>548.51</b>	<b>256,110.08</b>	<b>221,543.97</b>	<b>0.00</b>	<b>351.05</b>	<b>303.70</b>	<b>0.00</b>	<b>87.50</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>295,239.41</b>	<b>44,403.23</b>	<b>339,642.64</b>	<b>456.51</b>	<b>217,371.29</b>	<b>184,696.88</b>	<b>0.00</b>	<b>292.17</b>	<b>248.25</b>	<b>0.00</b>	<b>85.83</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>391,401.86</b>	<b>71,223.38</b>	<b>461,734.20</b>	<b>620.61</b>	<b>295,509.89</b>	<b>260,145.04</b>	<b>0.00</b>	<b>397.19</b>	<b>351.25</b>	<b>0.00</b>	<b>87.89</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.9 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.

Tabel 5.10 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Wendit 3, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.



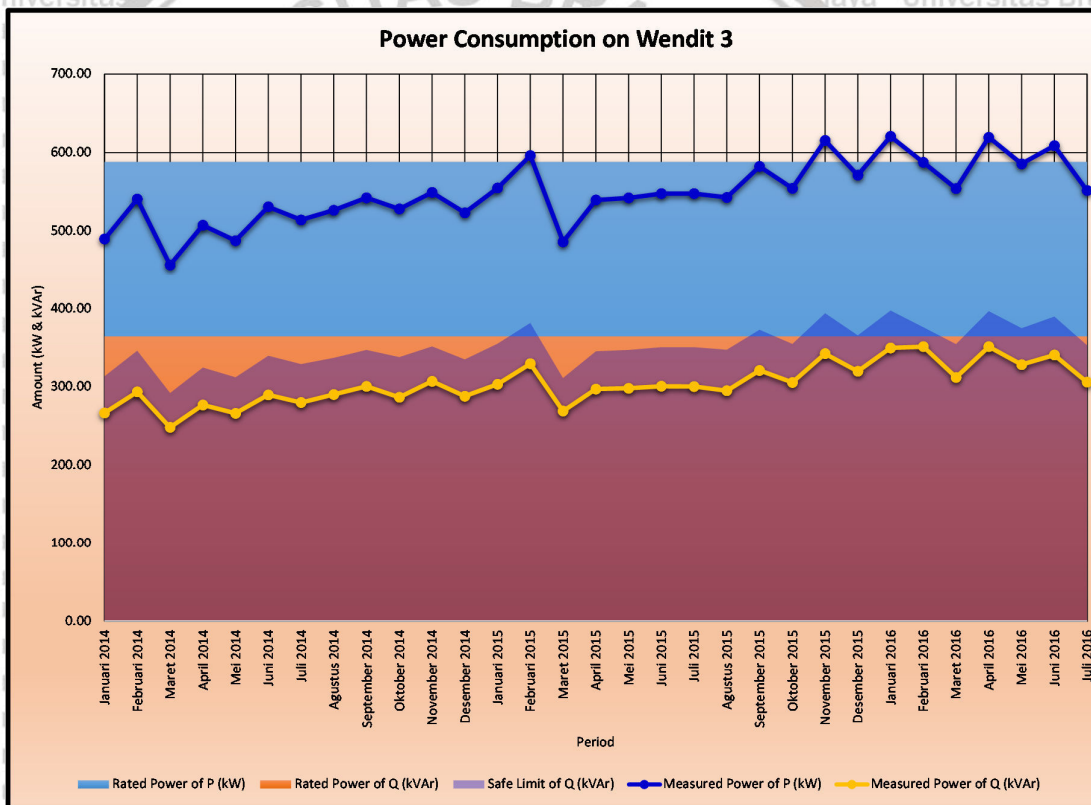
Gambar 5.30 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 3.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.30 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Wendit 1. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.10, konsumsi



daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 456,51 kW hingga 620,61 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung menaik. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 588 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa pada sebelum November 2015 konsumsi daya aktif masih di bawah konsumsi puncak ideal, kemudian cenderung naik di atas konsumsi puncak ideal. Hal ini menyatakan bahwa terdapat penurunan efisiensi dan terjadi *over-capacity* motor listrik yang ada di Rumah Pompa Wendit 3. Konsumsi daya reaktif masih di bawah *nameplate*, yang menunjukkan bahwa faktor daya motor pompa telah mengalami perbaikan dari standar yang ada (karena telah ada pemasangan kapasitor). Namun demikian, konsumsi daya reaktif menunjukkan tren yang cenderung naik. Tetapi konsumsi ini masih di bawah batas ambang aman yang ditentukan PLN, sehingga Rumah Pompa Wendit 3 tidak terkena denda kelebihan kVARh.



Gambar 5.31 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 3.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.31 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Wendit 3, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.30 sebagai versi energi.



Tabel 5.11  
Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Wendit 3

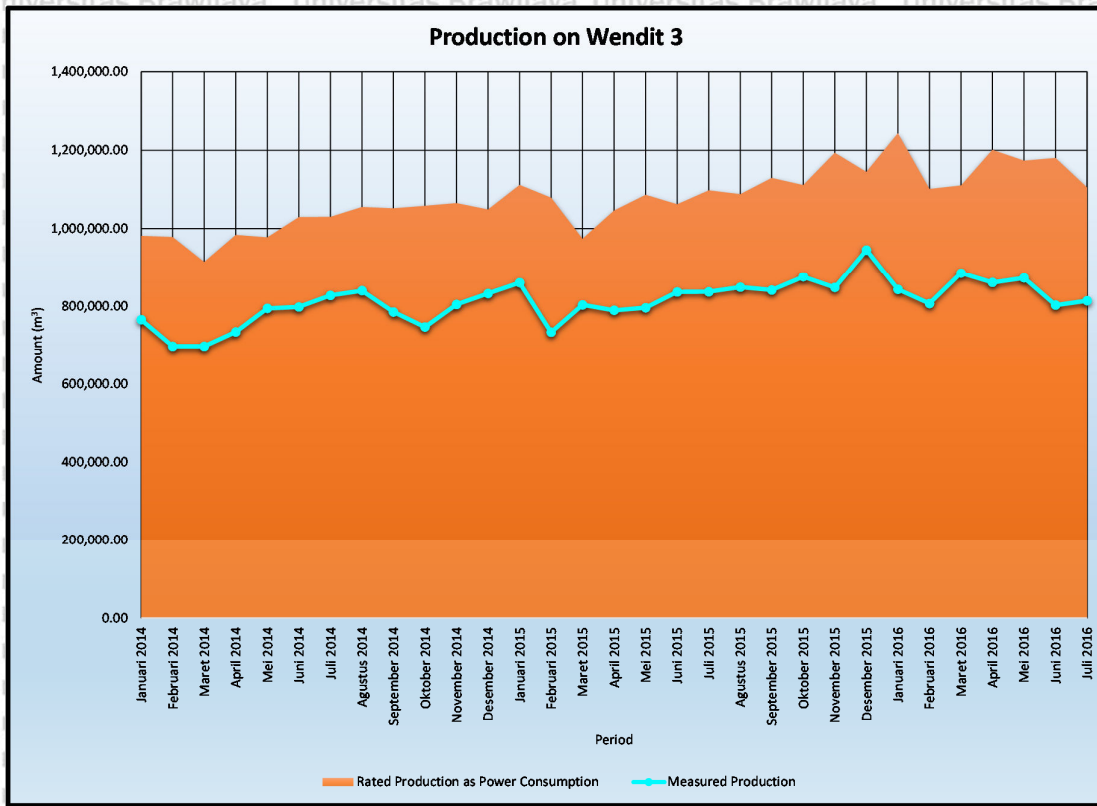
TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		%	MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN	
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>					m <sup>3</sup>
2014	1	31	1,178,496.00	981,525.07	764,735.01	-216,790.05	77.91	0.37	0.48	0.40
2014	2	28	1,064,448.00	978,831.35	696,190.68	-282,640.67	71.12	0.37	0.52	0.40
2014	3	31	1,178,496.00	914,955.68	696,190.68	-218,765.00	76.09	0.37	0.49	0.40
2014	4	30	1,140,480.00	983,952.07	733,249.81	-250,702.27	74.52	0.37	0.50	0.40
2014	5	31	1,178,496.00	977,444.49	793,945.11	-183,499.38	81.23	0.37	0.46	0.40
2014	6	30	1,140,480.00	1,029,585.18	797,608.25	-231,976.92	77.47	0.37	0.48	0.40
2014	7	31	1,178,496.00	1,030,358.62	827,460.89	-202,897.73	80.31	0.37	0.46	0.40
2014	8	31	1,178,496.00	1,055,348.81	839,496.29	-215,852.52	79.55	0.37	0.47	0.40
2014	9	30	1,140,480.00	1,052,015.00	784,889.72	-267,125.28	74.61	0.37	0.50	0.40
2014	10	31	1,178,496.00	1,058,335.90	745,928.73	-312,407.16	70.48	0.37	0.53	0.40
2014	11	30	1,140,480.00	1,065,030.17	804,225.18	-260,805.00	75.51	0.37	0.49	0.40
2014	12	31	1,178,496.00	1,048,734.54	832,276.93	-216,457.61	79.36	0.37	0.47	0.40
2015	1	31	1,178,496.00	1,111,970.13	860,328.68	-251,641.44	77.37	0.37	0.48	0.40
2015	2	28	1,064,448.00	1,079,165.50	732,568.66	-346,596.84	67.88	0.37	0.55	0.40
2015	3	31	1,178,496.00	974,350.72	803,028.72	-171,322.01	82.42	0.37	0.45	0.40
2015	4	30	1,140,480.00	1,046,280.86	789,022.64	-257,258.22	75.41	0.37	0.49	0.40
2015	5	31	1,178,496.00	1,086,606.55	795,612.83	-290,993.72	73.22	0.37	0.51	0.40
2015	6	30	1,140,480.00	1,062,176.44	836,332.62	-225,843.81	78.74	0.37	0.47	0.40
2015	7	31	1,178,496.00	1,097,701.45	836,712.30	-260,989.14	76.22	0.37	0.49	0.40
2015	8	31	1,178,496.00	1,087,833.39	848,653.16	-239,180.23	78.01	0.37	0.48	0.40
2015	9	30	1,140,480.00	1,129,492.60	841,116.49	-288,376.11	74.47	0.37	0.50	0.40
2015	10	31	1,178,496.00	1,111,223.35	875,546.57	-235,676.79	78.79	0.37	0.47	0.40
2015	11	30	1,140,480.00	1,193,661.64	847,934.39	-345,727.25	71.04	0.37	0.52	0.40
2015	12	31	1,178,496.00	1,144,801.42	945,163.11	-199,638.31	82.56	0.37	0.45	0.40
2016	1	31	1,178,496.00	1,243,855.39	843,293.09	-400,562.30	67.80	0.37	0.55	0.40
2016	2	29	1,102,464.00	1,101,488.65	806,608.20	-294,880.45	73.23	0.37	0.51	0.40
2016	3	31	1,178,496.00	1,110,423.24	885,334.09	-225,089.15	79.73	0.37	0.47	0.40
2016	4	30	1,140,480.00	1,201,502.75	860,678.17	-340,824.58	71.63	0.37	0.52	0.40
2016	5	31	1,178,496.00	1,173,658.82	872,754.16	-300,904.66	74.36	0.37	0.50	0.40
2016	6	30	1,140,480.00	1,180,619.81	802,309.45	-378,310.35	67.96	0.37	0.55	0.40
2016	7	31	1,178,496.00	1,105,515.88	813,705.29	-291,810.59	73.60	0.37	0.50	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>35,849,088.00</b>	<b>33,418,445.47</b>	<b>25,212,899.91</b>	<b>-8,205,545.56</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>1,156,422.19</b>	<b>1,078,014.37</b>	<b>813,319.35</b>	<b>-264,695.02</b>	<b>75.57</b>	<b>0.37</b>	<b>0.49</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>1,064,448.00</b>	<b>914,955.68</b>	<b>696,190.68</b>	<b>-400,562.30</b>	<b>67.80</b>	<b>0.37</b>	<b>0.45</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>1,178,496.00</b>	<b>1,243,855.39</b>	<b>945,163.11</b>	<b>-171,322.01</b>	<b>82.56</b>	<b>0.37</b>	<b>0.55</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.11 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 1.

Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai *nameplate*, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.

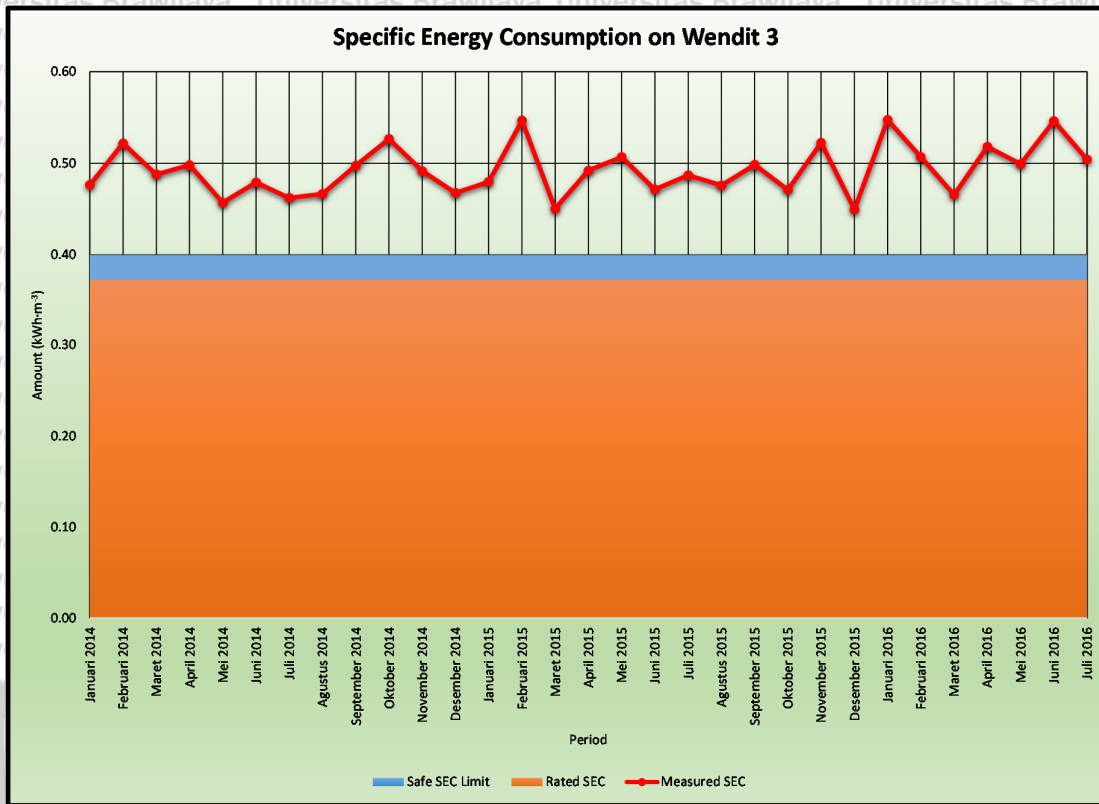




Gambar 5.32 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Wendit 3.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.11, pada Gambar 5.32 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.33 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Wendit 3 rata-rata hanya 75,7% bila dibandingkan dengan seharusnya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung konstan. SEC yang dihasilkan ternyata masih terlalu tinggi, yaitu  $0,49 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Gambar 5.33 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Wendit 3.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Ada satu hasil analisis elektris pada Rumah Pompa Wendit 3:

1. Perbaiki motor pompa karena dua hal, yaitu *over-capacity* motor pompa dan efisiensi yang terlalu rendah (SEC yang terlalu tinggi).

### 5.3.5 Analisis Rumah Pompa Mojolangu Kluster A

Karena ada dua kluster motor pompa pada Rumah Pompa Mojolangu, maka akan dilakukan dua analisis berbeda, yaitu untuk Rumah Pompa Mojolangu Kluster A dan Mojolangu Kluster B. Hanya saja pada analisis ini dilakukan secara terpisah dengan menggunakan faktor beban kluster pompa. Selanjutnya untuk analisis mandiri Rumah Pompa Mojolangu Kluster A akan berdasarkan data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari Rumah Pompa Mojolangu dikalikan faktor beban sebesar 44,31% untuk konsumsi P (energi dan daya aktif) dan 41,01% untuk konsumsi Q (energi dan daya reaktif).

Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A adalah sebanyak total 3 unit, tetapi hanya 2 unit yang beroperasi dalam waktu bersamaan. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif total bila 2 unit pompa



beroperasi adalah 264 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 149,6 kVAr, dengan faktor daya sebesar 87%.

Tabel 5.12  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Mojolangu Kluster A

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2014	2	28	177,408.00	264.00	100,531.20	149.60	87.00
2014	3	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2014	4	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2014	5	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2014	6	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2014	7	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2014	8	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2014	9	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2014	10	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2014	11	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2014	12	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2015	1	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2015	2	28	177,408.00	264.00	100,531.20	149.60	87.00
2015	3	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2015	4	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2015	5	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2015	6	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2015	7	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2015	8	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2015	9	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2015	10	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2015	11	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2015	12	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2016	1	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2016	2	29	183,744.00	264.00	104,121.60	149.60	87.00
2016	3	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2016	4	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2016	5	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
2016	6	30	190,080.00	264.00	107,712.00	149.60	87.00
2016	7	31	196,416.00	264.00	111,302.40	149.60	87.00
<b>TOTAL</b>			<b>5,974,848.00</b>		<b>3,385,747.20</b>		
<b>AVERAGE</b>			<b>192,737.03</b>	<b>264.00</b>	<b>109,217.65</b>	<b>149.60</b>	<b>87.00</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>177,408.00</b>	<b>264.00</b>	<b>100,531.20</b>	<b>149.60</b>	<b>87.00</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>196,416.00</b>	<b>264.00</b>	<b>111,302.40</b>	<b>149.60</b>	<b>87.00</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.12 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi

bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

Tabel 5.13  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Mojolangu Kluster A

TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2014	1	31	96,312.63	16,237.60	112,550.24	151.28	72,032.15	19,958.97	0.00	96.82	26.83	0.00	98.46
2014	2	28	96,078.69	16,180.89	112,259.58	167.05	71,846.13	19,296.18	0.00	106.91	28.71	0.00	98.55
2014	3	31	88,642.22	14,529.13	103,171.35	138.67	66,029.66	17,688.44	0.00	88.75	23.77	0.00	98.56
2014	4	30	95,798.67	15,943.41	111,742.08	155.20	71,514.93	18,567.78	0.00	99.33	25.79	0.00	98.65
2014	5	31	93,636.50	14,851.68	108,488.18	145.82	69,432.43	17,944.37	0.00	93.32	24.12	0.00	98.66
2014	6	30	97,677.29	19,370.99	117,048.28	162.57	74,910.90	20,431.45	0.00	104.04	28.38	0.00	98.51
2014	7	31	99,984.79	20,519.43	120,504.22	161.97	77,122.70	20,241.14	0.00	103.66	27.21	0.00	98.62
2014	8	31	99,119.92	19,534.04	118,653.96	159.48	75,938.53	20,132.87	0.00	102.07	27.06	0.00	98.59
2014	9	30	82,201.76	15,121.07	97,322.83	135.17	62,286.61	15,867.43	0.00	86.51	22.04	0.00	98.70
2014	10	31	88,110.53	16,315.58	104,426.12	140.36	66,832.72	17,101.12	0.00	89.83	22.99	0.00	98.69
2014	11	30	86,742.34	16,506.99	103,249.33	143.40	66,079.57	16,326.78	0.00	91.78	22.68	0.00	98.77
2014	12	31	88,925.78	17,956.71	106,882.50	143.66	68,404.80	18,472.63	0.00	91.94	24.83	0.00	98.54
2015	1	31	93,905.88	19,814.06	113,719.94	152.85	72,780.76	22,383.71	0.00	97.82	30.09	0.00	98.12
2015	2	28	96,365.80	19,760.89	116,126.69	172.81	74,321.08	24,752.66	0.00	110.60	36.83	0.00	97.80
2015	3	31	78,990.40	16,000.12	94,990.51	127.68	60,793.93	16,638.49	0.00	81.71	22.36	0.00	98.50
2015	4	30	85,484.02	16,514.08	101,998.10	141.66	65,278.78	16,927.23	0.00	90.66	23.51	0.00	98.65
2015	5	31	88,539.43	15,975.31	104,514.73	140.48	66,889.43	17,576.88	0.00	89.91	23.62	0.00	98.62
2015	6	30	90,485.39	15,812.26	106,297.64	147.64	68,030.49	19,594.76	0.00	94.49	27.21	0.00	98.34
2015	7	31	88,145.98	16,854.36	105,000.34	141.13	67,200.22	18,029.68	0.00	90.32	24.23	0.00	98.56
2015	8	31	87,429.98	15,854.79	103,284.77	138.82	66,102.25	18,347.94	0.00	88.85	24.66	0.00	98.46
2015	9	30	91,835.86	17,609.35	109,445.21	152.01	70,044.93	19,269.94	0.00	97.28	26.76	0.00	98.49
2015	10	31	94,887.72	18,803.86	113,691.58	152.81	72,762.61	21,730.76	0.00	97.80	29.21	0.00	98.22
2015	11	30	94,338.32	17,506.55	111,844.87	155.34	71,580.72	21,596.24	0.00	99.42	29.99	0.00	98.19
2015	12	31	94,309.96	18,031.15	112,341.11	151.00	71,898.31	21,524.06	0.00	96.64	28.93	0.00	98.21
2016	1	31	102,086.71	19,817.60	121,904.32	163.85	78,018.76	23,328.66	0.00	104.86	31.36	0.00	98.22
2016	2	29	93,735.74	18,956.28	112,692.02	161.91	72,122.89	21,215.63	0.00	103.62	30.48	0.00	98.27
2016	3	31	91,811.05	18,236.73	110,047.78	147.91	70,430.58	20,139.43	0.00	94.66	27.07	0.00	98.37
2016	4	30	97,064.08	18,137.49	115,201.56	160.00	73,729.00	20,940.02	0.00	102.40	29.08	0.00	98.39
2016	5	31	76,292.99	15,294.75	91,587.74	123.10	58,616.16	18,042.80	0.00	78.79	24.25	0.00	98.11
2016	6	30	85,140.20	17,230.08	102,370.28	142.18	65,516.98	22,980.87	0.00	91.00	31.92	0.00	97.57
2016	7	31	89,528.36	17,010.32	106,538.67	143.20	68,184.75	19,876.94	0.00	91.65	26.72	0.00	98.30
<b>TOTAL</b>			<b>2,833,608.99</b>	<b>536,287.54</b>	<b>3,369,896.53</b>		<b>2,156,733.78</b>	<b>606,925.86</b>	<b>0.00</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>91,406.74</b>	<b>17,299.60</b>	<b>108,706.34</b>	<b>149.06</b>	<b>69,572.06</b>	<b>19,578.25</b>	<b>0.00</b>	<b>95.40</b>	<b>26.86</b>	<b>0.00</b>	<b>98.41</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>76,292.99</b>	<b>14,529.13</b>	<b>91,587.74</b>	<b>123.10</b>	<b>58,616.16</b>	<b>15,867.43</b>	<b>0.00</b>	<b>78.79</b>	<b>22.04</b>	<b>0.00</b>	<b>97.57</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>102,086.71</b>	<b>20,519.43</b>	<b>121,904.32</b>	<b>172.81</b>	<b>78,018.76</b>	<b>24,752.66</b>	<b>0.00</b>	<b>110.60</b>	<b>36.83</b>	<b>0.00</b>	<b>98.77</b>

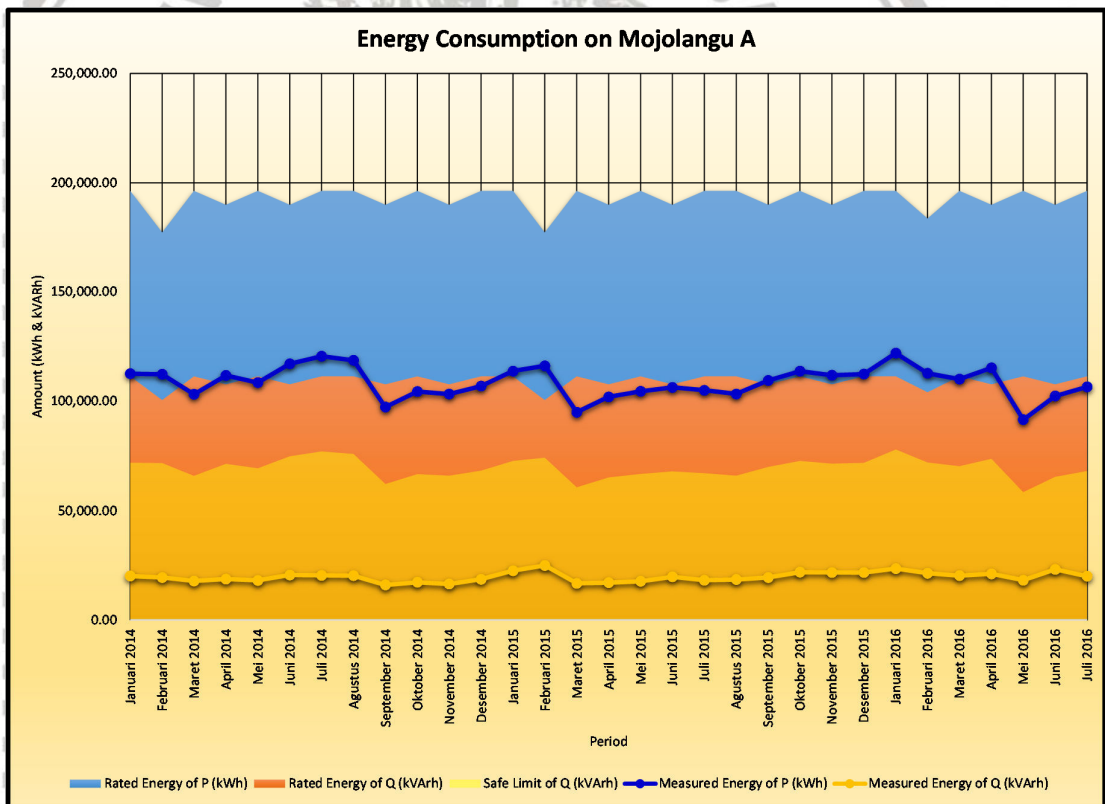
Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.





Data pada Tabel 5.12 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.

Tabel 5.13 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.



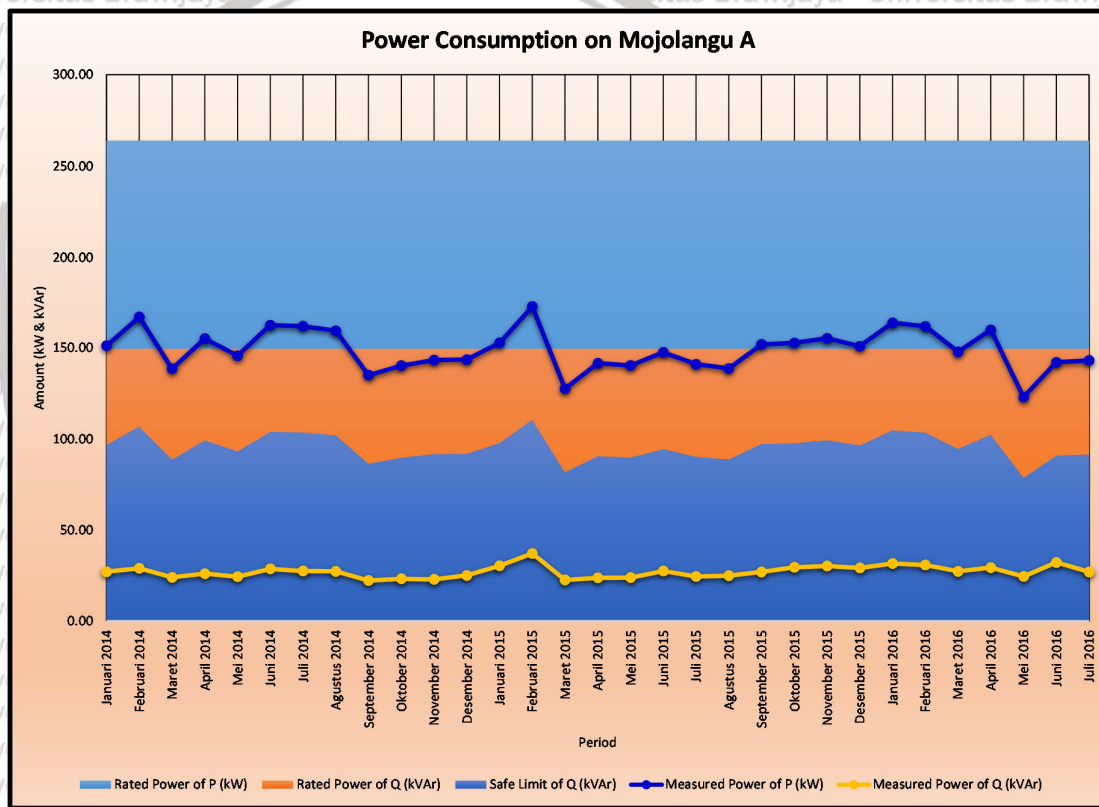
Gambar 5.34 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.34 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.13,



konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 123,1 kW hingga 172,81 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung konstan. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 264 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa motor listrik yang ada di Rumah Pompa Mojolangu Kluster A beroperasi tidak pada daya maksimumnya atau sangat ringan dalam operasinya. Konsumsi daya reaktif jauh di bawah *nameplate*, yang menunjukkan bahwa faktor daya motor pompa telah mengalami perbaikan dari standar yang ada (karena telah ada pemasangan kapasitor). Konsumsi daya reaktif ini jauh di bawah batas ambang aman yang ditentukan PLN, sehingga Rumah Pompa Mojolangu Kluster A tidak terkena denda kelebihan kVArh.



Gambar 5.35 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.35 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.34 sebagai versi energi. Karena tidak terdapat data produksi air dari Rumah Pompa Mojolangu, maka analisis produksi air pada rumah pompa ini ditiadakan.



Secara elektris, Rumah Pompa Mojolangu Kluster A tidak mengalami masalah, karena konsumsi energi yang di bawah maksimum dan faktor daya yang sudah sangat baik, yaitu 98,41%.

### 5.3.6 Analisis Rumah Pompa Mojolangu Kluster B

Analisis mandiri Rumah Pompa Mojolangu Kluster B akan didasarkan data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari Rumah Pompa Mojolangu dikalikan faktor beban sebesar 55,69% untuk konsumsi P (energi dan daya aktif) dan 58,99% untuk konsumsi Q (energi dan daya reaktif).

Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B adalah sebanyak total 3 unit, tetapi hanya 2 unit yang beroperasi dalam waktu bersamaan. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif total bila 2 unit pompa beroperasi adalah 332 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 214,4 kVAr, dengan faktor daya sebesar 84,01%.

Tabel 5.14  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Mojolangu Kluster B

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2014	2	28	223,104.00	332.00	144,076.80	214.40	84.01
2014	3	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2014	4	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2014	5	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2014	6	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2014	7	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2014	8	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2014	9	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2014	10	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2014	11	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2014	12	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2015	1	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2015	2	28	223,104.00	332.00	144,076.80	214.40	84.01
2015	3	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2015	4	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2015	5	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2015	6	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2015	7	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2015	8	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2015	9	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2015	10	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2015	11	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2015	12	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2016	1	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2016	2	29	231,072.00	332.00	149,222.40	214.40	84.01
2016	3	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2016	4	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2016	5	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
2016	6	30	239,040.00	332.00	154,368.00	214.40	84.01
2016	7	31	247,008.00	332.00	159,513.60	214.40	84.01
<b>TOTAL</b>			<b>7,513,824.00</b>		<b>4,852,300.80</b>		
<b>AVERAGE</b>			<b>242,381.42</b>	<b>332.00</b>	<b>156,525.83</b>	<b>214.40</b>	<b>84.01</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>223,104.00</b>	<b>332.00</b>	<b>144,076.80</b>	<b>214.40</b>	<b>84.01</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>247,008.00</b>	<b>332.00</b>	<b>159,513.60</b>	<b>214.40</b>	<b>84.01</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.14 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

Tabel 5.15  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Mojolangu Kluster B

TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	%
2014	1	31	121,063.37	20,410.40	141,473.76	190.15	90,543.21	28,705.03	0.00	121.70	38.58	0.00	98.00
2014	2	28	120,769.31	20,339.11	141,108.42	209.98	90,309.39	27,751.82	0.00	134.39	41.30	0.00	98.12
2014	3	31	111,421.78	18,262.87	129,684.65	174.31	82,998.18	25,439.56	0.00	111.56	34.19	0.00	98.13
2014	4	30	120,417.33	20,040.59	140,457.92	195.08	89,893.07	26,704.22	0.00	124.85	37.09	0.00	98.24
2014	5	31	117,699.50	18,668.32	136,367.82	183.29	87,275.41	25,807.63	0.00	117.31	34.69	0.00	98.26
2014	6	30	122,778.71	24,349.01	147,127.72	204.34	94,161.74	29,384.55	0.00	130.78	40.81	0.00	98.06
2014	7	31	125,679.21	25,792.57	151,471.78	203.59	96,941.94	29,110.86	0.00	130.30	39.13	0.00	98.20
2014	8	31	124,592.08	24,553.96	149,146.04	200.47	95,453.47	28,955.13	0.00	128.30	38.92	0.00	98.17
2014	9	30	103,326.24	19,006.93	122,333.17	169.91	78,293.23	22,820.57	0.00	108.74	31.70	0.00	98.30
2014	10	31	110,753.47	20,508.42	131,261.88	176.43	84,007.60	24,594.88	0.00	112.91	33.06	0.00	98.29
2014	11	30	109,033.66	20,749.01	129,782.67	180.25	83,060.91	23,481.22	0.00	115.36	32.61	0.00	98.40
2014	12	31	111,778.22	22,571.29	134,349.50	180.58	85,983.68	26,567.37	0.00	115.57	35.71	0.00	98.10
2015	1	31	118,038.12	24,905.94	142,944.06	192.13	91,484.20	32,192.29	0.00	122.96	43.27	0.00	97.56
2015	2	28	121,130.20	24,839.11	145,969.31	217.22	93,420.36	35,599.34	0.00	139.02	52.98	0.00	97.15
2015	3	31	99,289.60	20,111.88	119,401.49	160.49	76,416.95	23,929.51	0.00	102.71	32.16	0.00	98.05
2015	4	30	107,451.98	20,757.92	128,209.90	178.07	82,054.34	24,344.77	0.00	113.96	33.81	0.00	98.24

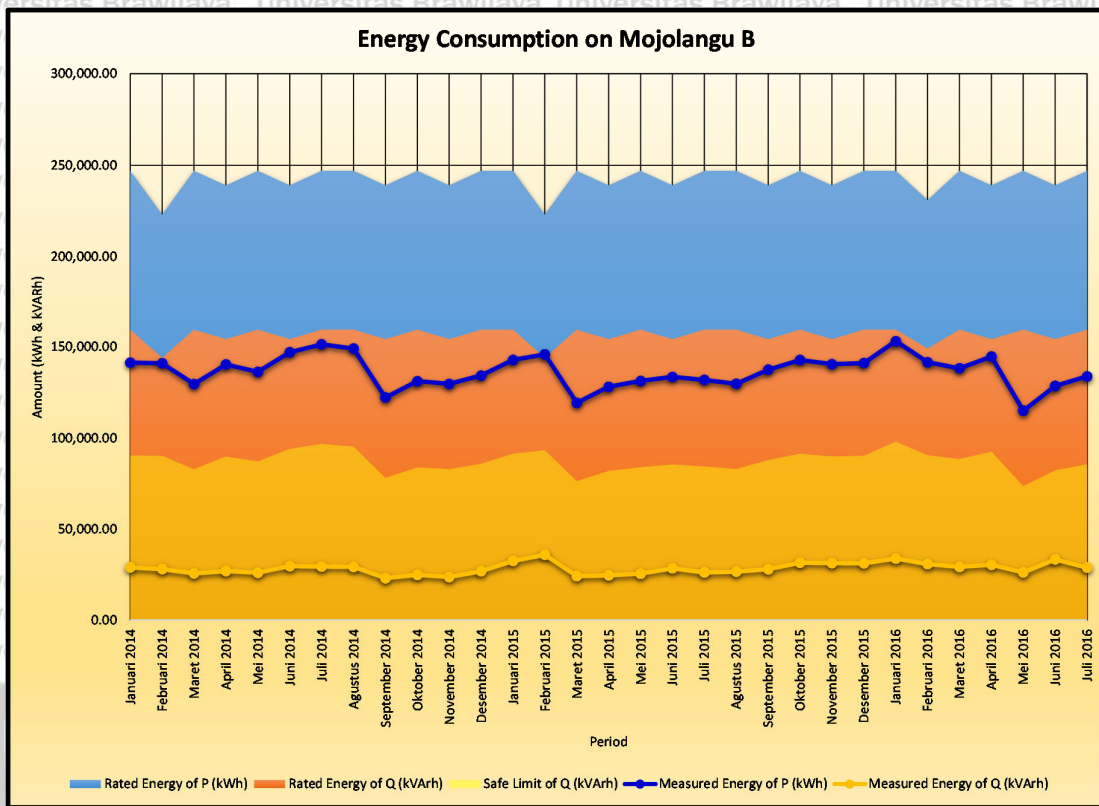


TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2015	5	31	111,292.57	20,080.69	131,373.27	176.58	84,078.89	25,279.12	0.00	113.01	33.98	0.00	98.20
2015	6	30	113,738.61	19,875.74	133,614.36	185.58	85,513.19	28,181.24	0.00	118.77	39.14	0.00	97.85
2015	7	31	110,798.02	21,185.64	131,983.66	177.40	84,469.54	25,930.32	0.00	113.53	34.85	0.00	98.12
2015	8	31	109,898.02	19,929.21	129,827.23	174.50	83,089.43	26,388.06	0.00	111.68	35.47	0.00	98.00
2015	9	30	115,436.14	22,134.65	137,570.79	191.07	88,045.31	27,714.06	0.00	122.29	38.49	0.00	98.03
2015	10	31	119,272.28	23,636.14	142,908.42	192.08	91,461.39	31,253.24	0.00	122.93	42.01	0.00	97.69
2015	11	30	118,581.68	22,005.45	140,587.13	195.26	89,975.76	31,059.76	0.00	124.97	43.14	0.00	97.65
2015	12	31	118,546.04	22,664.85	141,210.89	189.80	90,374.97	30,955.94	0.00	121.47	41.61	0.00	97.68
2016	1	31	128,321.29	24,910.40	153,231.68	205.96	98,068.28	33,551.34	0.00	131.81	45.10	0.00	97.69
2016	2	29	117,824.26	23,827.72	141,651.98	203.52	90,657.27	30,512.37	0.00	130.25	43.84	0.00	97.76
2016	3	31	115,404.95	22,923.27	138,328.22	185.93	88,530.06	28,964.57	0.00	118.99	38.93	0.00	97.88
2016	4	30	122,007.92	22,798.51	144,806.44	201.12	92,676.12	30,115.98	0.00	128.72	41.83	0.00	97.91
2016	5	31	95,899.01	19,225.25	115,124.26	154.74	73,679.52	25,949.20	0.00	99.03	34.88	0.00	97.55
2016	6	30	107,019.80	21,657.92	128,677.72	178.72	82,353.74	33,051.13	0.00	114.38	45.90	0.00	96.86
2016	7	31	112,535.64	21,381.68	133,917.33	180.00	85,707.09	28,587.06	0.00	115.20	38.42	0.00	97.80
<b>TOTAL</b>			<b>3,561,799.01</b>	<b>674,104.46</b>	<b>4,235,903.47</b>		<b>2,710,978.22</b>	<b>872,882.14</b>	<b>0.00</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>114,896.74</b>	<b>21,745.31</b>	<b>136,642.05</b>	<b>187.37</b>	<b>87,450.91</b>	<b>28,157.49</b>	<b>0.00</b>	<b>119.92</b>	<b>38.63</b>	<b>0.00</b>	<b>97.93</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>95,899.01</b>	<b>18,262.87</b>	<b>115,124.26</b>	<b>154.74</b>	<b>73,679.52</b>	<b>22,820.57</b>	<b>0.00</b>	<b>99.03</b>	<b>31.70</b>	<b>0.00</b>	<b>96.86</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>128,321.29</b>	<b>25,792.57</b>	<b>153,231.68</b>	<b>217.22</b>	<b>98,068.28</b>	<b>35,599.34</b>	<b>0.00</b>	<b>139.02</b>	<b>52.98</b>	<b>0.00</b>	<b>98.40</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.14 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.

Tabel 5.15 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.

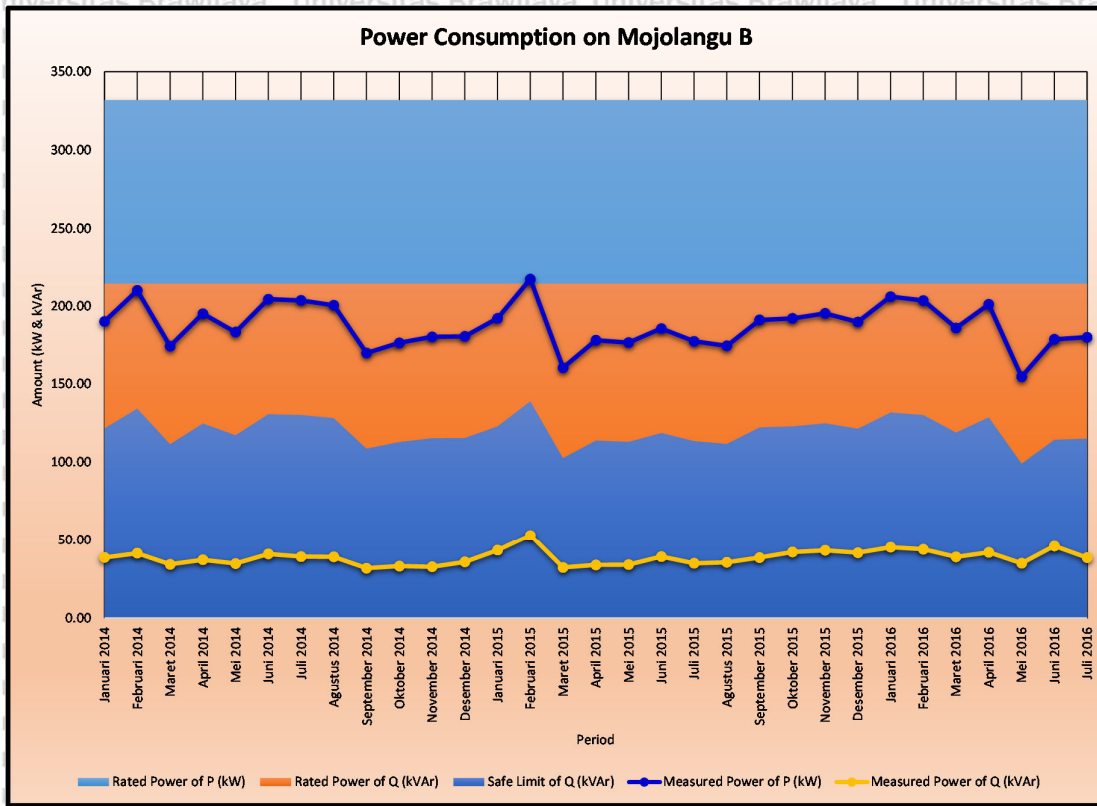


Gambar 5.36 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.36 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.15, konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 154,74 kW hingga 217,22 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung konstan. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 332 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa motor listrik yang ada di Rumah Pompa Mojolangu Kluster B beroperasi tidak pada daya maksimumnya atau sangat ringan dalam operasinya. Konsumsi daya reaktif jauh di bawah *nameplate*, yang menunjukkan bahwa faktor daya motor pompa telah mengalami perbaikan dari standar yang ada (karena telah ada pemasangan kapasitor). Konsumsi daya reaktif ini jauh di bawah batas ambang aman yang ditentukan PLN, sehingga Rumah Pompa Mojolangu Kluster B tidak terkena denda kelebihan kVArh.





Gambar 5.37 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.37 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.36 sebagai versi energi. Karena tidak terdapat data produksi air dari Rumah Pompa Mojolangu, maka analisis produksi air pada rumah pompa ini ditiadakan.

Secara elektris, Rumah Pompa Mojolangu Kluster B tidak mengalami masalah, karena konsumsi energi yang di bawah maksimum dan faktor daya yang sudah sangat baik, yaitu 97,93%.

### 5.3.7 Analisis Rumah Pompa Badut Kluster A

Karena Rumah Pompa Badut memiliki dua kluster pompa, maka analisis dilakukan secara terpisah dengan menggunakan faktor beban kluster pompa. Meskipun pada kedua kluster pompa tersebut memiliki spesifikasi elektris identik, namun terdapat perbedaan pada kapasitas produksi, sehingga perlu untuk diadakan pemisahan analisisnya. Selanjutnya untuk analisis mandiri Rumah Pompa Badut Kluster A akan berdasarkan data konsumsi listrik yang

dikumpulkan dari Rumah Pompa Badut dikalikan faktor beban sebesar 50% untuk konsumsi P (energi dan daya aktif) dan 50% untuk konsumsi Q (energi dan daya reaktif).

Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Badut Kluster A adalah pompa sebanyak total 1 unit yang beroperasi 24 jam non-stop. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif 1 unit pompa yang beroperasi adalah 15 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 9,3 kVAr, dengan faktor daya sebesar 84,99%.

Tabel 5.16  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Badut Kluster A

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2014	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2015	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	2	29	10,440.00	15.00	6,472.80	9.30	84.99
2016	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
<b>TOTAL</b>			<b>339,480.00</b>		<b>210,477.60</b>		
<b>AVERAGE</b>			<b>10,950.97</b>	<b>15.00</b>	<b>6,789.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>



TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
MINIMUM	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99		
MAXIMUM	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99		

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.16 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Badut Kluster A bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

Tabel 5.17  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Badut Kluster A

TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2014	1	31	9,258.50	1,725.20	10,983.70	14.76	7,029.57	5,799.90	0.00	9.45	7.80	0.00	88.43
2014	2	28	9,041.00	1,705.30	10,746.30	15.99	6,877.63	5,191.00	0.00	10.23	7.72	0.00	90.04
2014	3	31	7,695.30	1,437.10	9,132.40	12.27	5,844.74	4,978.80	0.00	7.86	6.69	0.00	87.80
2014	4	30	8,581.80	1,575.50	10,157.30	14.11	6,500.67	5,477.20	0.00	9.03	7.61	0.00	88.02
2014	5	31	8,724.90	1,562.00	10,286.90	13.83	6,583.62	5,517.20	0.00	8.85	7.42	0.00	88.13
2014	6	30	8,984.90	1,622.30	10,607.20	14.73	6,788.61	5,676.70	0.00	9.43	7.88	0.00	88.17
2014	7	31	9,083.00	1,739.50	10,822.50	14.55	6,926.40	5,661.20	0.00	9.31	7.61	0.00	88.61
2014	8	31	9,295.10	1,686.50	10,981.60	14.76	7,028.22	5,914.80	0.00	9.45	7.95	0.00	88.04
2014	9	30	8,974.80	1,641.50	10,616.30	14.74	6,794.43	5,681.90	0.00	9.44	7.89	0.00	88.17
2014	10	31	8,518.50	1,535.40	10,053.90	13.51	6,434.50	5,355.80	0.00	8.65	7.20	0.00	88.26
2014	11	30	8,853.40	1,628.20	10,481.60	14.56	6,708.22	5,409.00	0.00	9.32	7.51	0.00	88.87
2014	12	31	8,462.00	1,621.10	10,083.10	13.55	6,453.18	5,291.90	0.00	8.67	7.11	0.00	88.55
2015	1	31	8,657.00	1,681.90	10,338.90	13.90	6,616.90	5,799.90	0.00	8.89	7.80	0.00	87.21
2015	2	28	5,803.40	1,124.10	6,927.50	10.31	4,433.60	3,343.30	0.00	6.60	4.98	0.00	90.06
2015	3	31	4,773.70	1,030.70	5,804.40	7.80	3,714.82	2,659.50	0.00	4.99	3.57	0.00	90.91
2015	4	30	5,420.40	1,175.60	6,596.00	9.16	4,221.44	3,062.60	0.00	5.86	4.25	0.00	90.70
2015	5	31	5,156.60	1,108.70	6,265.30	8.42	4,009.79	2,848.70	0.00	5.39	3.83	0.00	91.03
2015	6	30	5,134.90	1,092.20	6,227.10	8.65	3,985.34	2,810.70	0.00	5.54	3.90	0.00	91.15
2015	7	31	4,622.50	1,015.60	5,638.10	7.58	3,608.38	2,572.00	0.00	4.85	3.46	0.00	90.98
2015	8	31	3,968.80	693.20	4,662.00	6.27	2,983.68	2,484.10	0.00	4.01	3.34	0.00	88.25
2015	9	30	8,698.00	1,737.10	10,435.10	14.49	6,678.46	5,037.10	0.00	9.28	7.00	0.00	90.06
2015	10	31	8,085.00	1,583.20	9,668.20	12.99	6,187.65	4,705.50	0.00	8.32	6.32	0.00	89.92
2015	11	30	8,843.30	1,798.10	10,641.40	14.78	6,810.50	5,055.00	0.00	9.46	7.02	0.00	90.33
2015	12	31	9,564.10	1,988.50	11,552.60	15.53	7,393.66	5,625.80	0.00	9.94	7.56	0.00	89.91
2016	1	31	9,940.00	1,994.60	11,934.60	16.04	7,638.14	5,799.90	0.00	10.27	7.80	0.00	89.94
2016	2	29	10,147.70	2,114.80	12,262.50	17.62	7,848.00	6,381.40	0.00	11.28	9.17	0.00	88.71
2016	3	31	9,631.90	1,999.30	11,631.20	15.63	7,443.97	6,064.90	0.00	10.01	8.15	0.00	88.67

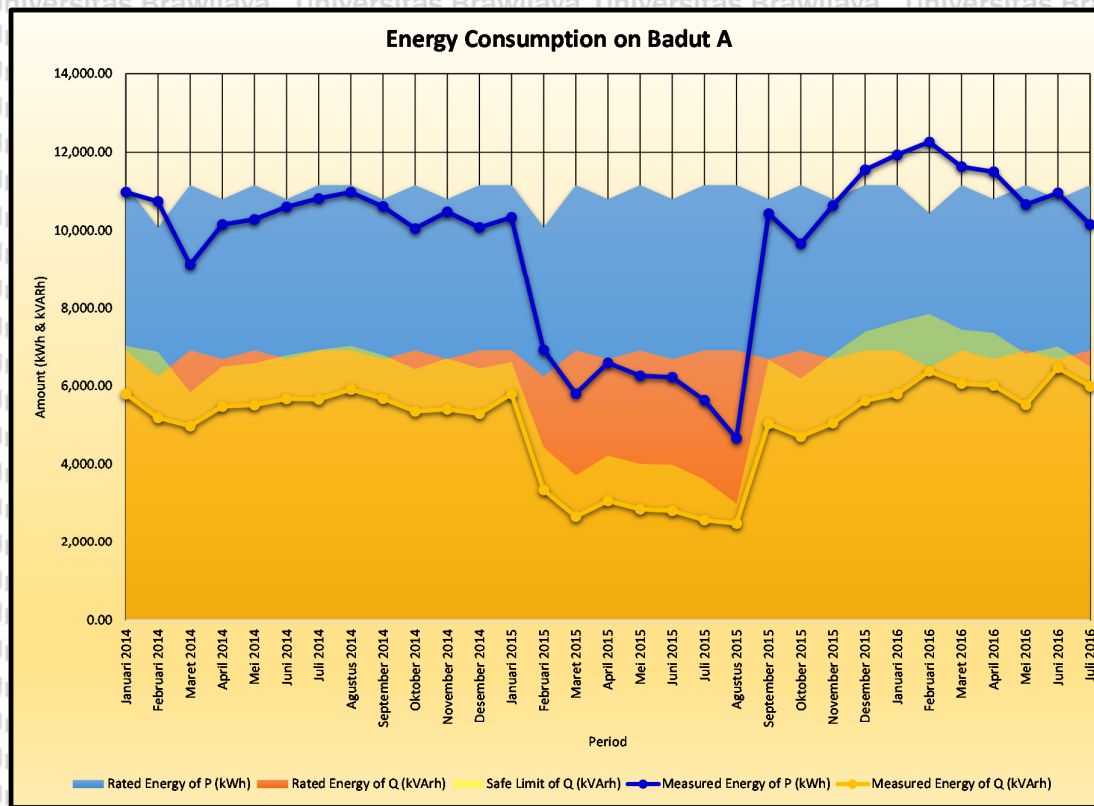
TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2016	4	30	9,523.90	1,979.00	11,502.90	15.98	7,361.86	6,016.60	0.00	10.22	8.36	0.00	88.61
2016	5	31	8,810.40	1,855.60	10,666.00	14.34	6,826.24	5,526.20	0.00	9.18	7.43	0.00	88.79
2016	6	30	9,134.00	1,828.70	10,962.70	15.23	7,016.13	6,469.10	0.00	9.74	8.98	0.00	86.12
2016	7	31	8,502.70	1,657.30	10,160.00	13.66	6,502.40	5,997.80	0.00	8.74	8.06	0.00	86.11
<b>TOTAL</b>			<b>249,891.50</b>	<b>48,937.80</b>	<b>298,829.30</b>	<b>15.98</b>	<b>191,250.75</b>	<b>154,215.50</b>	<b>0.00</b>	<b>9.74</b>	<b>8.36</b>	<b>0.00</b>	<b>88.61</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>8,061.02</b>	<b>1,578.64</b>	<b>9,639.65</b>	<b>13.22</b>	<b>6,169.38</b>	<b>4,974.69</b>	<b>0.00</b>	<b>8.46</b>	<b>6.82</b>	<b>0.00</b>	<b>88.98</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>3,968.80</b>	<b>693.20</b>	<b>4,662.00</b>	<b>6.27</b>	<b>2,983.68</b>	<b>2,484.10</b>	<b>0.00</b>	<b>4.01</b>	<b>3.34</b>	<b>0.00</b>	<b>86.11</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>10,147.70</b>	<b>2,114.80</b>	<b>12,262.50</b>	<b>17.62</b>	<b>7,848.00</b>	<b>6,469.10</b>	<b>0.00</b>	<b>11.28</b>	<b>9.17</b>	<b>0.00</b>	<b>91.15</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.16 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.

Tabel 5.17 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Badut A, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.



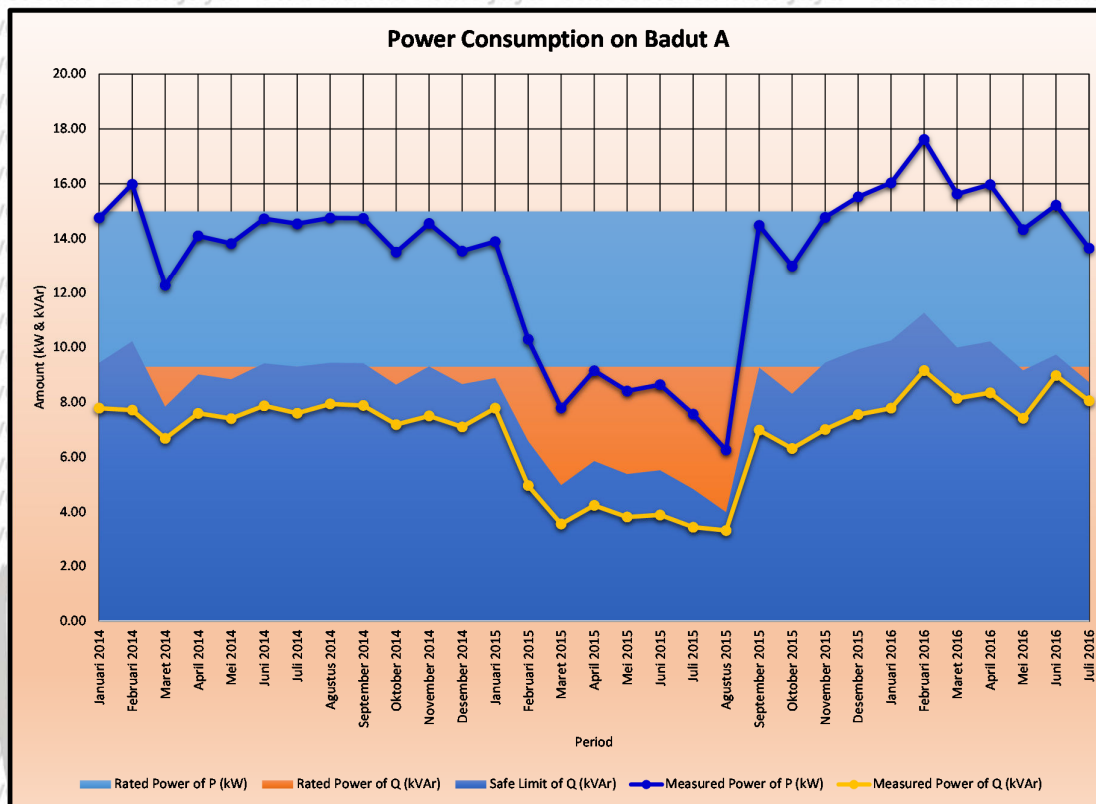


Gambar 5.38 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster A.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.38 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster A. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.17, konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 6,27 kW hingga 17,62 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung menaik. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 15 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa konsumsi rata-rata berada sedikit di bawah konsumsi puncak, kemudian pada periode Februari 2015 sampai Agustus 2015 terjadi penurunan daya drastis hingga 6,27 kW. Pada periode Desember 2015 hingga April 2016 konsumsi daya aktif melonjak melampaui nilai maksimumnya (*over-capacity*), kemudian turun lagi di batas konsumsi normal. Hal ini menandakan terjadinya penurunan produksi air (seperti halnya ditunjang pada Gambar 5.40) pada periode Februari 2015 sampai Agustus 2015. Pada periode Desember 2015 hingga April 2016 terjadi penurunan efisiensi atau kerusakan pada motor pompa dan kemudian diperbaiki pada periode berikutnya. Konsumsi daya reaktif masih di bawah *nameplate*, yang menunjukkan bahwa faktor daya motor pompa telah mengalami perbaikan dari standar yang ada (karena telah ada pemasangan kapasitor). Konsumsi ini masih di bawah batas ambang

aman yang ditentukan PLN, sehingga Rumah Pompa Badut Kluster A tidak terkena denda kelebihan kVArh.



Gambar 5.39 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster A.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.39 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster A, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.38 sebagai versi energi.

Tabel 5.18 Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Badut Kluster A

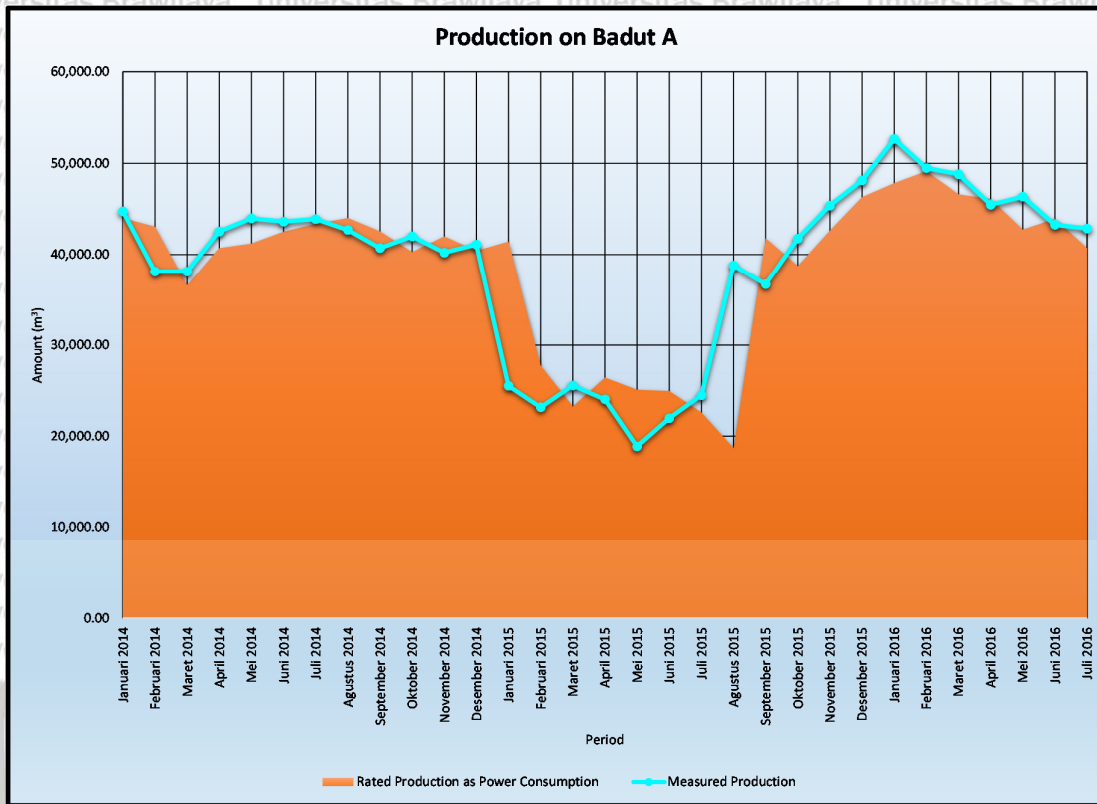
TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN		
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>				m <sup>3</sup>	%
2014	1	31	44,729.28	44,022.67	44,747.50	724.83	101.65	0.25	0.25	0.40
2014	2	28	40,400.64	43,071.17	38,119.50	-4,951.67	88.50	0.25	0.28	0.40
2014	3	31	44,729.28	36,602.66	38,119.50	1,516.84	104.14	0.25	0.24	0.40
2014	4	30	43,286.40	40,710.46	42,545.00	1,834.54	104.51	0.25	0.24	0.40
2014	5	31	44,729.28	41,229.90	43,976.50	2,746.60	106.66	0.25	0.23	0.40
2014	6	30	43,286.40	42,513.66	43,623.50	1,109.84	102.61	0.25	0.24	0.40
2014	7	31	44,729.28	43,376.58	43,894.50	517.92	101.19	0.25	0.25	0.40



TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN		
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>
2014	8	31	44,729.28	44,014.25	42,696.50	-1,317.75	97.01	0.25	0.26	0.40
2014	9	30	43,286.40	42,550.13	40,711.50	-1,838.63	95.68	0.25	0.26	0.40
2014	10	31	44,729.28	40,296.03	42,005.00	1,708.97	104.24	0.25	0.24	0.40
2014	11	30	43,286.40	42,010.25	40,212.00	-1,798.25	95.72	0.25	0.26	0.40
2014	12	31	44,729.28	40,413.06	41,096.00	682.94	101.69	0.25	0.25	0.40
2015	1	31	44,729.28	41,438.31	25,528.26	-15,910.05	61.61	0.25	0.40	0.40
2015	2	28	40,400.64	27,765.42	23,169.00	-4,596.42	83.45	0.25	0.30	0.40
2015	3	31	44,729.28	23,264.04	25,566.00	2,301.96	109.89	0.25	0.23	0.40
2015	4	30	43,286.40	26,436.77	24,036.50	-2,400.27	90.92	0.25	0.27	0.40
2015	5	31	44,729.28	25,111.32	18,877.00	-6,234.32	75.17	0.25	0.33	0.40
2015	6	30	43,286.40	24,958.22	21,976.50	-2,981.72	88.05	0.25	0.28	0.40
2015	7	31	44,729.28	22,597.50	24,497.75	1,900.25	108.41	0.25	0.23	0.40
2015	8	31	44,729.28	18,685.30	38,802.75	20,117.45	207.66	0.25	0.12	0.40
2015	9	30	43,286.40	41,823.88	36,722.97	-5,100.91	87.80	0.25	0.28	0.40
2015	10	31	44,729.28	38,750.15	41,748.33	2,998.18	107.74	0.25	0.23	0.40
2015	11	30	43,286.40	42,650.73	45,383.45	2,732.72	106.41	0.25	0.23	0.40
2015	12	31	44,729.28	46,302.82	48,126.00	1,823.18	103.94	0.25	0.24	0.40
2016	1	31	44,729.28	47,833.88	52,668.00	4,834.12	110.11	0.25	0.23	0.40
2016	2	29	41,843.52	49,148.10	49,489.50	341.40	100.69	0.25	0.25	0.40
2016	3	31	44,729.28	46,617.85	48,822.50	2,204.65	104.73	0.25	0.24	0.40
2016	4	30	43,286.40	46,103.62	45,471.50	-632.12	98.63	0.25	0.25	0.40
2016	5	31	44,729.28	42,749.33	46,352.00	3,602.67	108.43	0.25	0.23	0.40
2016	6	30	43,286.40	43,938.50	43,269.50	-669.00	98.48	0.25	0.25	0.40
2016	7	31	44,729.28	40,721.28	42,862.00	2,140.72	105.26	0.25	0.24	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>1,360,635.84</b>	<b>1,197,707.83</b>	<b>1,205,116.51</b>	<b>7,408.67</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>43,891.48</b>	<b>38,635.74</b>	<b>38,874.73</b>	<b>238.99</b>	<b>101.97</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>40,400.64</b>	<b>18,685.30</b>	<b>18,877.00</b>	<b>-15,910.05</b>	<b>61.61</b>	<b>0.25</b>	<b>0.12</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>44,729.28</b>	<b>49,148.10</b>	<b>52,668.00</b>	<b>20,117.45</b>	<b>207.66</b>	<b>0.25</b>	<b>0.40</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.18 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Badut Kluster A. Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai *nameplate*, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.

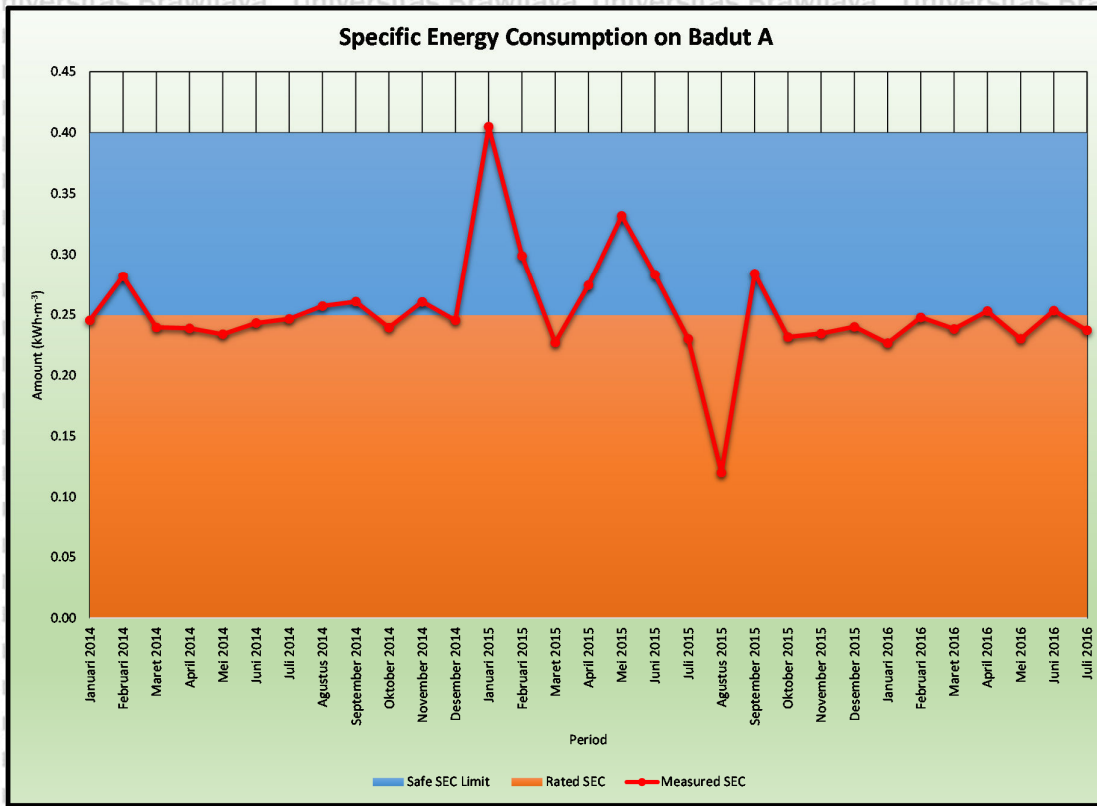


Gambar 5.40 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Badut Kluster A.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.18, pada Gambar 5.40 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.41 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Badut Kluster A rata-rata adalah 101,97% bila dibandingkan dengan seharusnya, jadi terdapat produksi berlebih. Selain itu, pada Agustus 2015 terdapat lonjakan produksi 207,66% dari seharusnya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung konstan. SEC yang dihasilkan sudah memenuhi syarat, yaitu rata-rata 0,25 kWh·m<sup>-3</sup> bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal 0,4 kWh·m<sup>-3</sup>.





Gambar 5.41 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Badut Kluster A.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Dari hasil analisis disimpulkan Rumah Pompa Badut Kluster A tidak memerlukan rekomendasi, penambahan kapasitor, penambahan VFD, ataupun perbaikan motor pompa. Kerusakan yang tampak di beberapa periode tampaknya telah diselesaikan.

### 5.3.8 Analisis Rumah Pompa Badut Kluster B

Karena Rumah Pompa Badut memiliki dua kluster pompa, maka analisis dilakukan secara terpisah dengan menggunakan faktor beban kluster pompa. Meskipun pada kedua kluster pompa tersebut memiliki spesifikasi listrik identik, namun terdapat perbedaan pada kapasitas produksi, sehingga perlu untuk diadakan pemisahan analisisnya. Selanjutnya untuk analisis mandiri Rumah Pompa Badut Kluster B akan berdasarkan data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari Rumah Pompa Badut dikalikan faktor beban sebesar 50% untuk konsumsi P (energi dan daya aktif) dan 50% untuk konsumsi Q (energi dan daya reaktif).

Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Badut Kluster B adalah pompa sebanyak total 1 unit yang beroperasi 24 jam non-stop. Secara ideal berdasarkan nameplate, konsumsi daya aktif 1 unit pompa yang beroperasi adalah 15 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 9,3 kVAr, dengan faktor daya sebesar 84,99%.

Tabel 5.19  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Badut  
Kluster B

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2014	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2015	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	2	29	10,440.00	15.00	6,472.80	9.30	84.99
2016	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
<b>TOTAL</b>			<b>339,480.00</b>		<b>210,477.60</b>		
<b>AVERAGE</b>			<b>10,950.97</b>	<b>15.00</b>	<b>6,789.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>10,080.00</b>	<b>15.00</b>	<b>6,249.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>11,160.00</b>	<b>15.00</b>	<b>6,919.20</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.19 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Badut Kluster B bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).



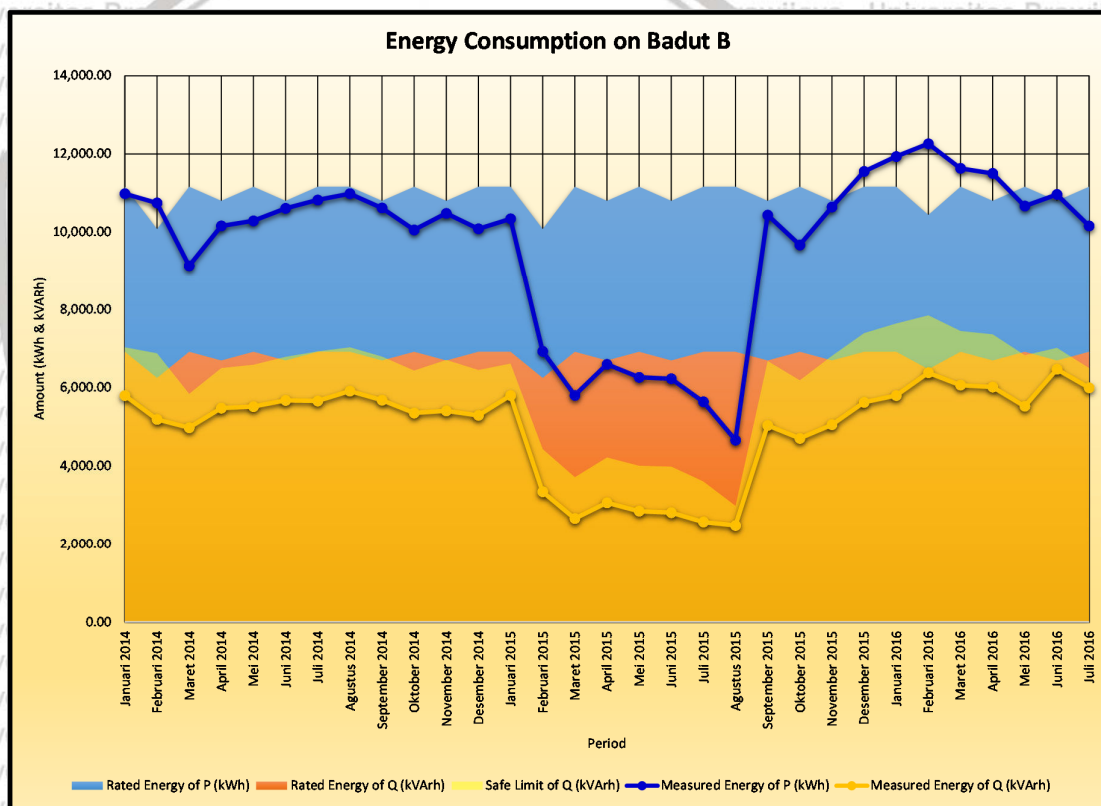
Tabel 5.20  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Badut Kluster B

TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2014	1	31	9,258.50	1,725.20	10,983.70	14.76	7,029.57	5,799.90	0.00	9.45	7.80	0.00	88.43
2014	2	28	9,041.00	1,705.30	10,746.30	15.99	6,877.63	5,191.00	0.00	10.23	7.72	0.00	90.04
2014	3	31	7,695.30	1,437.10	9,132.40	12.27	5,844.74	4,978.80	0.00	7.86	6.69	0.00	87.80
2014	4	30	8,581.80	1,575.50	10,157.30	14.11	6,500.67	5,477.20	0.00	9.03	7.61	0.00	88.02
2014	5	31	8,724.90	1,562.00	10,286.90	13.83	6,583.62	5,517.20	0.00	8.85	7.42	0.00	88.13
2014	6	30	8,984.90	1,622.30	10,607.20	14.73	6,788.61	5,676.70	0.00	9.43	7.88	0.00	88.17
2014	7	31	9,083.00	1,739.50	10,822.50	14.55	6,926.40	5,661.20	0.00	9.31	7.61	0.00	88.61
2014	8	31	9,295.10	1,686.50	10,981.60	14.76	7,028.22	5,914.80	0.00	9.45	7.95	0.00	88.04
2014	9	30	8,974.80	1,641.50	10,616.30	14.74	6,794.43	5,681.90	0.00	9.44	7.89	0.00	88.17
2014	10	31	8,518.50	1,535.40	10,053.90	13.51	6,434.50	5,355.80	0.00	8.65	7.20	0.00	88.26
2014	11	30	8,853.40	1,628.20	10,481.60	14.56	6,708.22	5,409.00	0.00	9.32	7.51	0.00	88.87
2014	12	31	8,462.00	1,621.10	10,083.10	13.55	6,453.18	5,291.90	0.00	8.67	7.11	0.00	88.55
2015	1	31	8,657.00	1,681.90	10,338.90	13.90	6,616.90	5,799.90	0.00	8.89	7.80	0.00	87.21
2015	2	28	5,803.40	1,124.10	6,927.50	10.31	4,433.60	3,343.30	0.00	6.60	4.98	0.00	90.06
2015	3	31	4,773.70	1,030.70	5,804.40	7.80	3,714.82	2,659.50	0.00	4.99	3.57	0.00	90.91
2015	4	30	5,420.40	1,175.60	6,596.00	9.16	4,221.44	3,062.60	0.00	5.86	4.25	0.00	90.70
2015	5	31	5,156.60	1,108.70	6,265.30	8.42	4,009.79	2,848.70	0.00	5.39	3.83	0.00	91.03
2015	6	30	5,134.90	1,092.20	6,227.10	8.65	3,985.34	2,810.70	0.00	5.54	3.90	0.00	91.15
2015	7	31	4,622.50	1,015.60	5,638.10	7.58	3,608.38	2,572.00	0.00	4.85	3.46	0.00	90.98
2015	8	31	3,968.80	693.20	4,662.00	6.27	2,983.68	2,484.10	0.00	4.01	3.34	0.00	88.25
2015	9	30	8,698.00	1,737.10	10,435.10	14.49	6,678.46	5,037.10	0.00	9.28	7.00	0.00	90.06
2015	10	31	8,085.00	1,583.20	9,668.20	12.99	6,187.65	4,705.50	0.00	8.32	6.32	0.00	89.92
2015	11	30	8,843.30	1,798.10	10,641.40	14.78	6,810.50	5,055.00	0.00	9.46	7.02	0.00	90.33
2015	12	31	9,564.10	1,988.50	11,552.60	15.53	7,393.66	5,625.80	0.00	9.94	7.56	0.00	89.91
2016	1	31	9,940.00	1,994.60	11,934.60	16.04	7,638.14	5,799.90	0.00	10.27	7.80	0.00	89.94
2016	2	29	10,147.70	2,114.80	12,262.50	17.62	7,848.00	6,381.40	0.00	11.28	9.17	0.00	88.71
2016	3	31	9,631.90	1,999.30	11,631.20	15.63	7,443.97	6,064.90	0.00	10.01	8.15	0.00	88.67
2016	4	30	9,523.90	1,979.00	11,502.90	15.98	7,361.86	6,016.60	0.00	10.22	8.36	0.00	88.61
2016	5	31	8,810.40	1,855.60	10,666.00	14.34	6,826.24	5,526.20	0.00	9.18	7.43	0.00	88.79
2016	6	30	9,134.00	1,828.70	10,962.70	15.23	7,016.13	6,469.10	0.00	9.74	8.98	0.00	86.12
2016	7	31	8,502.70	1,657.30	10,160.00	13.66	6,502.40	5,997.80	0.00	8.74	8.06	0.00	86.11
<b>TOTAL</b>			<b>249,891.50</b>	<b>48,937.80</b>	<b>298,829.30</b>		<b>191,250.75</b>	<b>154,215.50</b>	<b>0.00</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>8,061.02</b>	<b>1,578.64</b>	<b>9,639.65</b>	<b>13.22</b>	<b>6,169.38</b>	<b>4,974.69</b>	<b>0.00</b>	<b>8.46</b>	<b>6.82</b>	<b>0.00</b>	<b>88.98</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>3,968.80</b>	<b>693.20</b>	<b>4,662.00</b>	<b>6.27</b>	<b>2,983.68</b>	<b>2,484.10</b>	<b>0.00</b>	<b>4.01</b>	<b>3.34</b>	<b>0.00</b>	<b>86.11</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>10,147.70</b>	<b>2,114.80</b>	<b>12,262.50</b>	<b>17.62</b>	<b>7,848.00</b>	<b>6,469.10</b>	<b>0.00</b>	<b>11.28</b>	<b>9.17</b>	<b>0.00</b>	<b>91.15</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.19 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.

Tabel 5.20 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Badut A, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.



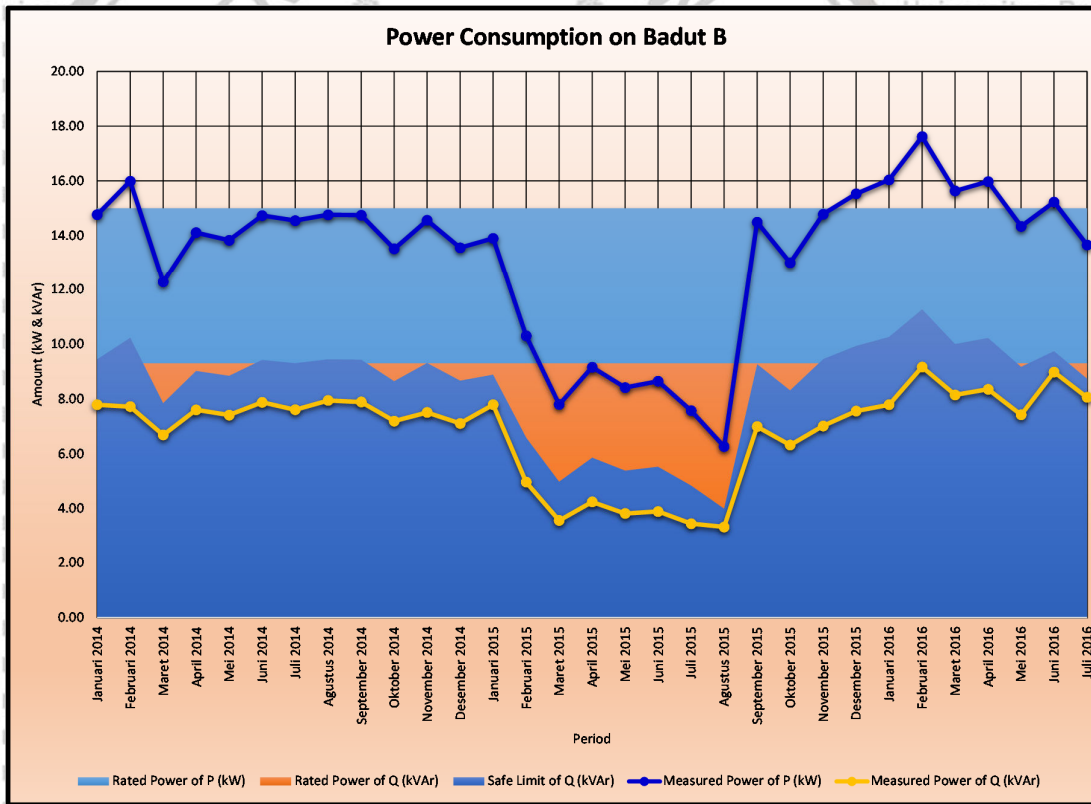
Gambar 5.42 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster B.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.42 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster B. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.20, konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 6,27 kW hingga 17,62 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung menaik. Bila dibandingkan dengan nameplate yang mana tertera 15 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa



konsumsi rata-rata berada sedikit di bawah konsumsi puncak, kemudian pada periode Februari 2015 sampai Agustus 2015 terjadi penurunan daya drastis hingga 6,27 kW. Pada periode Desember 2015 hingga April 2016 konsumsi daya aktif melonjak melampaui nilai maksimumnya (*over-capacity*), kemudian turun lagi di batas konsumsi normal. Hal ini menandakan terjadinya penurunan produksi air (seperti halnya ditunjang pada Gambar 5.44) pada periode Februari 2015 sampai Agustus 2015. Pada periode Desember 2015 hingga April 2016 terjadi penurunan efisiensi atau kerusakan pada motor pompa dan kemudian diperbaiki pada periode berikutnya. Konsumsi daya reaktif masih di bawah *nameplate*, yang menunjukkan bahwa faktor daya motor pompa telah mengalami perbaikan dari standar yang ada (karena telah ada pemasangan kapasitor). Konsumsi ini masih di bawah batas ambang aman yang ditentukan PLN, sehingga Rumah Pompa Badut Kluster A tidak terkena denda kelebihan kVArh.



Gambar 5.43 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster B.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.43 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Badut Kluster A, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.42 sebagai versi energi.

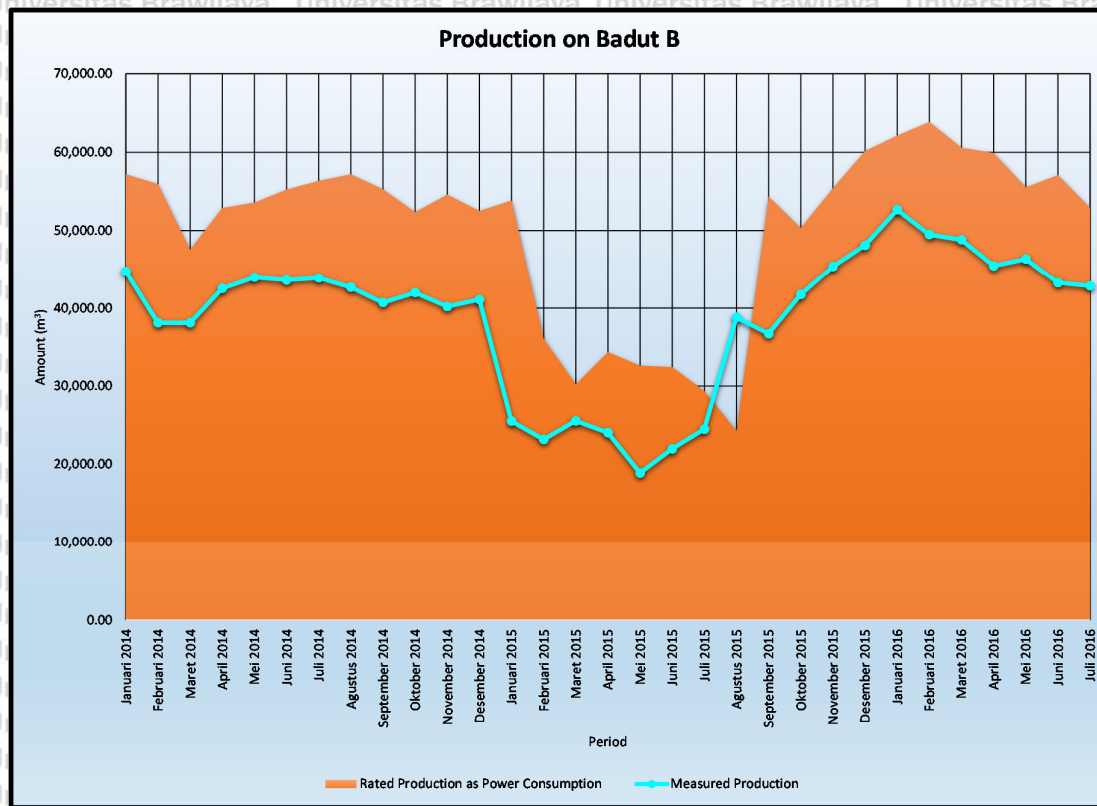
Tabel 5.21  
Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Badut Kluster B

TAHUN	BULAN	BY K HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		%	MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN	
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>
2014	1	31	58,121.28	57,203.11	44,747.50	-12,455.61	78.23	0.19	0.25	0.40
2014	2	28	52,496.64	55,966.73	38,119.50	-17,847.23	68.11	0.19	0.28	0.40
2014	3	31	58,121.28	47,561.54	38,119.50	-9,442.04	80.15	0.19	0.24	0.40
2014	4	30	56,246.40	52,899.22	42,545.00	-10,354.22	80.43	0.19	0.24	0.40
2014	5	31	58,121.28	53,574.18	43,976.50	-9,597.68	82.09	0.19	0.23	0.40
2014	6	30	56,246.40	55,242.30	43,623.50	-11,618.80	78.97	0.19	0.24	0.40
2014	7	31	58,121.28	56,363.58	43,894.50	-12,469.08	77.88	0.19	0.25	0.40
2014	8	31	58,121.28	57,192.17	42,696.50	-14,495.67	74.65	0.19	0.26	0.40
2014	9	30	56,246.40	55,289.69	40,711.50	-14,578.19	73.63	0.19	0.26	0.40
2014	10	31	58,121.28	52,360.71	42,005.00	-10,355.71	80.22	0.19	0.24	0.40
2014	11	30	56,246.40	54,588.17	40,212.00	-14,376.17	73.66	0.19	0.26	0.40
2014	12	31	58,121.28	52,512.78	41,096.00	-11,416.78	78.26	0.19	0.25	0.40
2015	1	31	58,121.28	53,844.99	25,528.26	-28,316.73	47.41	0.19	0.40	0.40
2015	2	28	52,496.64	36,078.42	23,169.00	-12,909.42	64.22	0.19	0.30	0.40
2015	3	31	58,121.28	30,229.32	25,566.00	-4,663.32	84.57	0.19	0.23	0.40
2015	4	30	56,246.40	34,351.97	24,036.50	-10,315.47	69.97	0.19	0.27	0.40
2015	5	31	58,121.28	32,629.68	18,877.00	-13,752.68	57.85	0.19	0.33	0.40
2015	6	30	56,246.40	32,430.74	21,976.50	-10,454.24	67.76	0.19	0.28	0.40
2015	7	31	58,121.28	29,363.22	24,497.75	-4,865.47	83.43	0.19	0.23	0.40
2015	8	31	58,121.28	24,279.70	38,802.75	14,523.05	159.82	0.19	0.12	0.40
2015	9	30	56,246.40	54,346.00	36,722.97	-17,623.03	67.57	0.19	0.28	0.40
2015	10	31	58,121.28	50,351.99	41,748.33	-8,603.66	82.91	0.19	0.23	0.40
2015	11	30	56,246.40	55,420.41	45,383.45	-10,036.96	81.89	0.19	0.23	0.40
2015	12	31	58,121.28	60,165.94	48,126.00	-12,039.94	79.99	0.19	0.24	0.40
2016	1	31	58,121.28	62,155.40	52,668.00	-9,487.40	84.74	0.19	0.23	0.40
2016	2	29	54,371.52	63,863.10	49,489.50	-14,373.60	77.49	0.19	0.25	0.40
2016	3	31	58,121.28	60,575.29	48,822.50	-11,752.79	80.60	0.19	0.24	0.40
2016	4	30	56,246.40	59,907.10	45,471.50	-14,435.60	75.90	0.19	0.25	0.40
2016	5	31	58,121.28	55,548.53	46,352.00	-9,196.53	83.44	0.19	0.23	0.40
2016	6	30	56,246.40	57,093.74	43,269.50	-13,824.24	75.79	0.19	0.25	0.40
2016	7	31	58,121.28	52,913.28	42,862.00	-10,051.28	81.00	0.19	0.24	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>1,768,011.84</b>	<b>1,556,302.99</b>	<b>1,205,116.51</b>	<b>-351,186.49</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>57,032.64</b>	<b>50,203.32</b>	<b>38,874.73</b>	<b>-11,328.60</b>	<b>78.47</b>	<b>0.19</b>	<b>0.25</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>52,496.64</b>	<b>24,279.70</b>	<b>18,877.00</b>	<b>-28,316.73</b>	<b>47.41</b>	<b>0.19</b>	<b>0.12</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>58,121.28</b>	<b>63,863.10</b>	<b>52,668.00</b>	<b>14,523.05</b>	<b>159.82</b>	<b>0.19</b>	<b>0.40</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

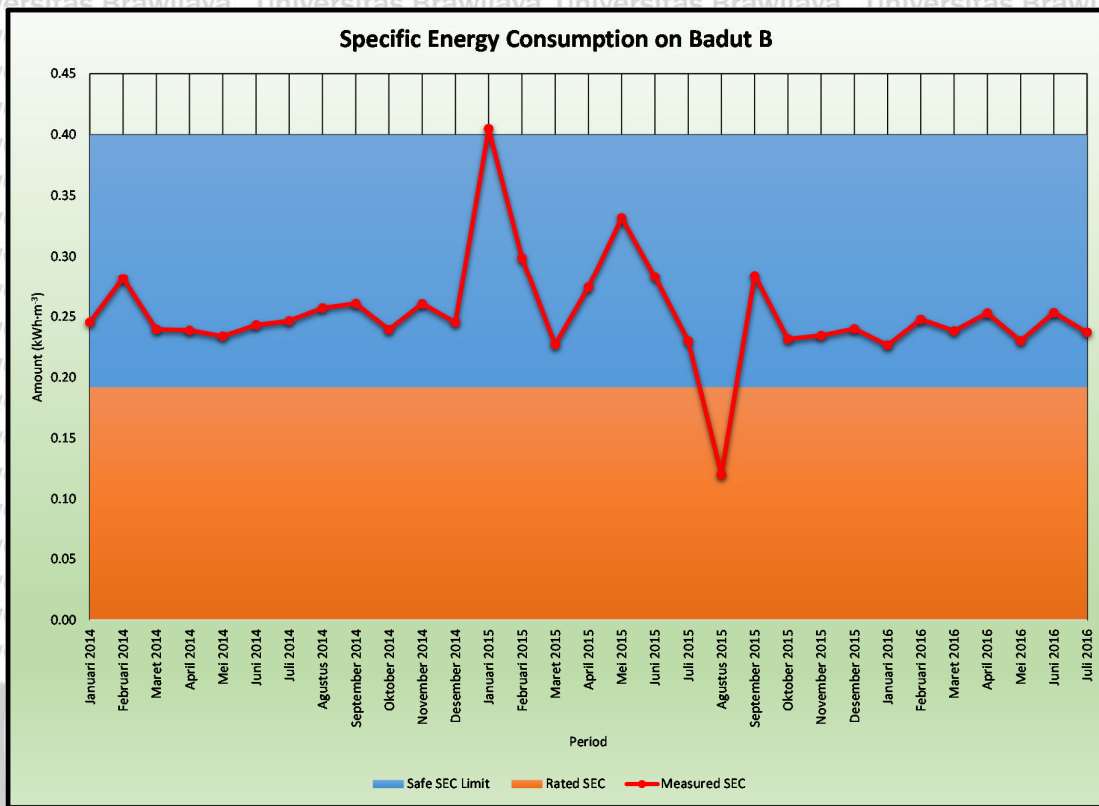
Pada Tabel 5.21 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Badut Kluster B. Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai nameplate, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.





Gambar 5.44 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Badut Kluster B. Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.21, pada Gambar 5.44 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.45 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Badut Kluster A rata-rata adalah 78,47% bila dibandingkan dengan seharusnya, jadi produksi masih di bawah kemampuannya. Selain itu, pada Agustus 2015 terdapat lonjakan produksi 159,82% dari seharusnya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung konstan. SEC yang dihasilkan sudah memenuhi syarat, yaitu rata-rata  $0,25 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Gambar 5.45 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Badut Kluster B.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Dari hasil analisis disimpulkan Rumah Pompa Badut Kluster B tidak memerlukan rekomendasi, penambahan kapasitor, penambahan VFD, ataupun perbaikan motor pompa. Kerusakan yang tampak di beberapa periode tampaknya telah diselesaikan.

### 5.3.9 Analisis Rumah Pompa Summersari

Analisis mandiri Rumah Pompa Summersari akan didasarkan pada data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari Rumah Pompa Summersari sepenuhnya. Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Summersari adalah pompa sebanyak total 1 unit yang beroperasi 24 jam non-stop. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif 1 unit pompa yang beroperasi adalah 5,5 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 3,4 kVAr, dengan faktor daya sebesar 85,06%.



Tabel 5.22  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa  
Sumbersari

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2014	2	28	3,696.00	5.50	2,284.80	3.40	85.06
2014	3	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2014	4	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2014	5	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2014	6	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2014	7	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2014	8	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2014	9	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2014	10	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2014	11	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2014	12	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2015	1	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2015	2	28	3,696.00	5.50	2,284.80	3.40	85.06
2015	3	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2015	4	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2015	5	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2015	6	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2015	7	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2015	8	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2015	9	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2015	10	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2015	11	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2015	12	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2016	1	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2016	2	29	3,828.00	5.50	2,366.40	3.40	85.06
2016	3	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2016	4	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2016	5	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
2016	6	30	3,960.00	5.50	2,448.00	3.40	85.06
2016	7	31	4,092.00	5.50	2,529.60	3.40	85.06
<b>TOTAL</b>			<b>124,476.00</b>		<b>76,948.80</b>		
<b>AVERAGE</b>			<b>4,015.35</b>	<b>5.50</b>	<b>2,482.22</b>	<b>3.40</b>	<b>85.06</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>3,696.00</b>	<b>5.50</b>	<b>2,284.80</b>	<b>3.40</b>	<b>85.06</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>4,092.00</b>	<b>5.50</b>	<b>2,529.60</b>	<b>3.40</b>	<b>85.06</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.22 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Sumbersari bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

Tabel 5.23  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Sumber Sari

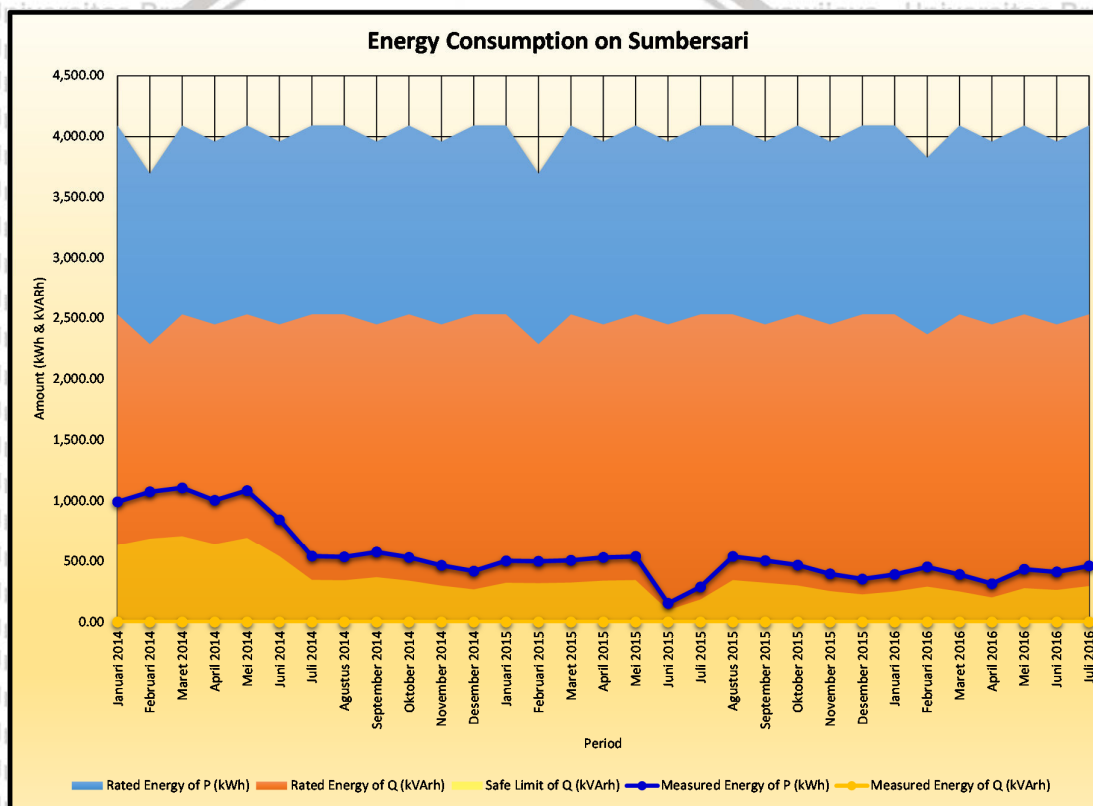
TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2014	1	31	992.00	0.00	992.00	1.33	634.88	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	100.00
2014	2	28	1,075.00	0.00	1,075.00	1.60	688.00	0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	100.00
2014	3	31	1,107.00	0.00	1,107.00	1.49	708.48	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	100.00
2014	4	30	1,005.00	0.00	1,005.00	1.40	643.20	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	100.00
2014	5	31	1,085.00	0.00	1,085.00	1.46	694.40	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	100.00
2014	6	30	845.00	0.00	845.00	1.17	540.80	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	100.00
2014	7	31	540.00	0.00	540.00	0.73	345.60	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	100.00
2014	8	31	534.00	0.00	534.00	0.72	341.76	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	100.00
2014	9	30	574.00	0.00	574.00	0.80	367.36	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	100.00
2014	10	31	530.00	0.00	530.00	0.71	339.20	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	100.00
2014	11	30	464.00	0.00	464.00	0.64	296.96	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	100.00
2014	12	31	417.00	0.00	417.00	0.56	266.88	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	100.00
2015	1	31	501.00	0.00	501.00	0.67	320.64	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	100.00
2015	2	28	497.00	0.00	497.00	0.74	318.08	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	100.00
2015	3	31	505.00	0.00	505.00	0.68	323.20	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	100.00
2015	4	30	529.00	0.00	529.00	0.73	338.56	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	100.00
2015	5	31	537.00	0.00	537.00	0.72	343.68	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	100.00
2015	6	30	152.00	0.00	152.00	0.21	97.28	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	100.00
2015	7	31	287.00	0.00	287.00	0.39	183.68	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	100.00
2015	8	31	537.00	0.00	537.00	0.72	343.68	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	100.00
2015	9	30	503.00	0.00	503.00	0.70	321.92	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	100.00
2015	10	31	466.00	0.00	466.00	0.63	298.24	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	100.00
2015	11	30	394.00	0.00	394.00	0.55	252.16	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	100.00
2015	12	31	352.00	0.00	352.00	0.47	225.28	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	100.00
2016	1	31	389.00	0.00	389.00	0.52	248.96	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	100.00
2016	2	29	451.00	0.00	451.00	0.65	288.64	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	100.00
2016	3	31	389.00	0.00	389.00	0.52	248.96	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	100.00
2016	4	30	314.00	0.00	314.00	0.44	200.96	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	100.00
2016	5	31	432.00	0.00	432.00	0.58	276.48	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	100.00
2016	6	30	410.00	0.00	410.00	0.57	262.40	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	100.00
2016	7	31	459.00	0.00	459.00	0.62	293.76	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	100.00
<b>TOTAL</b>			<b>17,272.00</b>	<b>0.00</b>	<b>17,272.00</b>		<b>11,054.08</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>557.16</b>	<b>0.00</b>	<b>557.16</b>	<b>0.77</b>	<b>356.58</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.49</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>152.00</b>	<b>0.00</b>	<b>152.00</b>	<b>0.21</b>	<b>97.28</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.14</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>1,107.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1,107.00</b>	<b>1.60</b>	<b>708.48</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.02</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.22 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.



Tabel 5.23 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Summersari, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.

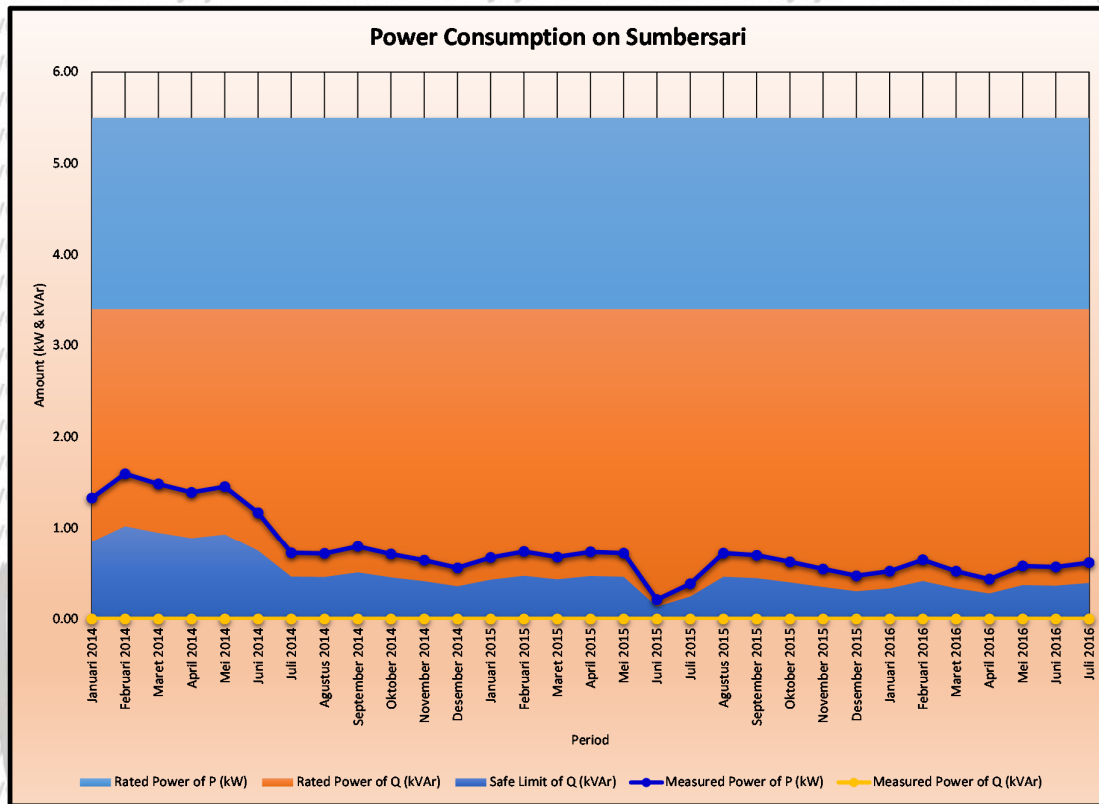


Gambar 5.46 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Summersari.

Sumber: Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.46 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Summersari. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.23, konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 0,21 kW hingga 1,6 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung menurun. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 5,5 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa konsumsi rata-rata berada jauh di bawah konsumsi puncak, yang menandakan bahwa kemungkinan pompa

sangat jarang digunakan. Konsumsi daya reaktif tidak terbaca karena tidak ada perangkat pengukur konsumsi energi dari Q (daya reaktif).



Gambar 5.47 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Sumber Sari.  
 Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.47 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Sumber Sari, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.46 sebagai versi energi.

Tabel 5.24  
 Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Sumber Sari

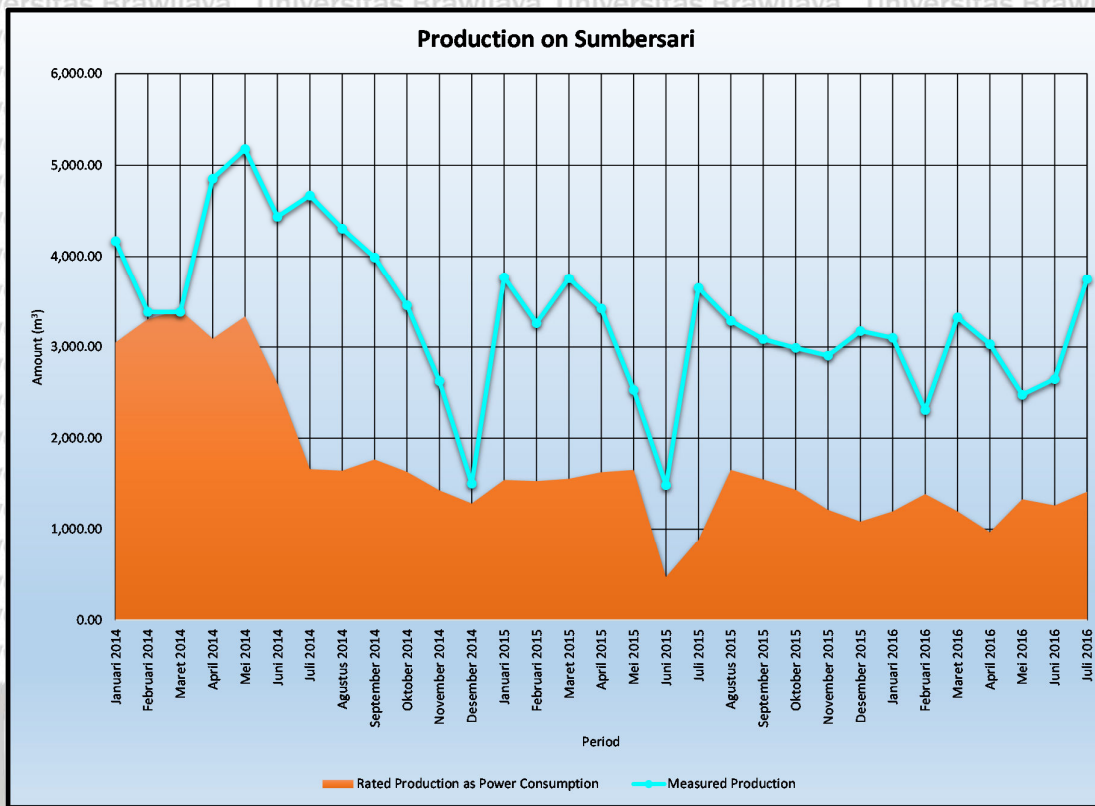
TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN		
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>					m <sup>3</sup>	%
2014	1	31	12,588.48	3,051.75	4,171.00	1,119.25	136.68	0.33	0.24	0.40
2014	2	28	11,370.24	3,307.09	3,386.00	78.91	102.39	0.33	0.32	0.40
2014	3	31	12,588.48	3,405.53	3,386.00	-19.53	99.43	0.33	0.33	0.40
2014	4	30	12,182.40	3,091.75	4,854.00	1,762.25	157.00	0.33	0.21	0.40
2014	5	31	12,588.48	3,337.85	5,178.00	1,840.15	155.13	0.33	0.21	0.40
2014	6	30	12,182.40	2,599.53	4,436.00	1,836.47	170.65	0.33	0.19	0.40
2014	7	31	12,588.48	1,661.24	4,670.00	3,008.76	281.12	0.33	0.12	0.40
2014	8	31	12,588.48	1,642.78	4,307.00	2,664.22	262.18	0.33	0.12	0.40



TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		%	MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN	
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>					m <sup>3</sup>
2014	9	30	12,182.40	1,765.83	3,990.00	2,224.17	225.96	0.33	0.14	0.40
2014	10	31	12,588.48	1,630.47	3,460.00	1,829.53	212.21	0.33	0.15	0.40
2014	11	30	12,182.40	1,427.43	2,628.00	1,200.57	184.11	0.33	0.18	0.40
2014	12	31	12,588.48	1,282.84	1,502.00	219.16	117.08	0.33	0.28	0.40
2015	1	31	12,588.48	1,541.26	3,770.00	2,228.74	244.61	0.33	0.13	0.40
2015	2	28	11,370.24	1,528.95	3,264.00	1,735.05	213.48	0.33	0.15	0.40
2015	3	31	12,588.48	1,553.56	3,758.00	2,204.44	241.90	0.33	0.13	0.40
2015	4	30	12,182.40	1,627.40	3,425.00	1,797.60	210.46	0.33	0.15	0.40
2015	5	31	12,588.48	1,652.01	2,529.00	876.99	153.09	0.33	0.21	0.40
2015	6	30	12,182.40	467.61	1,484.00	1,016.39	317.36	0.33	0.10	0.40
2015	7	31	12,588.48	882.92	3,653.00	2,770.08	413.74	0.33	0.08	0.40
2015	8	31	12,588.48	1,652.01	3,289.00	1,636.99	199.09	0.33	0.16	0.40
2015	9	30	12,182.40	1,547.41	3,087.00	1,539.59	199.49	0.33	0.16	0.40
2015	10	31	12,588.48	1,433.59	2,991.00	1,557.41	208.64	0.33	0.16	0.40
2015	11	30	12,182.40	1,212.09	2,907.00	1,694.91	239.83	0.33	0.14	0.40
2015	12	31	12,588.48	1,082.88	3,177.00	2,094.12	293.38	0.33	0.11	0.40
2016	1	31	12,588.48	1,196.71	3,102.00	1,905.29	259.21	0.33	0.13	0.40
2016	2	29	11,776.32	1,387.44	2,310.00	922.56	166.49	0.33	0.20	0.40
2016	3	31	12,588.48	1,196.71	3,328.00	2,131.29	278.10	0.33	0.12	0.40
2016	4	30	12,182.40	965.98	3,032.00	2,066.02	313.88	0.33	0.10	0.40
2016	5	31	12,588.48	1,328.99	2,477.00	1,148.01	186.38	0.33	0.17	0.40
2016	6	30	12,182.40	1,261.31	2,649.00	1,387.69	210.02	0.33	0.15	0.40
2016	7	31	12,588.48	1,412.05	3,748.00	2,335.95	265.43	0.33	0.12	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>382,933.44</b>	<b>53,134.95</b>	<b>103,948.00</b>	<b>50,813.05</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>12,352.69</b>	<b>1,714.03</b>	<b>3,353.16</b>	<b>1,639.13</b>	<b>216.73</b>	<b>0.33</b>	<b>0.17</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>11,370.24</b>	<b>467.61</b>	<b>1,484.00</b>	<b>-19.53</b>	<b>99.43</b>	<b>0.33</b>	<b>0.08</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>12,588.48</b>	<b>3,405.53</b>	<b>5,178.00</b>	<b>3,008.76</b>	<b>413.74</b>	<b>0.33</b>	<b>0.33</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.24 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Sumbersari. Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai *nameplate*, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.

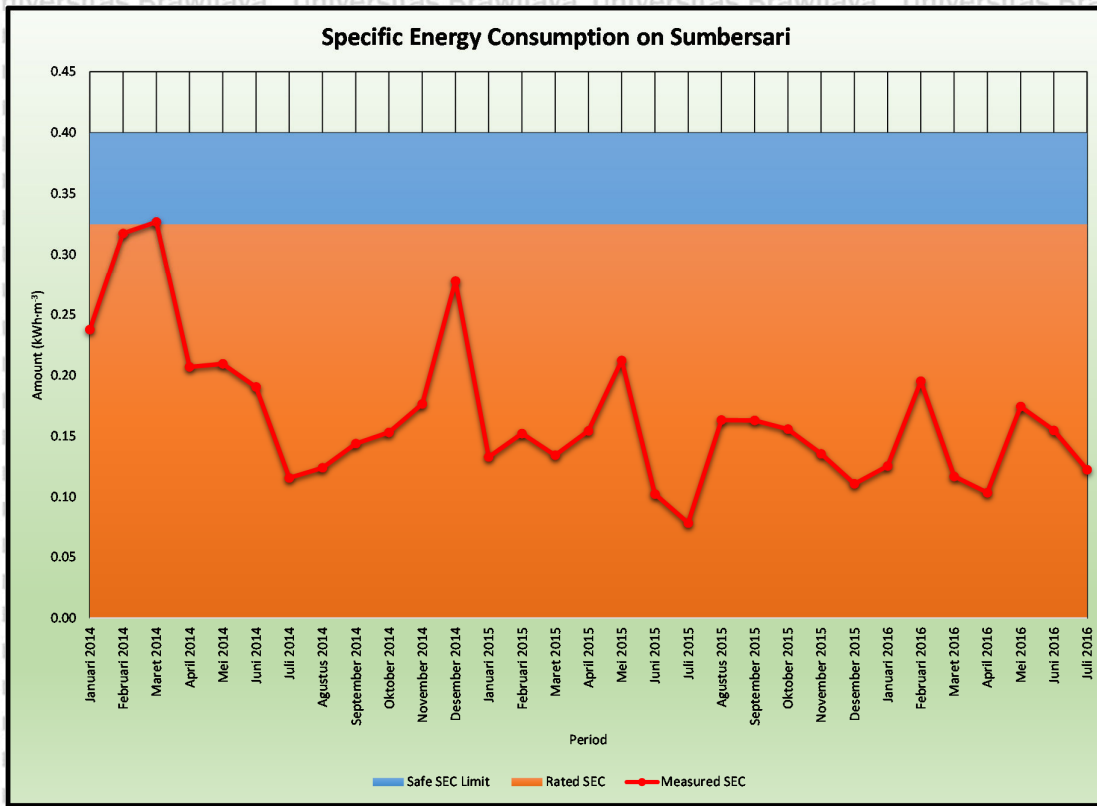


Gambar 5.48 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Summersari.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.24, pada Gambar 5.48 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.49 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Summersari rata-rata adalah 216,73% bila dibandingkan dengan seharusnya, jadi produksi malah melampaui kemampuannya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung turun. SEC yang dihasilkan sudah memenuhi syarat, yaitu rata-rata  $0,17 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ .





Gambar 5.49 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Sumber Sari.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Dari hasil analisis disimpulkan Rumah Pompa Sumber Sari tidak memerlukan rekomendasi, penambahan kapasitor, penambahan VFD, ataupun perbaikan motor pompa.

### 5.3.10 Analisis Rumah Pompa Istana Dieng

Analisis mandiri Rumah Pompa Istana Dieng akan didasarkan pada data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari Rumah Pompa Istana Dieng sepenuhnya. Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Istana Dieng adalah pompa sebanyak total 1 unit yang beroperasi 24 jam non-stop. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif 1 unit pompa yang beroperasi adalah 15 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 9,3 kVAr, dengan faktor daya sebesar 84,99%.

Tabel 5.25  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Istana  
Dieng

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2014	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2015	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	2	29	10,440.00	15.00	6,472.80	9.30	84.99
2016	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
<b>TOTAL</b>			<b>339,480.00</b>		<b>210,477.60</b>		
<b>AVERAGE</b>			<b>10,950.97</b>	<b>15.00</b>	<b>6,789.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>10,080.00</b>	<b>15.00</b>	<b>6,249.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>11,160.00</b>	<b>15.00</b>	<b>6,919.20</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.25 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Sumpersari bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).



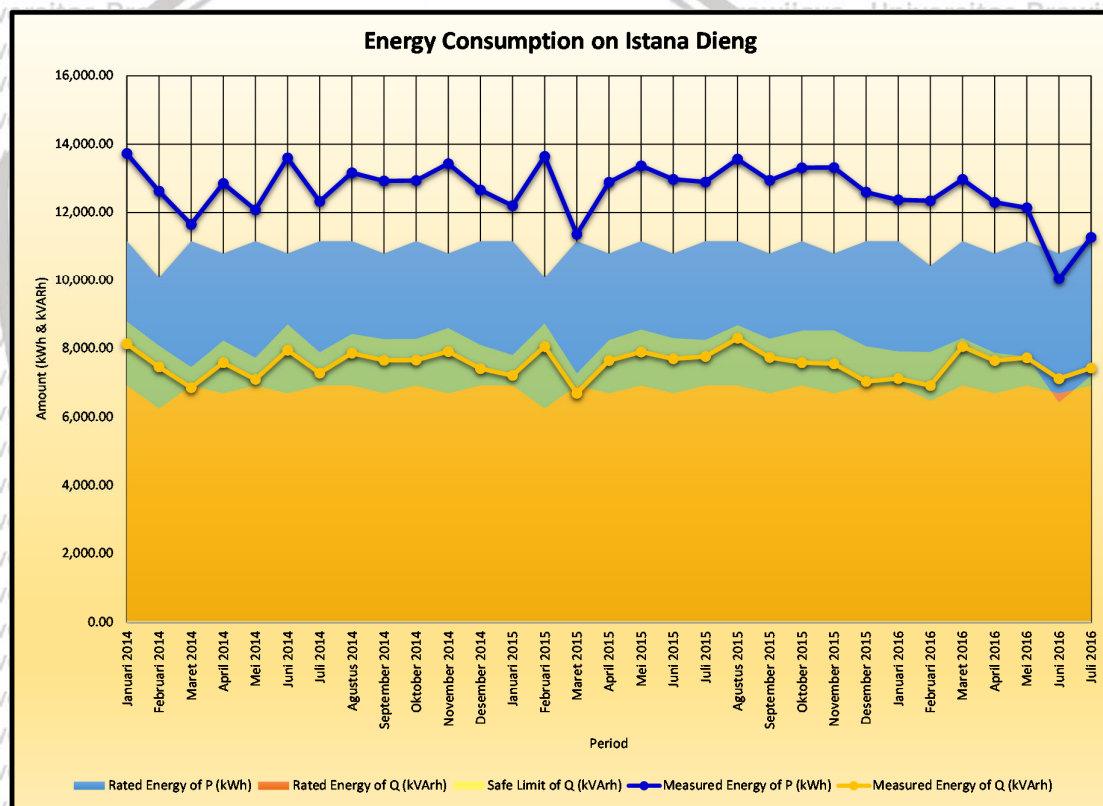
Tabel 5.26  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Istana Dieng

TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2014	1	31	11,445.82	2,281.35	13,727.17	18.45	8,785.39	8,136.00	0.00	11.81	10.94	0.00	86.03
2014	2	28	10,564.63	2,059.26	12,623.89	18.79	8,079.29	7,463.00	0.00	12.02	11.11	0.00	86.08
2014	3	31	9,677.07	1,978.65	11,655.72	15.67	7,459.66	6,861.00	0.00	10.03	9.22	0.00	86.18
2014	4	30	10,634.58	2,220.44	12,855.02	17.85	8,227.21	7,588.00	0.00	11.43	10.54	0.00	86.12
2014	5	31	9,928.30	2,151.03	12,079.33	16.24	7,730.77	7,100.00	0.00	10.39	9.54	0.00	86.21
2014	6	30	11,370.63	2,230.50	13,601.13	18.89	8,704.72	7,953.00	0.00	12.09	11.05	0.00	86.33
2014	7	31	10,240.34	2,085.27	12,325.61	16.57	7,888.39	7,285.00	0.00	10.60	9.79	0.00	86.09
2014	8	31	10,863.98	2,299.97	13,163.95	17.69	8,424.93	7,863.00	0.00	11.32	10.57	0.00	85.85
2014	9	30	10,767.88	2,157.45	12,925.33	17.95	8,272.21	7,658.00	0.00	11.49	10.64	0.00	86.03
2014	10	31	10,799.06	2,136.52	12,935.58	17.39	8,278.77	7,661.00	0.00	11.13	10.30	0.00	86.04
2014	11	30	11,200.00	2,231.00	13,431.00	18.65	8,595.84	7,913.00	0.00	11.94	10.99	0.00	86.16
2014	12	31	10,541.00	2,122.00	12,663.00	17.02	8,104.32	7,414.00	0.00	10.89	9.97	0.00	86.30
2015	1	31	10,054.82	2,147.17	12,201.99	16.40	7,809.27	7,215.00	0.00	10.50	9.70	0.00	86.08
2015	2	28	11,277.94	2,366.61	13,644.55	20.30	8,732.51	8,059.00	0.00	12.99	11.99	0.00	86.10
2015	3	31	9,414.71	1,950.08	11,364.79	15.28	7,273.47	6,695.00	0.00	9.78	9.00	0.00	86.16
2015	4	30	10,648.00	2,237.00	12,885.00	17.90	8,246.40	7,650.00	0.00	11.45	10.63	0.00	85.99
2015	5	31	11,140.16	2,227.92	13,368.08	17.97	8,555.57	7,901.01	0.00	11.50	10.62	0.00	86.09
2015	6	30	10,815.48	2,156.29	12,971.77	18.02	8,301.93	7,701.16	0.00	11.53	10.70	0.00	85.99
2015	7	31	10,748.36	2,145.89	12,894.25	17.33	8,252.32	7,766.59	0.00	11.09	10.44	0.00	85.66
2015	8	31	11,255.65	2,309.33	13,564.98	18.23	8,681.59	8,299.71	0.00	11.67	11.16	0.00	85.30
2015	9	30	10,769.00	2,174.00	12,943.00	17.98	8,283.52	7,740.00	0.00	11.50	10.75	0.00	85.82
2015	10	31	11,075.00	2,236.00	13,311.00	17.89	8,519.04	7,591.00	0.00	11.45	10.20	0.00	86.87
2015	11	30	11,091.00	2,228.00	13,319.00	18.50	8,524.16	7,556.00	0.00	11.84	10.49	0.00	86.98
2015	12	31	10,451.00	2,146.00	12,597.00	16.93	8,062.08	7,039.00	0.00	10.84	9.46	0.00	87.30
2016	1	31	10,200.00	2,170.00	12,370.00	16.63	7,916.80	7,126.00	0.00	10.64	9.58	0.00	86.65
2016	2	29	10,082.00	2,263.00	12,345.00	17.74	7,900.80	6,919.00	0.00	11.35	9.94	0.00	87.23
2016	3	31	10,966.00	2,004.00	12,970.00	17.43	8,300.80	8,056.00	0.00	11.16	10.83	0.00	84.95
2016	4	30	10,020.00	2,280.00	12,300.00	17.08	7,872.00	7,650.00	0.00	10.93	10.63	0.00	84.92
2016	5	31	10,200.00	1,940.00	12,140.00	16.32	7,769.60	7,731.00	0.00	10.44	10.39	0.00	84.35
2016	6	30	8,121.00	1,920.00	10,041.00	13.95	6,426.24	7,120.30	694.06	8.93	9.89	0.96	81.57
2016	7	31	9,131.00	2,142.00	11,273.00	15.15	7,214.72	7,430.11	215.39	9.70	9.99	0.29	83.50
<b>TOTAL</b>			<b>325,494.41</b>	<b>66,996.73</b>	<b>392,491.14</b>		<b>251,194.33</b>	<b>234,140.88</b>	<b>909.45</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>10,499.82</b>	<b>2,161.18</b>	<b>12,661.00</b>	<b>17.36</b>	<b>8,103.04</b>	<b>7,552.93</b>	<b>29.34</b>	<b>11.11</b>	<b>10.36</b>	<b>0.04</b>	<b>85.84</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>8,121.00</b>	<b>1,920.00</b>	<b>10,041.00</b>	<b>13.95</b>	<b>6,426.24</b>	<b>6,695.00</b>	<b>0.00</b>	<b>8.93</b>	<b>9.00</b>	<b>0.00</b>	<b>81.57</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>11,445.82</b>	<b>2,366.61</b>	<b>13,727.17</b>	<b>20.30</b>	<b>8,785.39</b>	<b>8,299.71</b>	<b>694.06</b>	<b>12.99</b>	<b>11.99</b>	<b>0.96</b>	<b>87.30</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.26 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.

Tabel 5.26 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Istana Dieng, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.



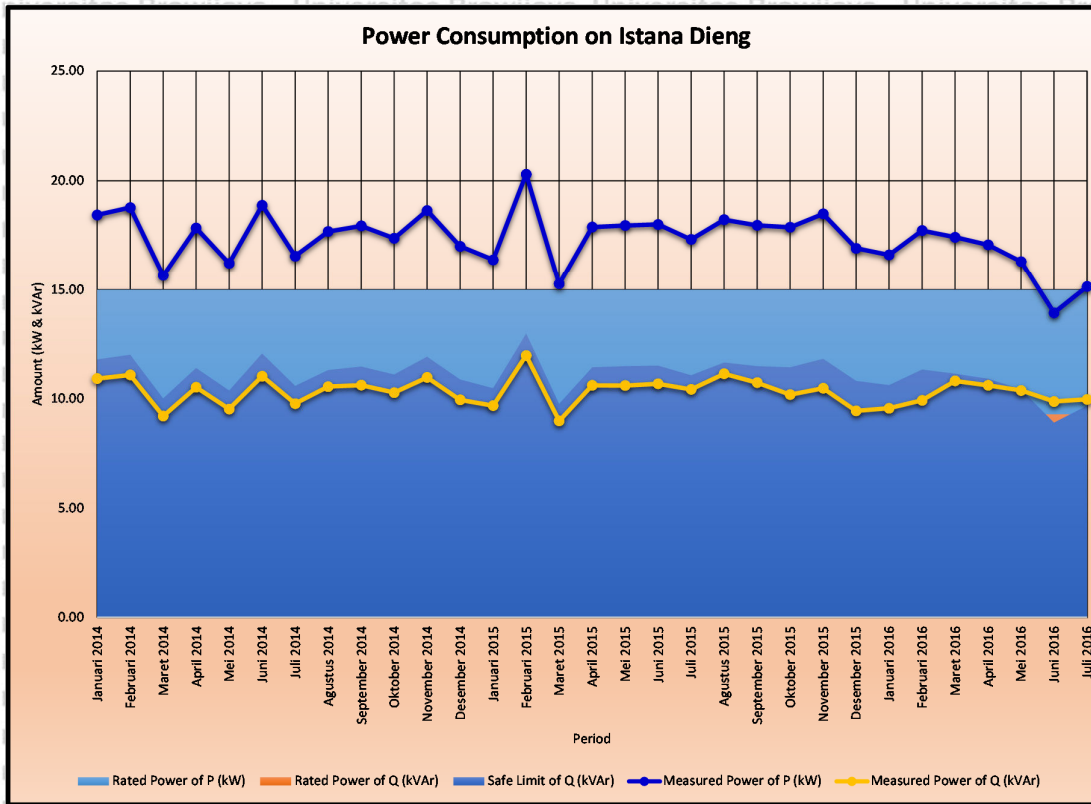
Gambar 5.50 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Istana Dieng.

Sumber Brawijaya: Olahan data PDAM Kota Malang, 2017. Brawijaya Universitas Brawijaya

Gambar 5.50 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Istana Dieng. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.26, konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 13,95 kW hingga 20,30 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung konstan. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 15 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa konsumsi rata-rata berada di atas konsumsi puncak, yang menandakan bahwa kemungkinan pompa



menurun efisiensinya atau bekerja terlalu berat. Konsumsi daya reaktif sebelumnya masih berada di bawah batas aman kecuali untuk dua bulan terakhir yang mulai terkena denda kelebihan kVArh dari PLN.



Gambar 5.51 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Istana Dieng. Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.51 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Istana Dieng, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.50 sebagai versi energi.

Tabel 5.27 Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Istana Dieng

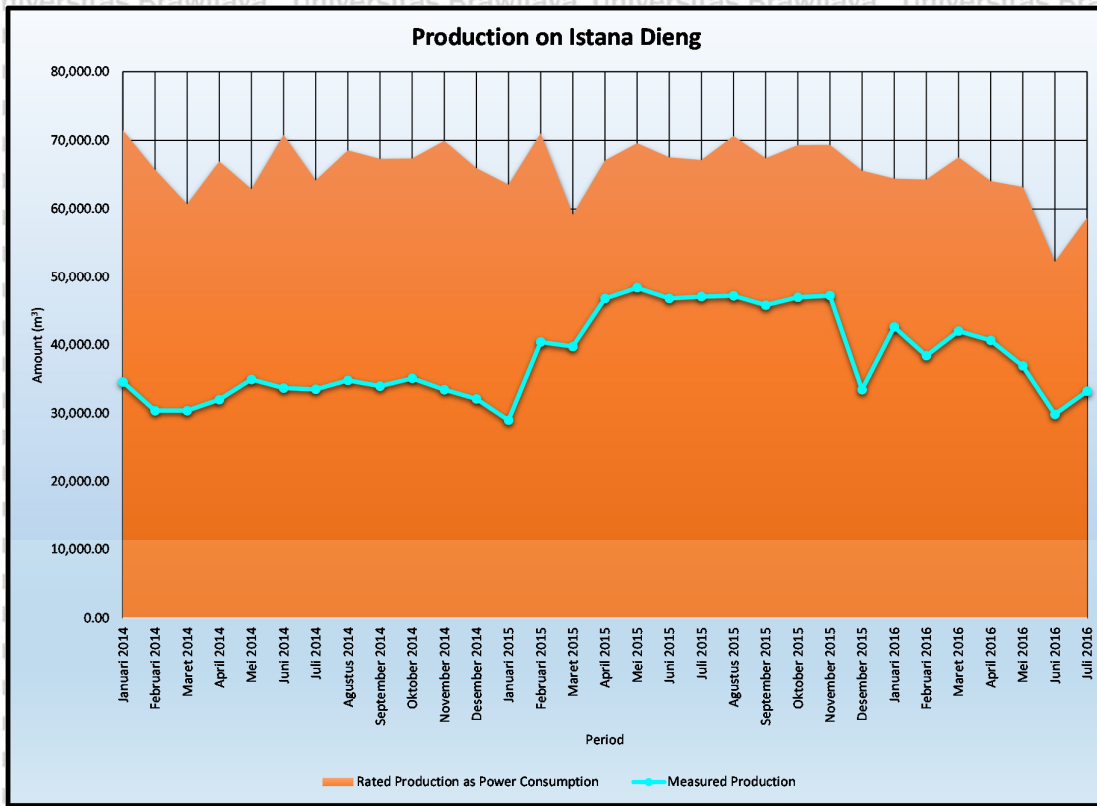
TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		m <sup>3</sup>	%	MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN
2014	1	31	58,121.28	71,491.10	34,619.00	-36,872.10	48.42	0.19	0.40	0.40
2014	2	28	52,496.64	65,745.22	30,397.00	-35,348.22	46.23	0.19	0.42	0.40
2014	3	31	58,121.28	60,702.99	30,397.00	-30,305.99	50.07	0.19	0.38	0.40
2014	4	30	56,246.40	66,948.94	32,018.00	-34,930.94	47.82	0.19	0.40	0.40
2014	5	31	58,121.28	62,909.15	34,984.00	-27,925.15	55.61	0.19	0.35	0.40
2014	6	30	56,246.40	70,834.69	33,704.00	-37,130.69	47.58	0.19	0.40	0.40
2014	7	31	58,121.28	64,191.78	33,530.00	-30,661.78	52.23	0.19	0.37	0.40

TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		%	MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN	
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>
2014	8	31	58,121.28	68,557.85	34,836.00	-33,721.85	50.81	0.19	0.38	0.40
2014	9	30	56,246.40	67,315.12	33,989.00	-33,326.12	50.49	0.19	0.38	0.40
2014	10	31	58,121.28	67,368.50	35,141.00	-32,227.50	52.16	0.19	0.37	0.40
2014	11	30	56,246.40	69,948.65	33,487.00	-36,461.65	47.87	0.19	0.40	0.40
2014	12	31	58,121.28	65,948.90	32,124.00	-33,824.90	48.71	0.19	0.39	0.40
2015	1	31	58,121.28	63,547.96	29,005.00	-34,542.96	45.64	0.19	0.42	0.40
2015	2	28	52,496.64	71,060.82	40,456.45	-30,604.37	56.93	0.19	0.34	0.40
2015	3	31	58,121.28	59,187.83	39,789.10	-19,398.73	67.23	0.19	0.29	0.40
2015	4	30	56,246.40	67,105.08	46,814.20	-20,290.88	69.76	0.19	0.28	0.40
2015	5	31	58,121.28	69,620.96	48,392.50	-21,228.46	69.51	0.19	0.28	0.40
2015	6	30	56,246.40	67,556.98	46,821.80	-20,735.18	69.31	0.19	0.28	0.40
2015	7	31	58,121.28	67,153.25	47,089.10	-20,064.15	70.12	0.19	0.27	0.40
2015	8	31	58,121.28	70,646.42	47,228.10	-23,418.32	66.85	0.19	0.29	0.40
2015	9	30	56,246.40	67,407.14	45,830.40	-21,576.74	67.99	0.19	0.28	0.40
2015	10	31	58,121.28	69,323.69	47,001.60	-22,322.09	67.80	0.19	0.28	0.40
2015	11	30	56,246.40	69,365.35	47,231.41	-22,133.94	68.09	0.19	0.28	0.40
2015	12	31	58,121.28	65,605.18	33,480.87	-32,124.31	51.03	0.19	0.38	0.40
2016	1	31	58,121.28	64,422.96	42,662.00	-21,760.96	66.22	0.19	0.29	0.40
2016	2	29	54,371.52	64,292.76	38,447.00	-25,845.76	59.80	0.19	0.32	0.40
2016	3	31	58,121.28	67,547.76	42,049.00	-25,498.76	62.25	0.19	0.31	0.40
2016	4	30	56,246.40	64,058.40	40,693.00	-23,365.40	63.52	0.19	0.30	0.40
2016	5	31	58,121.28	63,225.12	36,949.00	-26,276.12	58.44	0.19	0.33	0.40
2016	6	30	56,246.40	52,293.53	29,856.00	-22,437.53	57.09	0.19	0.34	0.40
2016	7	31	58,121.28	58,709.78	33,239.00	-25,470.78	56.62	0.19	0.34	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>1,768,011.84</b>	<b>2,044,093.86</b>	<b>1,182,261.53</b>	<b>-861,832.33</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>57,032.64</b>	<b>65,938.51</b>	<b>38,137.47</b>	<b>-27,801.04</b>	<b>57.81</b>	<b>0.19</b>	<b>0.34</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>52,496.64</b>	<b>52,293.53</b>	<b>29,005.00</b>	<b>-37,130.69</b>	<b>45.64</b>	<b>0.19</b>	<b>0.27</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>58,121.28</b>	<b>71,491.10</b>	<b>48,392.50</b>	<b>-19,398.73</b>	<b>70.12</b>	<b>0.19</b>	<b>0.42</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.27 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Istana Dieng. Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai *nameplate*, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.

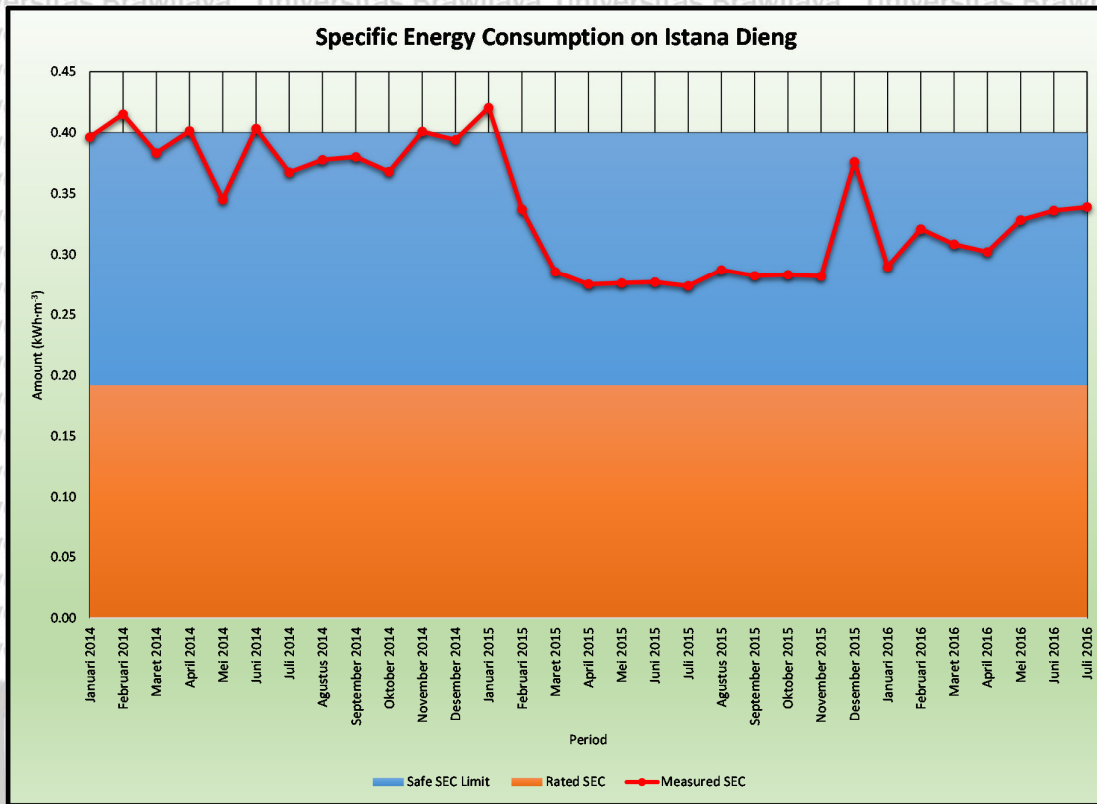




Gambar 5.52 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Istana Dieng

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.27, pada Gambar 5.52 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.53 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Istana Dieng rata-rata adalah 57,81% bila dibandingkan dengan seharusnya, jadi produksi masih setengah dari kemampuan maksimumnya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung konstan. SEC yang dihasilkan sudah memenuhi syarat, yaitu rata-rata  $0,34 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$  bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ , meskipun ada dua bulan di mana SEC melampaui batas sedikit.



Gambar 5.53 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Istana Dieng.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Dari hasil analisis disimpulkan Rumah Pompa Istana Dieng terdapat dua rekomendasi yang dimunculkan, di antaranya:

1. Penambahan pemasangan kapasitor untuk menaikkan faktor daya hingga di atas 84,23%. Hal ini digunakan untuk menghindari denda kelebihan kVARh, dengan indikasi dua bulan terakhir rumah pompa ini terkena denda tersebut.
1. Perbaiki motor pompa karena *over-capacity* motor.

### 5.3.11 Analisis Rumah Pompa Supit Urang

Analisis mandiri Rumah Pompa Supit Urang akan didasarkan pada data konsumsi listrik yang dikumpulkan dari Rumah Pompa Supit Urang sepenuhnya. Sesuai dengan Tabel 5.1, data ideal konsumsi pompa pada Rumah Pompa Supit Urang adalah pompa sebanyak total 1 unit yang beroperasi 24 jam non-stop. Secara ideal berdasarkan *nameplate*, konsumsi daya aktif 1 unit pompa yang beroperasi adalah 15 kW, dan daya reaktif yang terjadi adalah 9,3 kVAR, dengan faktor daya sebesar 84,99%.



Tabel 5.28  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Seharusnya (Sesuai *Nameplate*) Rumah Pompa Supit Urang

TAHUN	BULAN	BYK HARI	BERDASAR PEMAKAIAN BULANAN				
			ENERGI DAN DAYA MAKS.				
			P		Q		FD
			ENERGI	DAYA	ENERGI	DAYA	
kWh	kW	kVArh	kVAr	%			
2014	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2014	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2014	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2014	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	2	28	10,080.00	15.00	6,249.60	9.30	84.99
2015	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	8	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	9	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	10	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2015	11	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2015	12	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	1	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	2	29	10,440.00	15.00	6,472.80	9.30	84.99
2016	3	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	4	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	5	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
2016	6	30	10,800.00	15.00	6,696.00	9.30	84.99
2016	7	31	11,160.00	15.00	6,919.20	9.30	84.99
<b>TOTAL</b>			<b>339,480.00</b>	<b>15.00</b>	<b>210,477.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>10,950.97</b>	<b>15.00</b>	<b>6,789.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>10,080.00</b>	<b>15.00</b>	<b>6,249.60</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>11,160.00</b>	<b>15.00</b>	<b>6,919.20</b>	<b>9.30</b>	<b>84.99</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.28 ditunjukkan riwayat konsumsi listrik yang seharusnya terjadi pada Rumah Pompa Sumbersari bila menggunakan data dari *nameplate* dan asumsi bahwa pompa yang aktif bekerja selama 24 jam non-stop, untuk pemakaian energi dari P (kWh) dan pemakaian energi dari Q (kVArh).

Tabel 5.29  
Daftar Riwayat Konsumsi Listrik Terukur Rumah Pompa Supit Urang

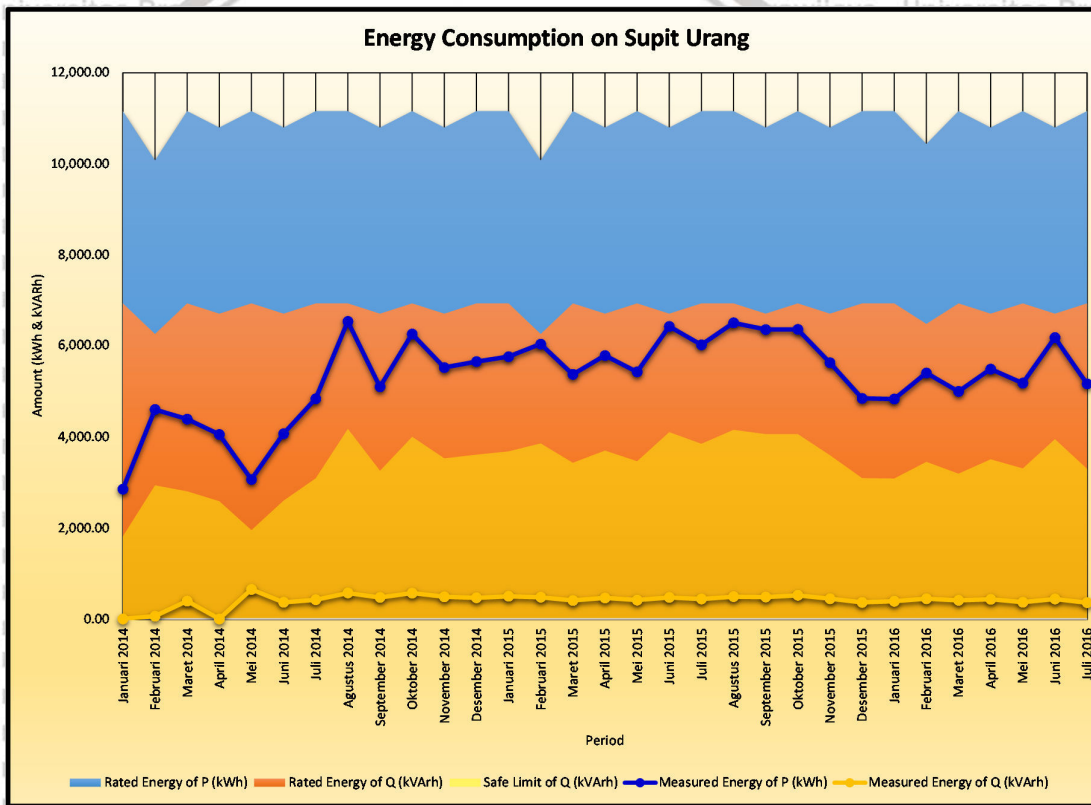
TAHUN	BULAN	BYK HARI	ENERGI DAN DAYA RERATA TERUKUR										
			P				Q						FD
			LWBP	WBP	ENERGI	DAYA	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	ENERGI	KLBH ENERGI	BATAS AMAN (Q 64% OF P)	DAYA	KLBH DAYA	
			kWh	kWh	kWh	kW	kVArh	kVArh	kVArh	kVAr	kVAr	kVAr	
2014	1	31	2,858.00	0.00	2,858.00	3.84	1,829.12	0.00	0.00	2.46	0.00	0.00	100.00
2014	2	28	4,487.03	112.63	4,599.66	6.84	2,943.78	59.51	0.00	4.38	0.09	0.00	99.99
2014	3	31	3,708.28	682.65	4,390.93	5.90	2,810.20	391.61	0.00	3.78	0.53	0.00	99.60
2014	4	30	4,021.28	34.82	4,056.10	5.63	2,595.90	1.88	0.00	3.61	0.00	0.00	100.00
2014	5	31	2,028.84	1,041.89	3,070.73	4.13	1,965.27	646.59	0.00	2.64	0.87	0.00	97.85
2014	6	30	3,432.05	640.57	4,072.62	5.66	2,606.48	364.59	0.00	3.62	0.51	0.00	99.60
2014	7	31	4,030.15	805.85	4,836.00	6.50	3,095.04	418.01	0.00	4.16	0.56	0.00	99.63
2014	8	31	5,440.61	1,087.85	6,528.46	8.77	4,178.21	567.92	0.00	5.62	0.76	0.00	99.62
2014	9	30	4,274.13	821.74	5,095.87	7.08	3,261.36	468.89	0.00	4.53	0.65	0.00	99.58
2014	10	31	5,210.02	1,043.00	6,253.02	8.40	4,001.93	565.00	0.00	5.38	0.76	0.00	99.59
2014	11	30	4,538.54	979.00	5,517.54	7.66	3,531.23	485.00	0.00	4.90	0.67	0.00	99.62
2014	12	31	4,620.46	1,028.00	5,648.46	7.59	3,615.01	462.00	0.00	4.86	0.62	0.00	99.67
2015	1	31	4,736.90	1,019.00	5,755.90	7.74	3,683.78	494.00	0.00	4.95	0.66	0.00	99.63
2015	2	28	4,962.10	1,069.00	6,031.10	8.97	3,859.90	474.00	0.00	5.74	0.71	0.00	99.69
2015	3	31	4,404.00	963.00	5,367.00	7.21	3,434.88	403.00	0.00	4.62	0.54	0.00	99.72
2015	4	30	4,739.00	1,043.00	5,782.00	8.03	3,700.48	459.00	0.00	5.14	0.64	0.00	99.69
2015	5	31	4,423.00	1,000.00	5,423.00	7.29	3,470.72	412.00	0.00	4.66	0.55	0.00	99.71
2015	6	30	5,294.00	1,123.00	6,417.00	8.91	4,106.88	470.00	0.00	5.70	0.65	0.00	99.73
2015	7	31	4,982.00	1,032.00	6,014.00	8.08	3,848.96	436.00	0.00	5.17	0.59	0.00	99.74
2015	8	31	5,409.00	1,086.00	6,495.00	8.73	4,156.80	487.00	0.00	5.59	0.65	0.00	99.72
2015	9	30	5,257.00	1,093.00	6,350.00	8.82	4,064.00	479.00	0.00	5.64	0.67	0.00	99.72
2015	10	31	5,294.00	1,057.00	6,351.00	8.54	4,064.64	516.00	0.00	5.46	0.69	0.00	99.67
2015	11	30	4,680.00	945.00	5,625.00	7.81	3,600.00	443.00	0.00	5.00	0.62	0.00	99.69
2015	12	31	4,052.00	792.00	4,844.00	6.51	3,100.16	362.00	0.00	4.17	0.49	0.00	99.72
2016	1	31	4,062.00	767.00	4,829.00	6.49	3,090.56	386.00	0.00	4.15	0.52	0.00	99.68
2016	2	29	4,525.00	874.00	5,399.00	7.76	3,455.36	443.00	0.00	4.96	0.64	0.00	99.67
2016	3	31	4,175.00	819.00	4,994.00	6.71	3,196.16	407.00	0.00	4.30	0.55	0.00	99.67
2016	4	30	4,568.00	916.00	5,484.00	7.62	3,509.76	430.00	0.00	4.87	0.60	0.00	99.69
2016	5	31	4,333.00	845.00	5,178.00	6.96	3,313.92	365.00	0.00	4.45	0.49	0.00	99.75
2016	6	30	5,119.00	1,054.00	6,173.00	8.57	3,950.72	436.00	0.00	5.49	0.61	0.00	99.75
2016	7	31	4,298.00	865.00	5,163.00	6.94	3,304.32	355.00	0.00	4.44	0.48	0.00	99.76
<b>TOTAL</b>			<b>137,962.39</b>	<b>26,640.00</b>	<b>164,602.39</b>	<b>7.28</b>	<b>105,345.53</b>	<b>12,688.00</b>	<b>0.00</b>	<b>4.66</b>	<b>0.56</b>	<b>0.00</b>	<b>99.65</b>
<b>AVERAGE</b>			<b>4,450.40</b>	<b>859.35</b>	<b>5,309.75</b>	<b>7.28</b>	<b>3,398.24</b>	<b>409.29</b>	<b>0.00</b>	<b>4.66</b>	<b>0.56</b>	<b>0.00</b>	<b>99.65</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>2,028.84</b>	<b>0.00</b>	<b>2,858.00</b>	<b>3.84</b>	<b>1,829.12</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.46</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>97.85</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>5,440.61</b>	<b>1,123.00</b>	<b>6,528.46</b>	<b>8.97</b>	<b>4,178.21</b>	<b>646.59</b>	<b>0.00</b>	<b>5.74</b>	<b>0.87</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>

Sumber : Olahan data dari PDAM Kota Malang, 2017.

Data pada Tabel 5.29 telah diisi dengan daya maksimum semua motor pompa (*rated power*) dikalikan dengan 24 jam dan dikalikan dengan banyaknya hari dalam satu bulan per bulannya.



Tabel 5.29 menunjukkan riwayat konsumsi listrik yang digunakan pada Rumah Pompa Supit Urang, yaitu berdasarkan pemakaian dan tagihan listrik mulai Januari 2014 hingga Juli 2016. Pada tabel tersebut terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari P (daya aktif), yang terdiri dari konsumsi luar waktu beban puncak (LWBP), konsumsi waktu beban puncak (WBP), konsumsi total, dan asumsi daya aktif. Selain itu terdapat kolom yang menyatakan pemakaian energi dari Q (daya reaktif), yang terdiri dari batas aman konsumsi energi dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian energi dari P, konsumsi total, kelebihan kVArh, batas aman konsumsi daya dihitung berdasarkan 64% dari pemakaian daya dari P, asumsi daya reaktif, dan kelebihan kVAr. Kolom terakhir menunjukkan faktor daya dari gabungan semua motor pompa.

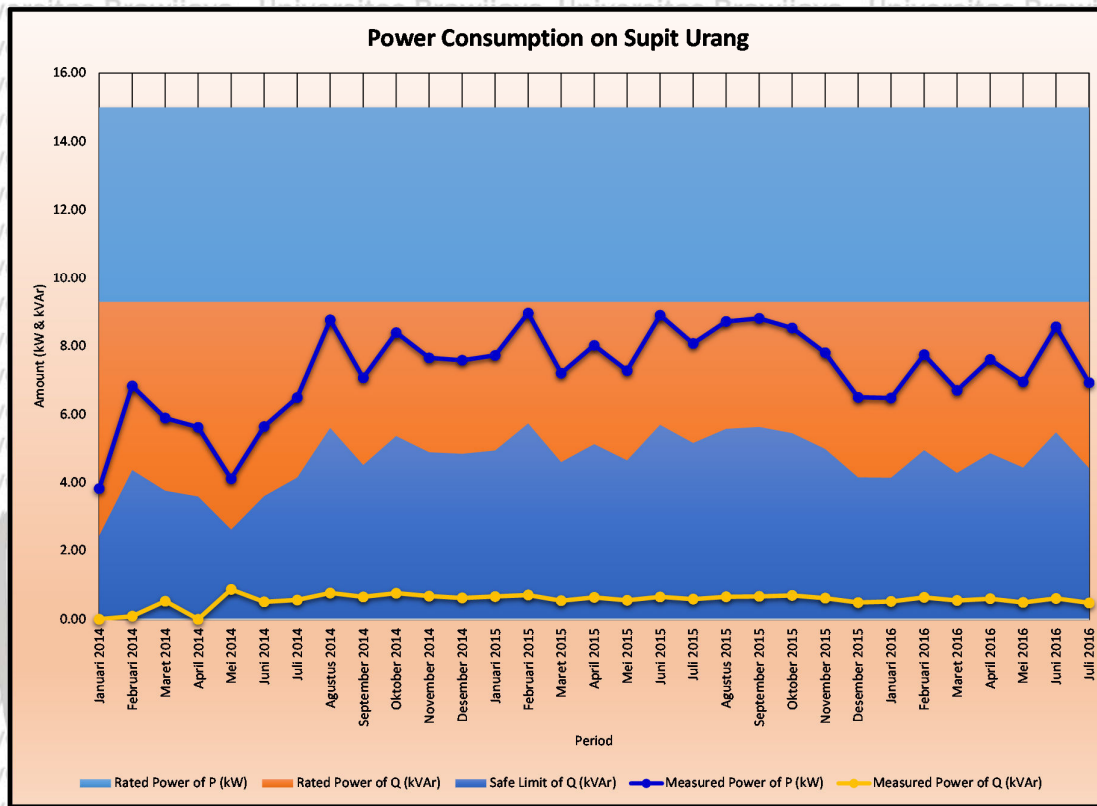


Gambar 5.54 Grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Supit Urang.

Sumber: Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Gambar 5.54 menunjukkan grafik riwayat konsumsi energi listrik pada Rumah Pompa Istana Dieng. Seperti halnya terlihat pada grafik tersebut dan juga pada Tabel 5.29, konsumsi daya dari P (daya aktif) bervariasi dengan asumsi mulai dari 3,38 kW hingga 8,97 kW, yang memperlihatkan tren yang cenderung konstan. Bila dibandingkan dengan *nameplate* yang mana tertera 15 kW sebagai konsumsi puncak daya aktif, terlihat bahwa konsumsi rata-rata berada pada setengah dari konsumsi puncak, yang menandakan bahwa kemungkinan pompa

tidak dioperasikan non-stop. Konsumsi daya reaktif jauh berada di bawah batas aman karena ada perbaikan faktor daya yang signifikan, sehingga tidak sampai terkena denda kelebihan kVArh dari PLN.



Gambar 5.55 Grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Supit Urang. Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Gambar 5.55 disajikan grafik riwayat konsumsi daya listrik pada Rumah Pompa Supit Urang, untuk memperjelas sebagai versi daya bila dibandingkan dengan Gambar 5.54 sebagai versi energi.

Tabel 5.30 Daftar Riwayat Produksi Air Rumah Pompa Supit Urang

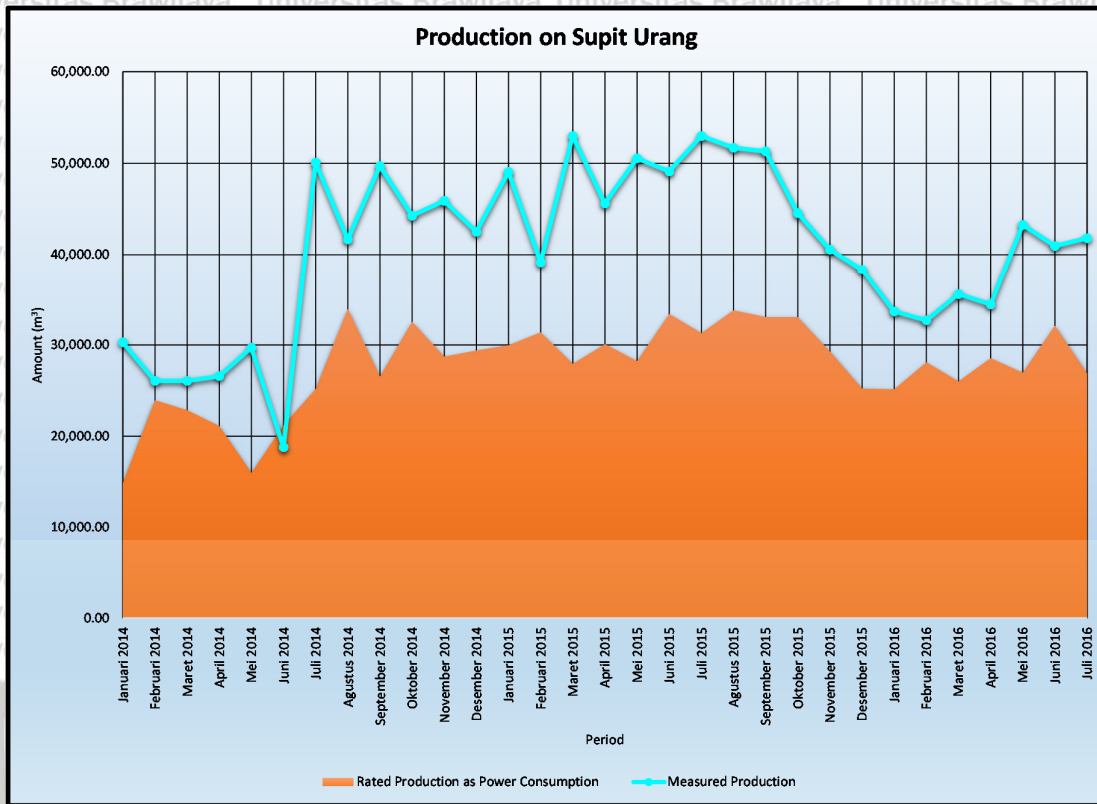
TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		m <sup>3</sup>	%	MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN
2014	1	31	58,121.28	14,884.46	30,300.00	15,415.54	203.57	0.19	0.09	0.40
2014	2	28	52,496.64	23,955.04	26,065.00	2,109.96	108.81	0.19	0.18	0.40
2014	3	31	58,121.28	22,867.96	26,065.00	3,197.04	113.98	0.19	0.17	0.40
2014	4	30	56,246.40	21,124.17	26,582.00	5,457.83	125.84	0.19	0.15	0.40
2014	5	31	58,121.28	15,992.36	29,712.00	13,719.64	185.79	0.19	0.10	0.40
2014	6	30	56,246.40	21,210.20	18,777.00	-2,433.20	88.53	0.19	0.22	0.40
2014	7	31	58,121.28	25,185.89	50,086.00	24,900.11	198.87	0.19	0.10	0.40



TAHUN	BULAN	BYK HARI	PROD. MAKS.		PRODUKSI TERUKUR	SIMPANGAN PRODUKSI		SEC		
			SESUAI P MAKS.	SESUAI P TRKR.		MAKS	TERUKUR	BATAS AMAN		
			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>				m <sup>3</sup>	%
2014	8	31	58,121.28	34,000.22	41,684.00	7,683.78	122.60	0.19	0.16	0.40
2014	9	30	56,246.40	26,539.29	49,705.00	23,165.71	187.29	0.19	0.10	0.40
2014	10	31	58,121.28	32,565.73	44,279.00	11,713.27	135.97	0.19	0.14	0.40
2014	11	30	56,246.40	28,735.35	45,901.00	17,165.65	159.74	0.19	0.12	0.40
2014	12	31	58,121.28	29,417.18	42,521.00	13,103.82	144.54	0.19	0.13	0.40
2015	1	31	58,121.28	29,976.73	49,067.00	19,090.27	163.68	0.19	0.12	0.40
2015	2	28	52,496.64	31,409.97	39,174.13	7,764.16	124.72	0.19	0.15	0.40
2015	3	31	58,121.28	27,951.34	52,994.00	25,042.66	189.59	0.19	0.10	0.40
2015	4	30	56,246.40	30,112.66	45,621.36	15,508.70	151.50	0.19	0.13	0.40
2015	5	31	58,121.28	28,242.98	50,544.72	22,301.74	178.96	0.19	0.11	0.40
2015	6	30	56,246.40	33,419.74	49,115.52	15,695.78	146.97	0.19	0.13	0.40
2015	7	31	58,121.28	31,320.91	52,987.68	21,666.77	169.18	0.19	0.11	0.40
2015	8	31	58,121.28	33,825.96	51,696.72	17,870.76	152.83	0.19	0.13	0.40
2015	9	30	56,246.40	33,070.80	51,307.92	18,237.12	155.15	0.19	0.12	0.40
2015	10	31	58,121.28	33,076.01	44,553.60	11,477.59	134.70	0.19	0.14	0.40
2015	11	30	56,246.40	29,295.00	40,555.44	11,260.44	138.44	0.19	0.14	0.40
2015	12	31	58,121.28	25,227.55	38,335.88	13,108.33	151.96	0.19	0.13	0.40
2016	1	31	58,121.28	25,149.43	33,701.00	8,551.57	134.00	0.19	0.14	0.40
2016	2	29	54,371.52	28,117.99	32,714.00	4,596.01	116.35	0.19	0.17	0.40
2016	3	31	58,121.28	26,008.75	35,608.00	9,599.25	136.91	0.19	0.14	0.40
2016	4	30	56,246.40	28,560.67	34,460.00	5,899.33	120.66	0.19	0.16	0.40
2016	5	31	58,121.28	26,967.02	43,279.00	16,311.98	160.49	0.19	0.12	0.40
2016	6	30	56,246.40	32,148.98	40,960.00	8,811.02	127.41	0.19	0.15	0.40
2016	7	31	58,121.28	26,888.90	41,824.00	14,935.10	155.54	0.19	0.12	0.40
<b>TOTAL</b>			<b>1,768,011.84</b>	<b>857,249.26</b>	<b>1,260,176.97</b>	<b>402,927.71</b>				
<b>AVERAGE</b>			<b>57,032.64</b>	<b>27,653.20</b>	<b>40,650.87</b>	<b>12,997.67</b>	<b>147.89</b>	<b>0.19</b>	<b>0.13</b>	<b>0.40</b>
<b>MINIMUM</b>			<b>52,496.64</b>	<b>14,884.46</b>	<b>18,777.00</b>	<b>-2,433.20</b>	<b>88.53</b>	<b>0.19</b>	<b>0.09</b>	<b>0.40</b>
<b>MAXIMUM</b>			<b>58,121.28</b>	<b>34,000.22</b>	<b>52,994.00</b>	<b>25,042.66</b>	<b>203.57</b>	<b>0.19</b>	<b>0.22</b>	<b>0.40</b>

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Pada Tabel 5.30 ditunjukkan daftar riwayat produksi air pada Rumah Pompa Supit Urang. Kolom yang ada pada tabel tersebut antara lain produksi maksimal sesuai *nameplate*, produksi seharusnya sesuai konsumsi P, produksi terukur, deviasi produksi dari seharusnya, dan perbandingan SEC terukur dengan ideal.

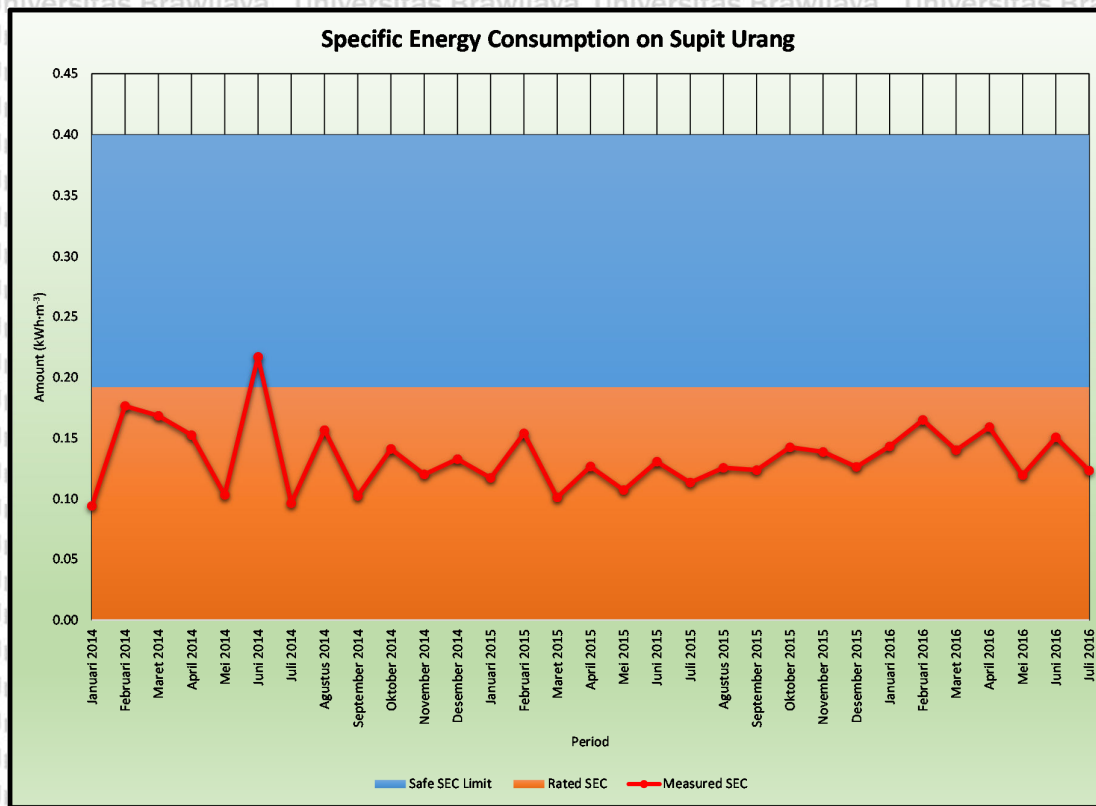


Gambar 5.56 Grafik riwayat produksi air pada Rumah Pompa Supit Urang

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Melengkapi Tabel 5.30, Gambar 5.56 menunjukkan riwayat produksi air secara visual, dan Gambar 5.57 menyatakan riwayat SEC yang terukur secara visual. Produksi air yang terjadi di Rumah Pompa Istana Dieng rata-rata adalah 147,89% bila dibandingkan dengan seharusnya, jadi produksi melampaui kemampuan maksimumnya. Dari grafik yang terbentuk, tren yang ada cenderung konstan. SEC yang dihasilkan sudah memenuhi syarat, yaitu rata-rata  $0,13 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$  bila dibandingkan dengan ketentuan Kementerian ESDM sebesar maksimal  $0,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , meskipun ada dua bulan di mana SEC melampaui batas sedikit.





Gambar 5.57 Grafik riwayat SEC pada Rumah Pompa Supit Urang.

Sumber : Olahan data PDAM Kota Malang, 2017.

Dari hasil analisis disimpulkan Rumah Pompa Supit Urang tidak memerlukan rekomendasi, penambahan kapasitor, penambahan VFD, ataupun perbaikan motor pompa.

#### 5.4 Analisis Perbandingan Pengukuran

Seperti halnya analisis yang telah dilakukan pada Sub Bab 5.3, berikut ini akan disajikan validasi data pembacaan kWh meter dan kVARh meter yang ada di Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, Wendit 3, dan Mojolangu. Keempat rumah pompa tersebut dipilih karena bisa dikonfirmasi dengan adanya voltmeter dan amperemeter di setiap motor pompa dan data tersebut dicatat secara otomatis pada *data logger* dengan sela waktu pengukuran setiap satu jam.

Tidak semua data dapat diakses bebas karena protokol keamanan, sehingga dalam penelitian ini dipilih *data log* pada satu bulan untuk dibandingkan dengan data pembacaan kWh meter dan kVARh meter PLN. Data log yang diijinkan untuk diakses adalah per bulan Juli 2016 pada Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, Wendit 3, dan Mojolangu. Untuk isi dari *data log* pada bulan tersebut disajikan pada Lampiran 1, Lampiran 2, Lampiran 3, dan Lampiran 4.

Metode untuk melakukan pengukuran tersebut adalah dengan menjumlahkan hasil perkalian tegangan dengan arus tiap motor pompa dengan  $\sqrt{3}$  dari setiap jam pengukuran. Karena sela waktu pengukuran adalah satu jam, maka satu kali pengukuran sudah mewakili nilai jam (h) dari kW dan kVAr.

$$W_P(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{3} \cdot V_{Lt} \cdot I_{Lt} \cdot \cos \varphi dt \dots\dots\dots (5-6)$$

$$W_Q(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{3} \cdot V_{Lt} \cdot I_{Lt} \cdot \sin \varphi dt \dots\dots\dots (5-7)$$

Dengan:

$W_P$  = energi dari daya aktif yang diterima dalam sela waktu  $t_0$  hingga  $t_1$  (Wh)

$W_Q$  = energi dari daya reaktif yang diterima dalam sela waktu  $t_0$  hingga  $t_1$  (VArh)

$V_{Lt}$  = pengukuran tegangan tiga fasa sesaat pada waktu t (V)

$I_{Lt}$  = pengukuran arus tiga fasa sesaat pada waktu t (A)

$\varphi$  = sudut keterlambatan arus terhadap tegangan

Pada Persamaan (5-6) ditunjukkan cara untuk mendapatkan energi dari daya aktif yang diterima dalam sela waktu tertentu, sementara Persamaan (5-7) menunjukkan cara yang sama untuk energi dari daya reaktif. Kedua persamaan tersebut merupakan fungsi kontinyu. Untuk sela pengukuran yang diskrit seperti pada penelitian ini, maka bisa digunakan cara seperti pada Persamaan (5-8) dan Persamaan (5-9).

$$W_P(t_0, t_1) = \sum_{t=t_0}^{t_1} \sqrt{3} \cdot V_{Lt} \cdot I_{Lt} \cdot \cos \varphi \cdot dt \dots\dots\dots (5-8)$$

$$W_Q(t_0, t_1) = \sum_{t=t_0}^{t_1} \sqrt{3} \cdot V_{Lt} \cdot I_{Lt} \cdot \sin \varphi \cdot dt \dots\dots\dots (5-9)$$

Dengan:

$W_P$  = energi dari daya aktif yang diterima dalam sela waktu  $t_0$  hingga  $t_1$  (Wh)

$W_Q$  = energi dari daya reaktif yang diterima dalam sela waktu  $t_0$  hingga  $t_1$  (VArh)

$V_{Lt}$  = pengukuran tegangan tiga fasa sesaat pada waktu t (V)

$I_{Lt}$  = pengukuran arus tiga fasa sesaat pada waktu t (A)

$\varphi$  = sudut keterlambatan arus terhadap tegangan

Dengan kata lain, Persamaan (5-8) merupakan versi diskrit dari Persamaan (5-6), sedangkan Persamaan (5-9) merupakan versi diskrit dari Persamaan (5-7).



#### 5.4.1 Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 1

Pada Rumah Pompa Wendit 1, terdapat *data log* untuk motor pompa 1, motor pompa 2, motor pompa 3, dan motor pompa 4. Dari *data log* (Lampiran 1) dan pengukuran PLN (dari Tabel 5.4) didapatkan informasi seperti pada Tabel 5.31.

Tabel 5.31

Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 1 pada Juli 2016

	Data Log	PLN	Selisih
<b>Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Aktif (kWh)</b>	415,344.96	418,639.10	-3,294.14
<b>Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Reaktif (kVArh)</b>	277,708.04	279,957.93	-2,249.89

Dari hasil perbandingan tersebut, maka dapat dilihat bahwa selisih pengukuran *data log* dengan pengukuran PLN untuk energi dari daya aktif dan dari daya reaktif berturut-turut adalah -3.294,14 kWh dan -2.249,89 kVArh.

#### 5.4.2 Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 2

Pada Rumah Pompa Wendit 2, terdapat *data log* untuk motor pompa 1, motor pompa 2, motor pompa 3, dan motor pompa 4. Dari *data log* (Lampiran 2) dan pengukuran PLN (dari Tabel 5.7) didapatkan informasi seperti pada Tabel 5.32.

Tabel 5.32

Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 2 pada Juli 2016

	Data Log	PLN	Selisih
<b>Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Aktif (kWh)</b>	526,622.62	529,560.00	-2,937.38
<b>Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Reaktif (kVArh)</b>	241,314.90	242,592.00	-1,277.10

Dari hasil perbandingan tersebut, maka dapat dilihat bahwa selisih pengukuran *data log* dengan pengukuran PLN untuk energi dari daya aktif dan dari daya reaktif berturut-turut adalah -2.937,38 kWh dan -1.277,10 kVArh.

### 5.4.3 Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 3

Pada Rumah Pompa Wendit 3, terdapat *data log* untuk motor pompa 1, motor pompa 2, motor pompa 3, motor pompa 4, dan motor pompa 5. Dari *data log* (Lampiran 3) dan pengukuran PLN (dari Tabel 5.10) didapatkan informasi seperti pada Tabel 5.33.

Tabel 5.33  
Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Wendit 3 pada Juli 2016

	Data Log	PLN	Selisih
Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Aktif (kWh)	415,688.53	410,380.90	5,307.64
Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Reaktif (kVArh)	230,554.08	227,582.07	2,972.02

Dari hasil perbandingan tersebut, maka dapat dilihat bahwa selisih pengukuran *data log* dengan pengukuran PLN untuk energi dari daya aktif dan dari daya reaktif berturut-turut adalah 5.307,64 kWh dan 2.972,02 kVArh.

### 5.4.4 Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Mojolangu

Pada Rumah Pompa Mojolangu, terdapat *data log* untuk motor pompa 1, motor pompa 2, motor pompa 3, motor pompa 4, motor pompa 5, dan motor pompa 6. Dari *data log* (Lampiran 4) dan pengukuran PLN (dari Tabel 5.13 dan Tabel 5.15) didapatkan informasi seperti pada Tabel 5.34.

Tabel 5.34  
Perbandingan Pengukuran Rumah Pompa Mojolangu pada Juli 2016

	Data Log	PLN	Selisih
Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Aktif (kWh)	237,854.06	240,456.00	-2,601.94
Konsumsi Energi Satu Bulan dari Daya Reaktif (kVArh)	47,561.08	48,464.00	-902.92

Dari hasil perbandingan tersebut, maka dapat dilihat bahwa selisih pengukuran *data log* dengan pengukuran PLN untuk energi dari daya aktif dan dari daya reaktif berturut-turut adalah -2.601,94 kWh dan -902,92 kVArh.



## 5.5 Analisis Percobaan Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan *software* ETAP, yang bertujuan menggambar *one-line diagram* dan menentukan aliran daya aktif dan reaktif (*load flow*) ketika dilakukan pemasangan kapasitor pada bus ataupun VFD pada motor pompa. Selain itu, simulasi juga menentukan bagaimana kecepatan motor pompa, slip motor pompa, beban (arus) motor pompa, dan tegangan pada sambungan motor pompa terhadap waktu pada saat motor pompa mulai berputar (*motor starting event*).

Pada simulasi jenis *load flow*, akan digambarkan *one-line diagram* dan dilakukan empat jenis simulasi:

1. Simulasi *load flow* dengan pemasangan kapasitor pada pengukuran PLN.

Pada simulasi ini akan dipasang kapasitor pada setiap bus MDP untuk menekan daya reaktif hingga mendekati nol. Data pada simulasi ini menggunakan hasil pengukuran PLN, yaitu pemakaian berdasarkan rekening listrik bulanan seperti telah dijelaskan pada Sub Bab 5.3.

2. Simulasi *load flow* dengan pemasangan VFD pada pengukuran PLN.

Pada simulasi ini akan dipasang VFD pada setiap motor untuk menurunkan daya reaktif. Data pada simulasi ini menggunakan hasil pengukuran PLN, yaitu pemakaian berdasarkan rekening listrik bulanan seperti telah dijelaskan pada Sub Bab 5.3.

3. Simulasi *load flow* dengan pemasangan kapasitor pada pengukuran langsung dari *data logger* PDAM.

Pada simulasi ini akan dipasang kapasitor pada setiap bus MDP untuk menekan daya reaktif hingga mendekati nol. Data pada simulasi ini menggunakan hasil pengukuran PDAM, yaitu pemakaian berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* per motor seperti telah dijelaskan pada Sub Bab 5.4.

4. Simulasi *load flow* dengan pemasangan VFD pada pengukuran langsung dari *data logger* PDAM.

Pada simulasi ini akan dipasang VFD pada setiap motor untuk menurunkan daya reaktif. Data pada simulasi ini menggunakan hasil pengukuran PDAM, yaitu pemakaian berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* per motor seperti telah dijelaskan pada Sub Bab 5.4.



Semua simulasi tersebut akan menggunakan skenario kondisi umum, yakni kondisi yang paling sering terjadi pada semua rumah pompa. Pada rumah pompa yang mengoperasikan sebagian dari seluruh pompanya, maka akan dibuat kondisi operasional sebagian motor pompa tersebut dengan cara membuka CB (*circuit breaker*) pada motor pompa yang tidak beroperasi. Karena pengukuran langsung *data logger* hanya bisa didapatkan dari Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, Wendit 3, dan Mojolangu, maka simulasi *load flow* poin ke-3 dan poin ke-4 hanya akan diulas pada keempat rumah pompa tersebut.

Pada simulasi jenis *motor starting*, akan digambarkan *one-line diagram* dan dilakukan dua jenis simulasi:

1. Simulasi *motor starting* dengan pemasangan kapasitor.

Pada simulasi ini akan dipasang kapasitor pada bus MDP dan akan diamati bagaimana perilaku arus, tegangan, kecepatan, akselerasi, dan slip motor pompa pada waktu dilakukan proses *starting*.

2. Simulasi *motor starting* dengan pemasangan VFD.

Pada simulasi ini akan dipasang VFD pada setiap motor pompa dan akan diamati bagaimana perilaku arus, tegangan, kecepatan, akselerasi, dan slip motor pompa pada waktu dilakukan proses *starting*.

Semua simulasi tersebut akan menggunakan skenario kondisi *starting*, yakni kondisi pada waktu terjadi *starting motor* pompa dan pergantian tugas motor pompa. Dalam simulasi ini, semua CB harus dalam kondisi tertutup.

### 5.5.1 Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3

Lampiran 1.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 berdasarkan pengukuran dari PLN. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 711 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 1.097 kW (daya aktif) dan sebesar 34 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 1 dan 4 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 3.

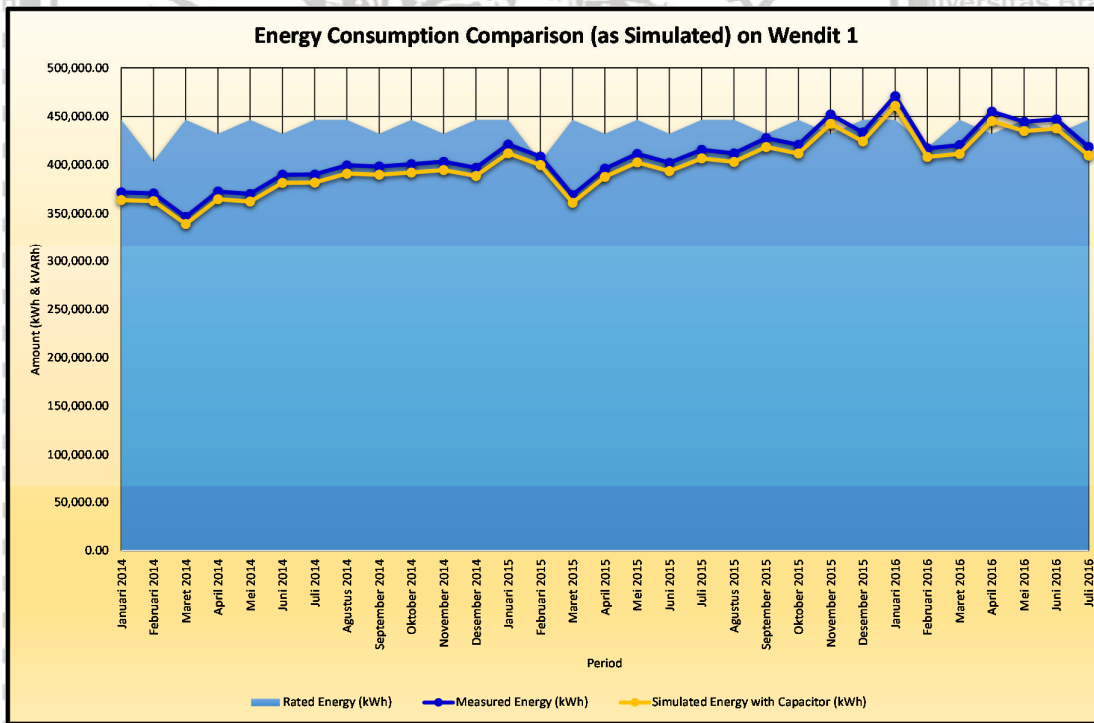
Lampiran 1.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 berdasarkan pengukuran dari PLN. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 1.121 kW (daya aktif) dan sebesar 784 kVAr (daya



reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 1 dan 4 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 3.

Pada kondisi operasional sesuai dengan pengukuran dari PLN, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya aktif sampai pada nilai 1.097 kW dan daya reaktif sampai pada nilai 34 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya aktif sampai pada nilai 1.121 kW dan daya reaktif sampai pada nilai 784 kVAr.

Lampiran 1.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 713 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 1.127 kW (daya aktif) dan sebesar 0,32 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 1 dan 4 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 3.

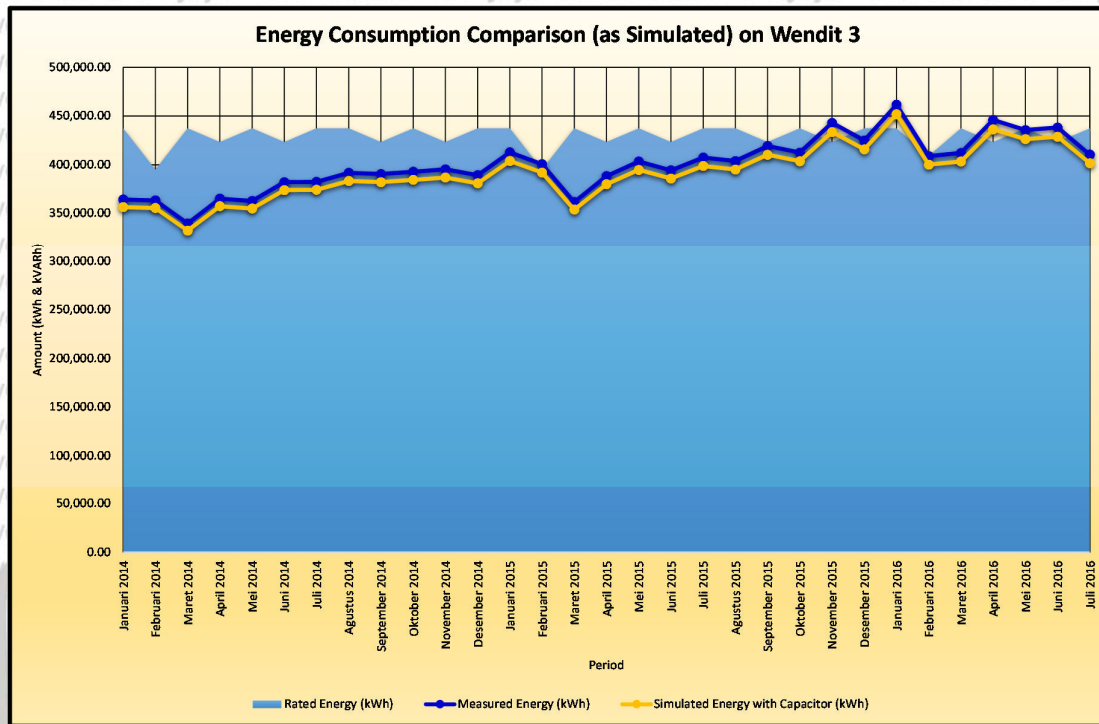


Gambar 5.58 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 1.

Sumber : Olahan data Simulasi ETAP, 2018.

Pada Gambar 5.58 ditunjukkan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya yang dibandingkan dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa

Wendit 1. Untuk grafik yang sama pada Rumah Pompa Wendit 3 ditampilkan pada Gambar 5.59.



Gambar 5.59 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 3.

Sumber : Olahan data Simulasi ETAP, 2018.

Lampiran 1.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 1.153 kW (daya aktif) dan sebesar 803 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 1 dan 4 motor pompa beroperasi pada Rumah Pompa Wendit 3.

Pada kondisi operasional sesuai dengan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya aktif sampai pada nilai 1.127 kW dan daya reaktif sampai pada nilai 0,32 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya aktif sampai pada nilai 1.153 kW dan daya reaktif sampai pada nilai 803 kVAr.



### 5.5.2 Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3

Simulasi *motor starting* yang dilakukan pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 didasarkan pada kondisi normal, yaitu:

1. Pada Rumah Pompa Wendit 1, terdapat 4 motor pompa, namun pada saat yang sama hanya 3 motor pompa beroperasi.
2. Pada Rumah Pompa Wendit 3, terdapat 5 motor pompa, namun pada saat yang sama hanya 4 motor pompa beroperasi.

Masing-masing rumah pompa menggunakan 1 motor pompa untuk *stand-by*, dengan motor pompa sisanya beroperasi secara bersamaan, sementara setiap 1.000 jam akan diadakan *rolling* pada giliran motor pompa. Dengan adanya kondisi tersebut, maka akan dibuat *event* yang menggambarkan motor pompa yang sedang beroperasi dialih tugaskan dengan satu motor pompa yang *stand-by*. Pada Tabel 5.35 ditunjukkan *event* yang menjadi skenario *motor starting* pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3.

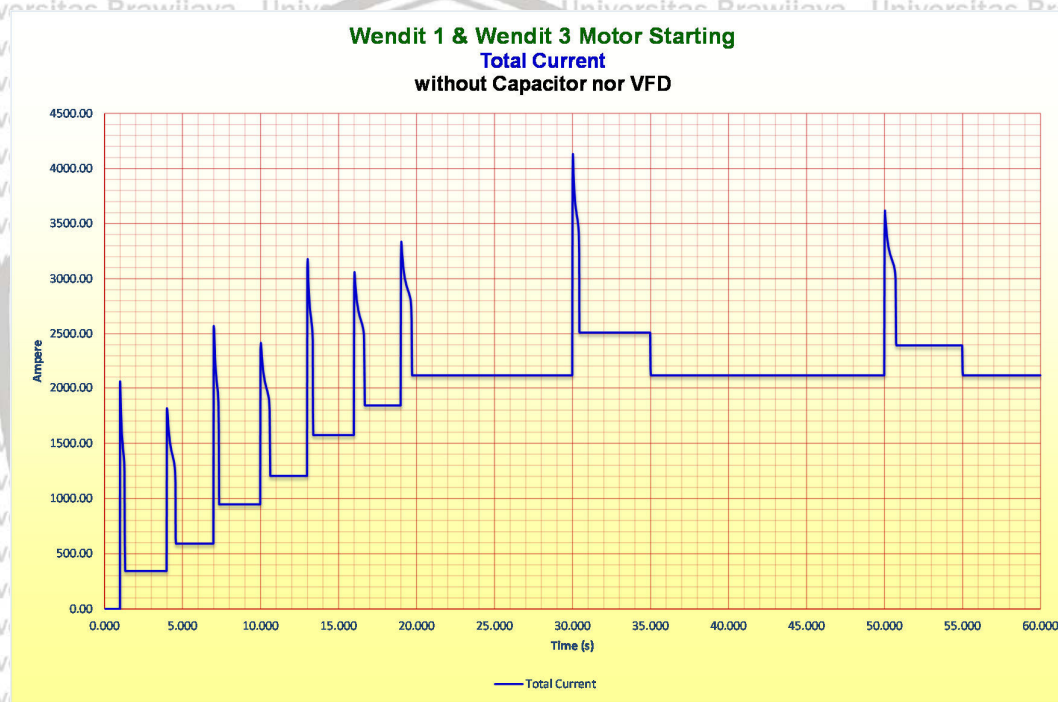
Tabel 5.35  
Event Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3

TIME (s)	MOTOR ID	EVENT
1.000	WENDIT.1.MOTOR.1	START
4.000	WENDIT.3.MOTOR.1	START
7.000	WENDIT.1.MOTOR.2	START
10.000	WENDIT.3.MOTOR.2	START
13.000	WENDIT.1.MOTOR.3	START
16.000	WENDIT.3.MOTOR.3	START
19.000	WENDIT.3.MOTOR.4	START
30.000	WENDIT.1.MOTOR.4	START
35.000	WENDIT.1.MOTOR.1	STOP
50.000	WENDIT.3.MOTOR.5	START
55.000	WENDIT.3.MOTOR.1	STOP

Sumber : Rencana Simulasi ETAP, 2017.

Kondisi normal yang terjadi pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 digambarkan pada waktu sekitar 25 s hingga 30 s, dan sekitar 40 s hingga 50 s, di mana ketiga motor pompa Wendit 1 beroperasi dan satu motor pompa Wendit 1 tidak beroperasi, serta keempat motor pompa Wendit 3 beroperasi dan satu motor pompa Wendit 3 tidak beroperasi. Transisi ketika terjadi pergantian tugas motor pompa pada Wendit 1 adalah pada 30 s hingga 35 s, serta pada Wendit 3 adalah pada 50 s hingga 55 s, di mana motor pompa yang sebelumnya tidak beroperasi di-*start* kemudian setelah stabil motor pompa yang digantikan di-*stop*.

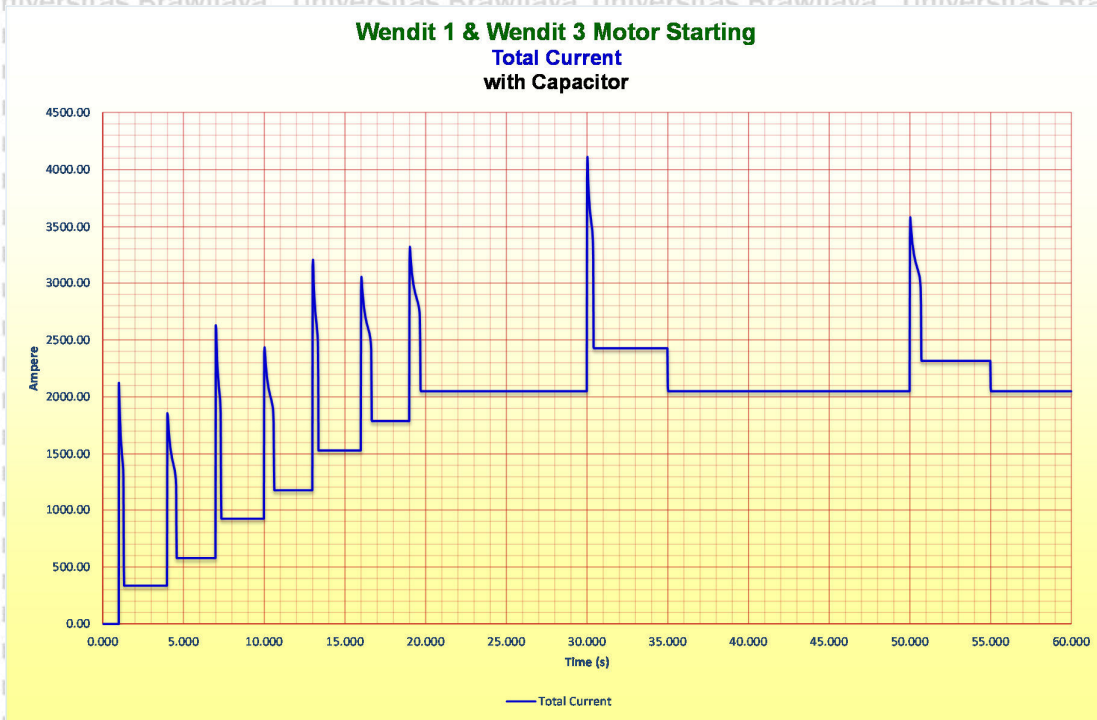
Dari *event* pada Tabel 5.35 yang disimulasikan, pada Gambar 5.60, Gambar 5.61, dan Gambar 5.62 ditunjukkan arus yang mengalir pada bus utama Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3. Kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor ataupun VFD ditunjukkan pada Gambar 5.60, sementara kondisi dengan menggunakan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5.61, dan kondisi dengan menggunakan VFD ditunjukkan pada Gambar 5.62. Pada kondisi normal, yaitu di titik antara 30 s hingga 35 s dan antara 50 s hingga 55 s, rata-rata arus yang mengalir adalah 2.115 A (tanpa kapasitor atau VFD), 2.069 A (menggunakan kapasitor), dan 2.243 A (menggunakan VFD).



Gambar 5.60 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.

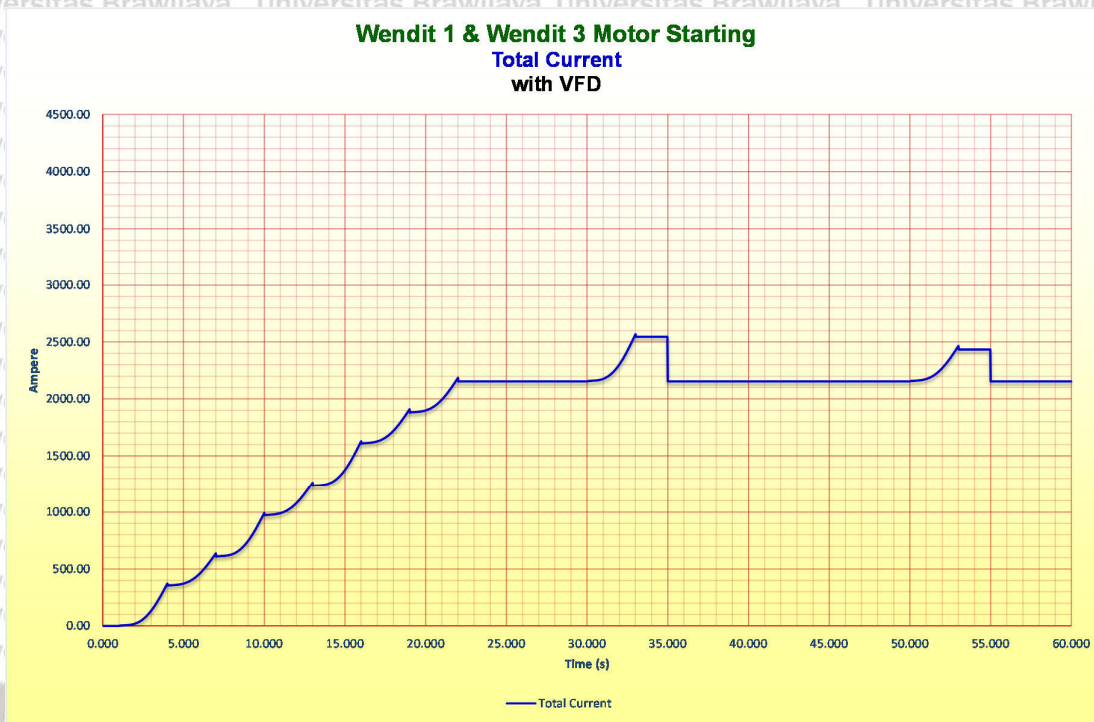
Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.





Gambar 5.61 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dengan kondisi menggunakan kapasitor.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

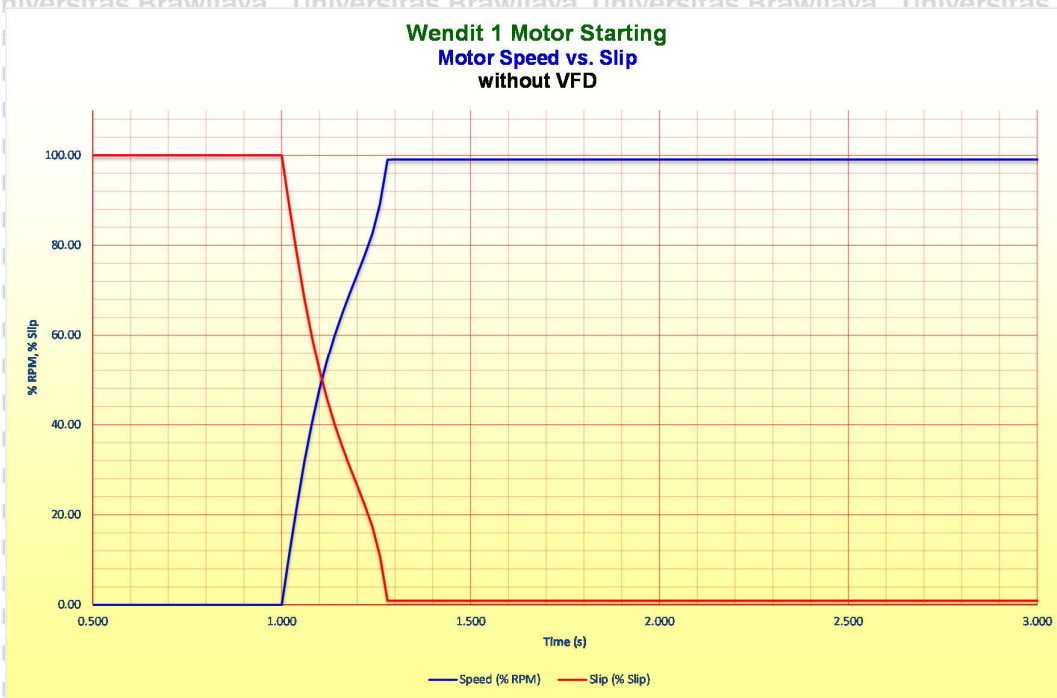


Gambar 5.62 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

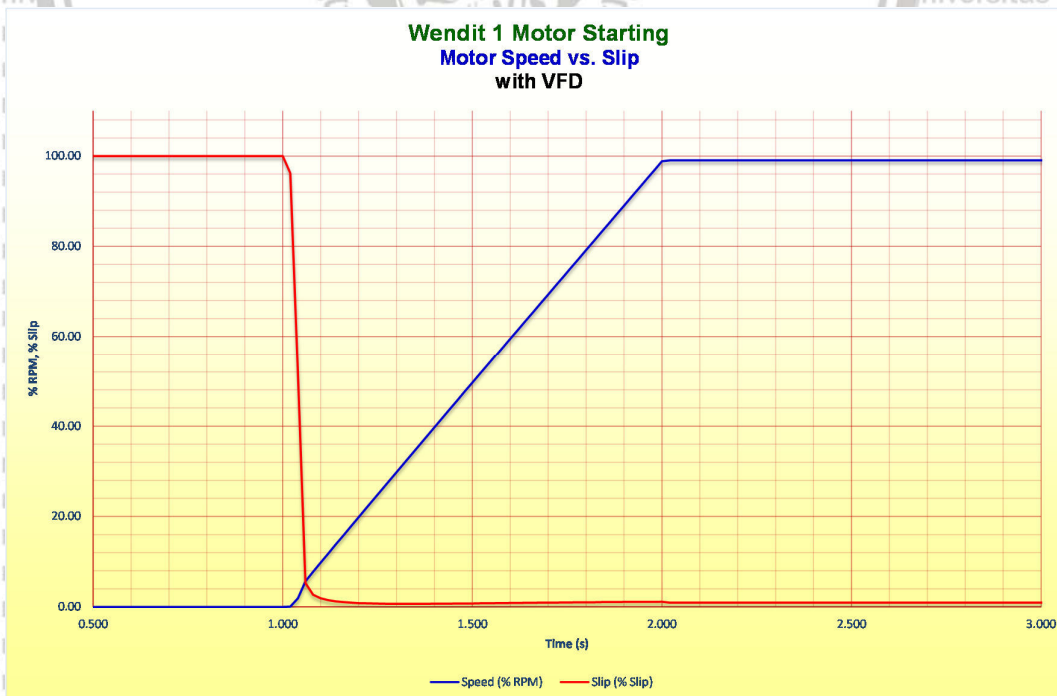
Ketiga grafik tersebut menggunakan skala yang sama, sehingga bisa langsung dibandingkan antara instalasi asli, pemakaian kapasitor, dan pemakaian VFD. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.60, pada instalasi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD, proses *start* motor pompa membutuhkan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi, dengan orde sekitar enam kali (600%) lebih tinggi dibandingkan FLA dari motor. Motor pertama Rumah Pompa Wendit 1 mengalami lonjakan arus *starting* hingga 2.058 A, sementara FLA yang dimilikinya adalah 343 A. Hal yang hampir sama juga terjadi pada instalasi menggunakan kapasitor, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.61, di mana lonjakan arus *starting* sama seperti yang dialami instalasi tanpa kapasitor. Bedanya adalah pada instalasi menggunakan kapasitor terjadi sedikit pengurangan arus karena daya reaktif yang telah diminimalisir oleh kapasitor (terjadi peningkatan faktor daya). Perbedaan nyata terjadi ketika instalasi menggunakan VFD pada setiap motor pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.62, yaitu lonjakan arus *starting* yang direduksi hingga 10%. Proses *starting* dengan menggunakan VFD ini sangat berbeda dengan *starting* tanpa VFD.





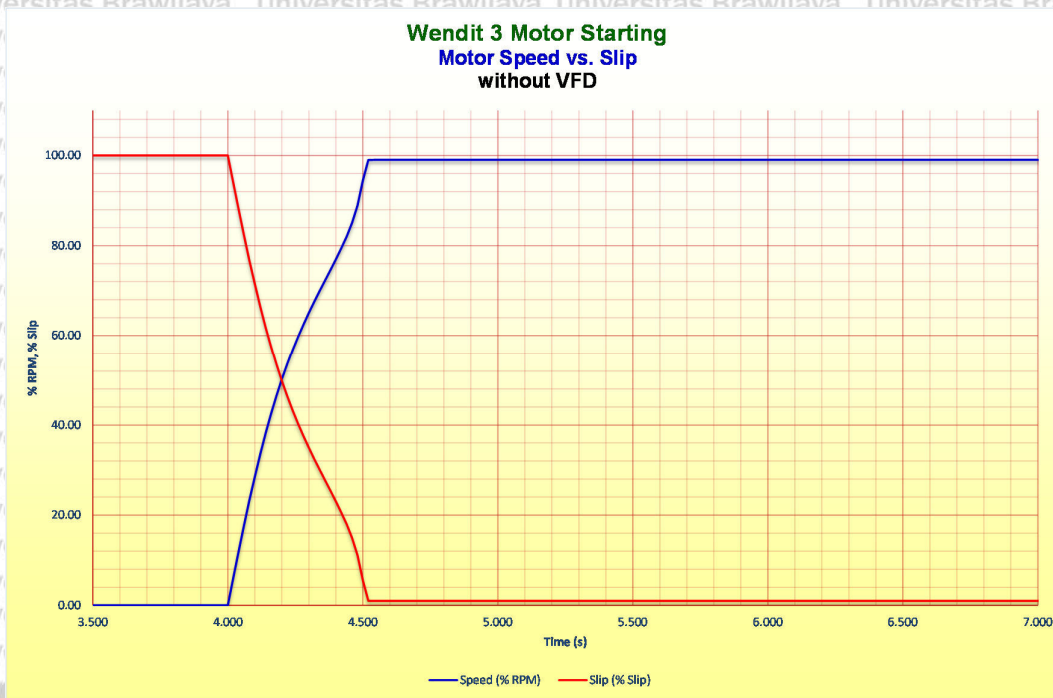
Gambar 5.63 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 1 yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

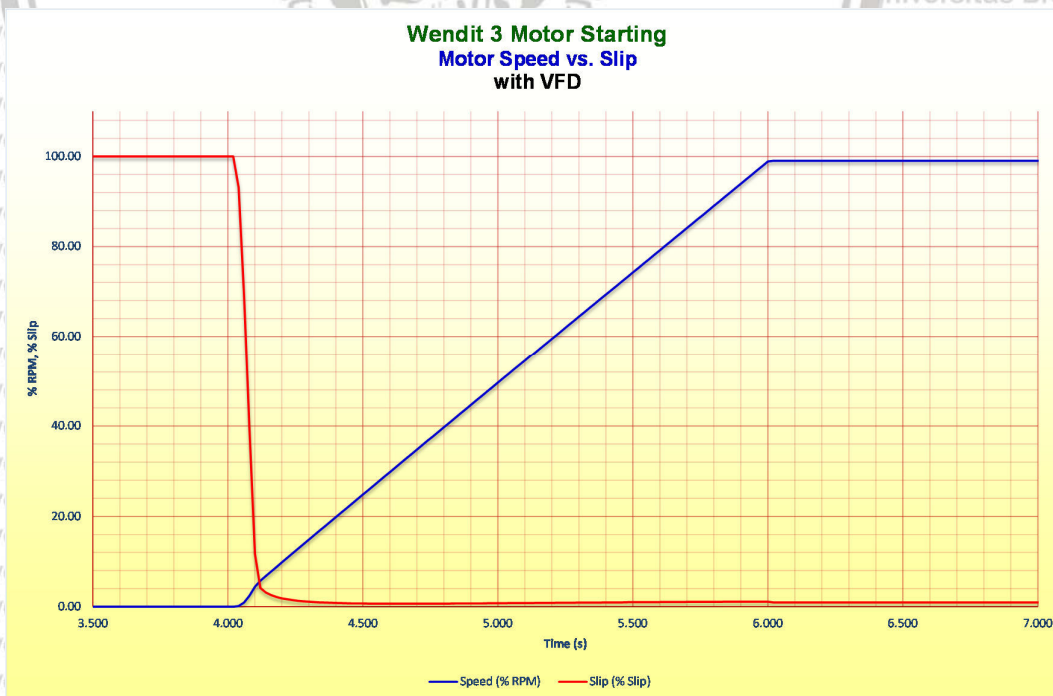


Gambar 5.64 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 1 yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.65 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 3 yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.  
 Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.66 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 3 yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.  
 Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Pada Gambar 5.63 dan Gambar 5.64 secara berurutan ditampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada salah satu motor pada Rumah Pompa Wendit 1 antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Gambar 5.65 dan Gambar 5.66 secara berurutan menampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada salah satu motor pada Rumah Pompa Wendit 3 antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Dari keempat grafik tersebut dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan VFD motor berakselerasi menuju kecepatan nominalnya lebih cepat dibandingkan bila menggunakan VFD, namun tanpa menggunakan VFD terjadi *slip* yang cukup besar di awal dan *slip* turun lebih lambat bila dibandingkan dengan menggunakan VFD. *Slip* yang tidak segera diturunkan inilah yang membuat lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi.

Penggunaan VFD dalam hal ini akan menolong menekan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi. Lonjakan arus *starting* tersebut bisa mengakibatkan daya aktif terserap melampaui kontrak daya terpasang, yang berakibat pengenaan denda kelebihan daya pada konsumen PLN. Tetapi untuk jadwal *starting* motor pompa yang cukup jarang per bulan tidak mengakibatkan kerugian yang signifikan bila dibandingkan dengan investasi pengadaan VFD. Pemasangan kapasitor akan lebih memberikan kontribusi positif pada penghematan energi yang digunakan pada kondisi normal.

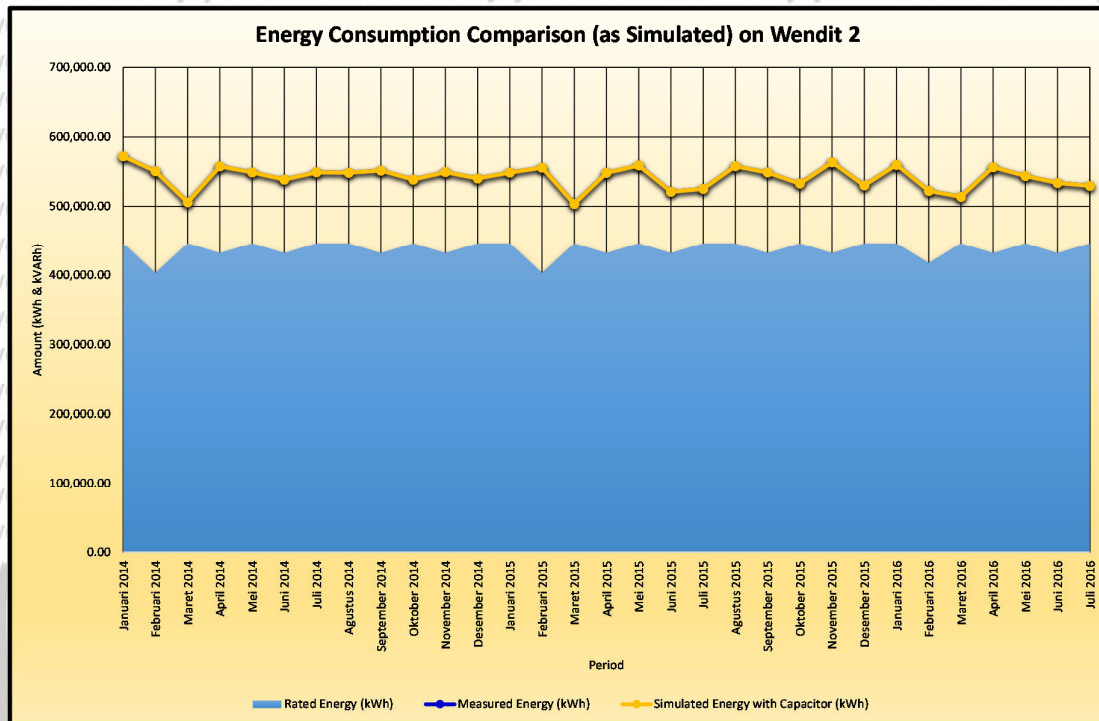
### 5.5.3 Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Wendit 2

Lampiran 2.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 2 berdasarkan pengukuran dari PLN. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 331 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 719 kW (daya aktif) dan sebesar 0,49 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi.

Lampiran 2.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Wendit 2 berdasarkan pengukuran dari PLN. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 719 kW (daya aktif) dan sebesar 391 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi.

Pada kondisi operasional berdasarkan pengukuran dari PLN, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai 0,49 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 391 kVAr. Pada Gambar 5.67 ditunjukkan riwayat konsumsi energi listrik

sesungguhnya yang dibandingkan dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 2.



Gambar 5.67 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 2.

Sumber : Olahan data Simulasi ETAP, 2018.

Lampiran 2.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Wendit 2 berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 330 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 715 kW (daya aktif) dan sebesar -0,11 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi.

Lampiran 2.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Wendit 2 berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 846 kW (daya aktif) dan sebesar 460 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 3 motor pompa beroperasi.

Pada kondisi operasional berdasarkan pengukuran dari PLN, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai -0,11



kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 460 kVAr.

#### 5.5.4 Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Wendit 2

Simulasi *motor starting* yang dilakukan pada Rumah Pompa Wendit 2 didasarkan pada kondisi normal, yaitu terdapat 4 motor pompa, namun pada saat yang sama hanya 3 motor pompa beroperasi. Rumah Pompa Wendit 2 menggunakan 1 motor pompa untuk *stand-by*, dengan motor pompa sisanya beroperasi secara bersamaan, sementara setiap 1.000 jam akan diadakan *rolling* pada giliran motor pompa. Dengan adanya kondisi tersebut, maka akan dibuat *event* yang menggambarkan motor pompa yang sedang beroperasi dialih tugaskan dengan satu motor pompa yang *stand-by*. Pada Tabel 5.36 ditunjukkan *event* yang menjadi skenario *motor starting* pada Rumah Pompa Wendit 2.

Tabel 5.36

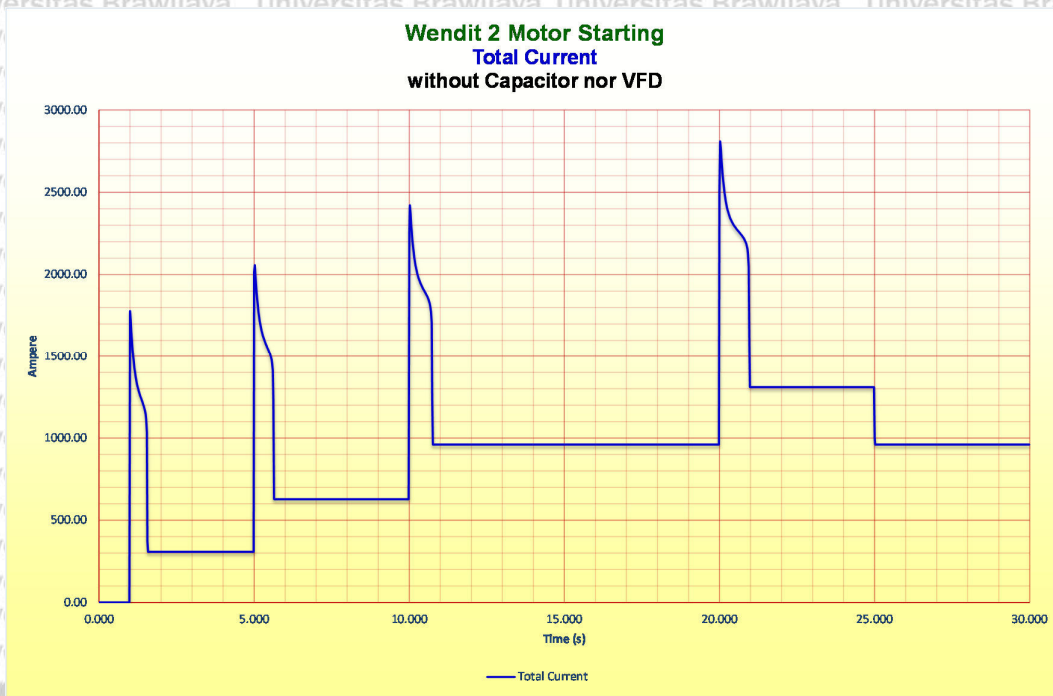
*Event* Simulasi *Motor Starting* pada Rumah Pompa Wendit 2

TIME (s)	MOTOR ID	EVENT
1.000	WENDIT.2.MOTOR.1	START
5.000	WENDIT.2.MOTOR.2	START
10.000	WENDIT.2.MOTOR.3	START
20.000	WENDIT.2.MOTOR.4	START
25.000	WENDIT.2.MOTOR.1	STOP

Sumber : Rencana Simulasi ETAP, 2017.

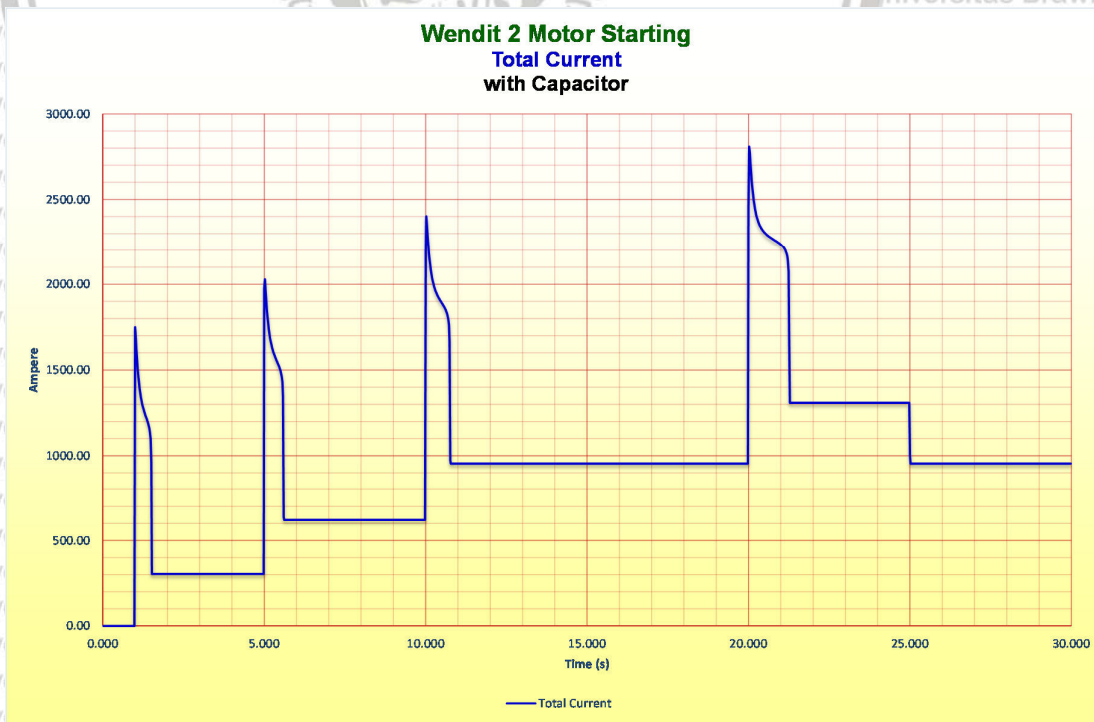
Kondisi normal yang terjadi pada Rumah Pompa Wendit 2 digambarkan pada waktu sekitar 15 s hingga 20 s, di mana ketiga motor pompa Wendit 2 beroperasi dan satu motor pompa Wendit 2 tidak beroperasi. Transisi ketika terjadi pergantian tugas motor pompa pada Wendit 2 adalah pada 20 s hingga 25 s, di mana motor pompa yang sebelumnya tidak beroperasi di-*start* kemudian setelah stabil motor pompa yang digantikan di-*stop*.

Dari *event* pada Tabel 5.36 yang disimulasikan, pada Gambar 5.68, Gambar 5.69, dan Gambar 5.70 ditunjukkan arus yang mengalir pada bus utama Rumah Pompa Wendit 2. Kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor ataupun VFD ditunjukkan pada Gambar 5.68, sementara kondisi dengan menggunakan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5.69, dan kondisi dengan menggunakan VFD ditunjukkan pada Gambar 5.70. Pada kondisi normal, yaitu di titik antara 15 s hingga 20 s, rata-rata arus yang mengalir adalah 960 A (tanpa kapasitor atau VFD), 944 A (menggunakan kapasitor), dan 992 A (menggunakan VFD).



Gambar 5.68 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 2 dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.

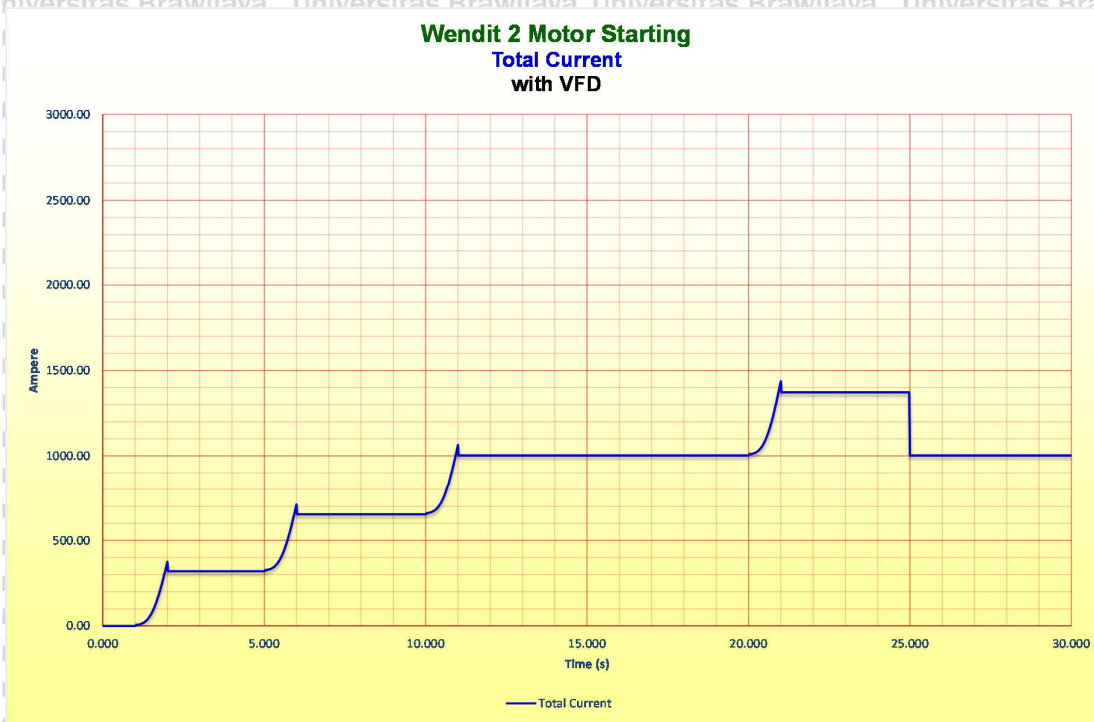
Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.69 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 2 dengan kondisi menggunakan kapasitor.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

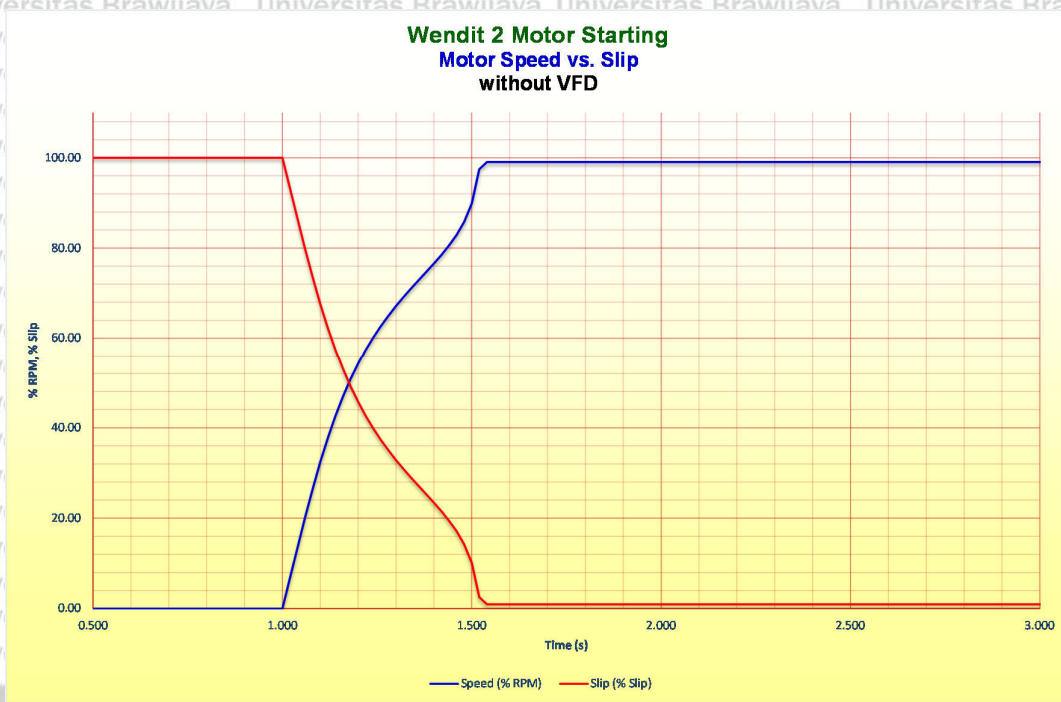




Gambar 5.70 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Wendit 2 dengan kondisi menggunakan VFD.

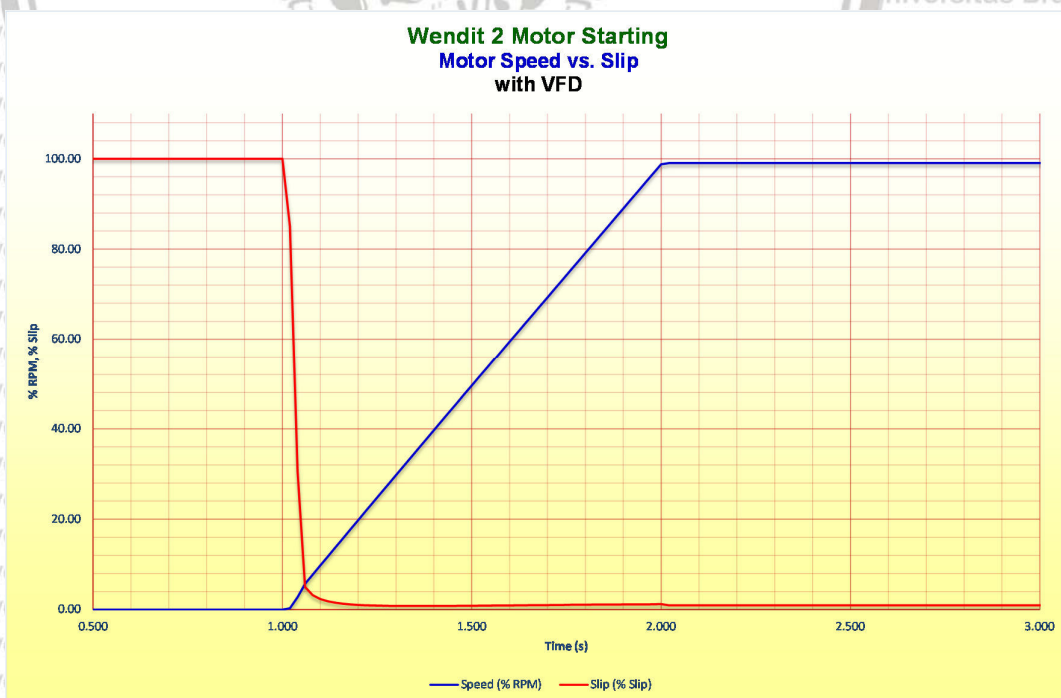
Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

Ketiga grafik tersebut menggunakan skala yang sama, sehingga bisa langsung dibandingkan antara instalasi asli, pemakaian kapasitor, dan pemakaian VFD. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.68, pada instalasi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD, proses *start* motor pompa membutuhkan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi, dengan orde sekitar enam kali (600%) lebih tinggi dibandingkan FLA dari motor. Motor pertama Rumah Pompa Wendit 2 mengalami lonjakan arus *starting* hingga 1.778 A, sementara FLA yang dimilikinya adalah 308 A. Hal yang hampir sama juga terjadi pada instalasi menggunakan kapasitor, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.69, di mana lonjakan arus *starting* sama seperti yang dialami instalasi tanpa kapasitor. Bedanya adalah pada instalasi menggunakan kapasitor terjadi sedikit pengurangan arus karena daya reaktif yang telah diminimalisir oleh kapasitor (terjadi peningkatan faktor daya). Perbedaan nyata terjadi ketika instalasi menggunakan VFD pada setiap motor pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.70, yaitu lonjakan arus *starting* yang direduksi hingga 10%. Proses *starting* dengan menggunakan VFD ini sangat berbeda dengan *starting* tanpa VFD.



Gambar 5.71 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 2 yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.72 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 2 yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Pada Gambar 5.71 dan Gambar 5.72 secara berurutan ditampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada salah satu motor pada Rumah Pompa Wendit 2 antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Dari kedua grafik tersebut dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan VFD motor berakselerasi menuju kecepatan nominalnya lebih cepat dibandingkan bila menggunakan VFD, namun tanpa menggunakan VFD terjadi *slip* yang cukup besar di awal dan *slip* turun lebih lambat bila dibandingkan dengan menggunakan VFD. *Slip* yang tidak segera diturunkan inilah yang membuat lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi.

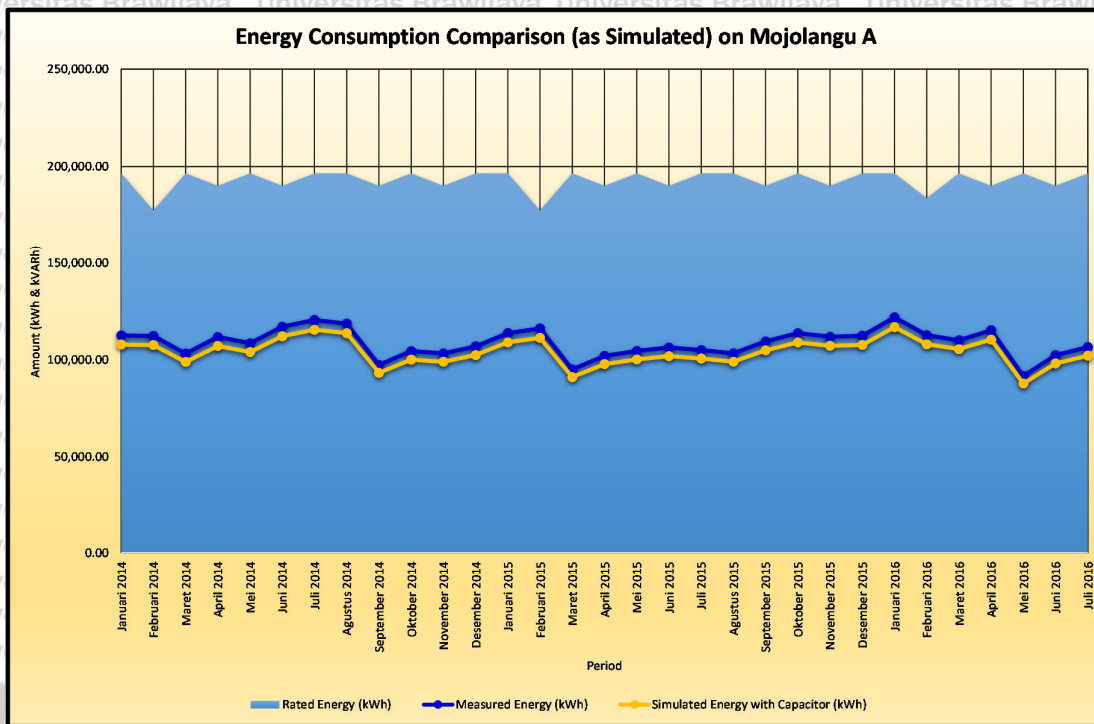
Penggunaan VFD dalam hal ini akan menolong menekan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi. Lonjakan arus *starting* tersebut bisa mengakibatkan daya aktif terserap melampaui kontrak daya terpasang, yang berakibat pengenaan denda kelebihan daya pada konsumen PLN. Tetapi untuk jadwal *starting* motor pompa yang cukup jarang per bulan tidak mengakibatkan kerugian yang signifikan bila dibandingkan dengan investasi pengadaan VFD. Pemasangan kapasitor akan lebih memberikan kontribusi positif pada penghematan energi yang digunakan pada kondisi normal.

### 5.5.5 Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Mojolangu

Lampiran 3.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Mojolangu berdasarkan pengukuran dari PLN. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 245 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 297 kW (daya aktif) dan sebesar 0,95 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 4 motor pompa beroperasi.

Lampiran 3.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Mojolangu berdasarkan pengukuran dari PLN. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 310 kW (daya aktif) dan sebesar 190 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 4 motor pompa beroperasi.

Pada kondisi operasional berdasarkan pengukuran dari PLN, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai 0,95 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 190 kVAr.

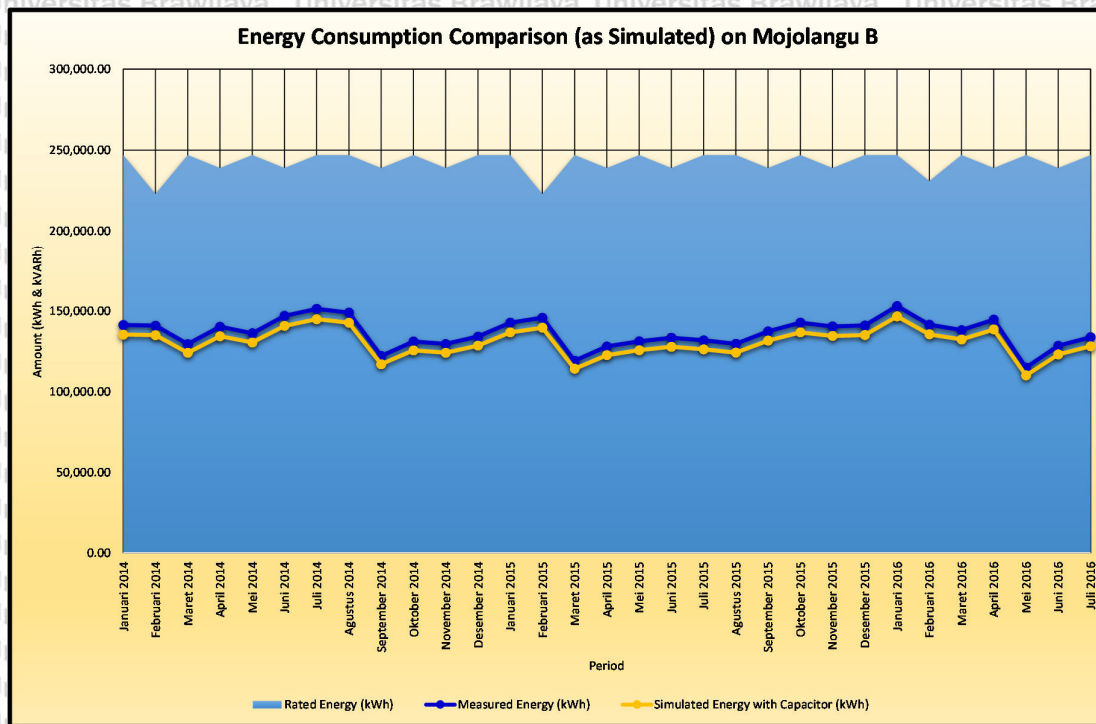


Gambar 5.73 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2018.

Pada Gambar 5.73 ditunjukkan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya yang dibandingkan dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster A. Grafik yang sama untuk Rumah Pompa Mojolangu Kluster B disajikan pada Gambar 5.74.





Gambar 5.74 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Mojolangu Kluster B.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2018.

Lampiran 3.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Mojolangu berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 64 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 321 kW (daya aktif) dan sebesar 0,18 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 4 motor pompa beroperasi.

Lampiran 3.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Mojolangu berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 336 kW (daya aktif) dan sebesar 206 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 4 motor pompa beroperasi.

Pada kondisi operasional berdasarkan pengukuran langsung dari *data logger* milik PDAM, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai 0,18 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 206 kVAr.

### 5.5.6 Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Mojolangu

Simulasi *motor starting* yang dilakukan pada Rumah Pompa Mojolangu didasarkan pada kondisi normal, yaitu terdapat 6 motor pompa, namun pada saat yang sama hanya 4 motor pompa beroperasi. Rumah Pompa Mojolangu menggunakan 2 motor pompa untuk *stand-by*, dengan motor pompa sisanya beroperasi secara bersamaan, sementara setiap 1.000 jam akan diadakan *rolling* pada giliran motor pompa. Dengan adanya kondisi tersebut, maka akan dibuat *event* yang menggambarkan motor pompa yang sedang beroperasi dialih tugaskan dengan satu motor pompa yang *stand-by*. Pada Tabel 5.37 ditunjukkan *event* yang menjadi skenario *motor starting* pada Rumah Pompa Mojolangu.

Tabel 5.37  
Event Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Mojolangu

TIME (s)	MOTOR ID	EVENT
1.000	MOJOLANGU.1.MOTOR.1	START
4.000	MOJOLANGU.2.MOTOR.1	START
7.000	MOJOLANGU.1.MOTOR.2	START
10.000	MOJOLANGU.2.MOTOR.2	START
15.000	MOJOLANGU.1.MOTOR.3	START
20.000	MOJOLANGU.1.MOTOR.1	STOP
25.000	MOJOLANGU.2.MOTOR.3	START
30.000	MOJOLANGU.2.MOTOR.1	STOP

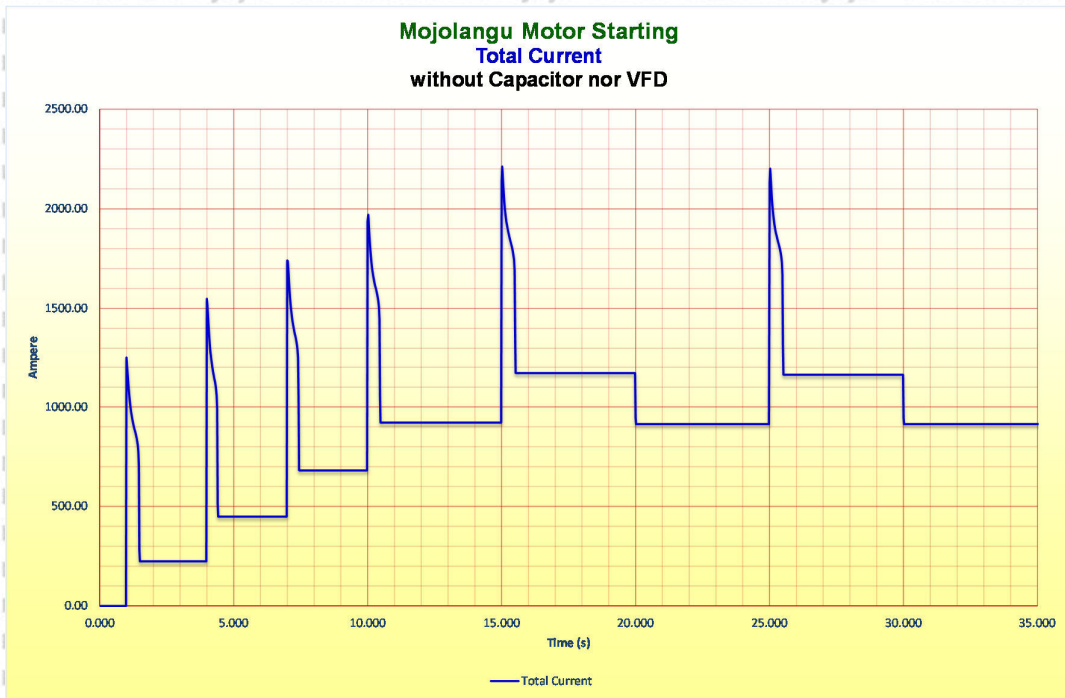
Sumber : Rencana Simulasi ETAP, 2017.

Kondisi normal yang terjadi pada Rumah Pompa Mojolangu digambarkan pada waktu sekitar 13 s hingga 15 s, di mana ketiga motor pompa Mojolangu kluster 1 beroperasi dan satu motor pompa Mojolangu kluster 1 tidak beroperasi, dan juga pada waktu sekitar 23 s hingga 25 s, di mana ketiga motor pompa Mojolangu kluster 2 beroperasi dan satu motor pompa Mojolangu kluster 2 tidak beroperasi. Transisi ketika terjadi pergantian tugas motor pompa pada Mojolangu kluster 1 adalah pada 15 s hingga 20 s dan pada Mojolangu kluster 2 adalah pada 25 s hingga 30 s, di mana motor pompa yang sebelumnya tidak beroperasi di-*start* kemudian setelah stabil motor pompa yang digantikan di-*stop*.

Dari *event* pada Tabel 5.37 yang disimulasikan, pada Gambar 5.75, Gambar 5.76, dan Gambar 5.77 ditunjukkan arus yang mengalir pada bus utama Rumah Pompa Mojolangu. Kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor ataupun VFD ditunjukkan pada Gambar 5.75, sementara kondisi dengan menggunakan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5.76, dan kondisi dengan menggunakan VFD ditunjukkan pada Gambar 5.77. Pada kondisi normal, yaitu di titik antara 15 s hingga 20 s dan 25 s hingga 30 s, rata-rata arus yang mengalir adalah



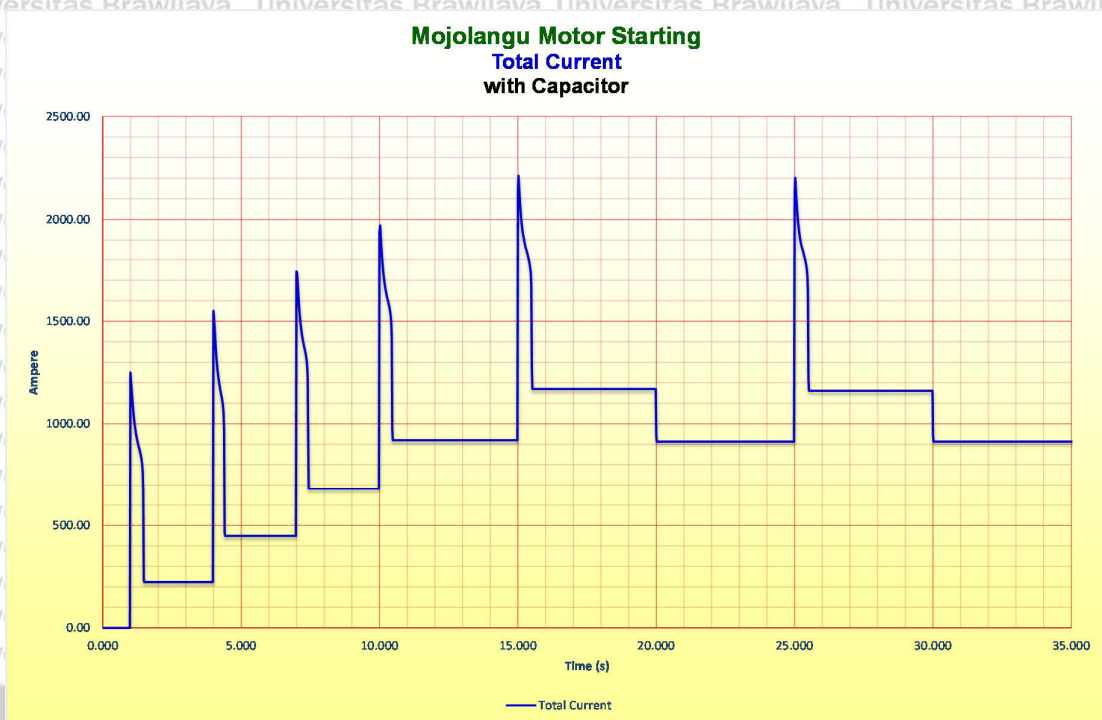
921 A (tanpa kapasitor atau VFD), 912 A (menggunakan kapasitor), dan 958 A (menggunakan VFD).



Gambar 5.75 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Mojolangu dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

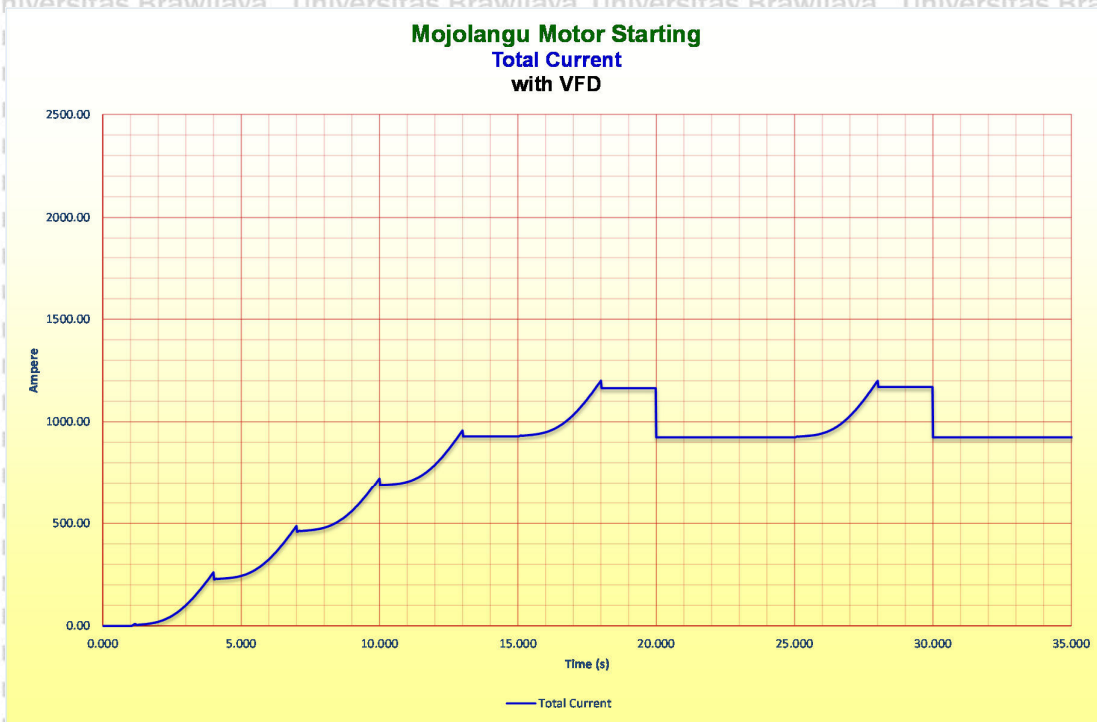




Gambar 5.76 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Mojolangu dengan kondisi menggunakan kapasitor.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

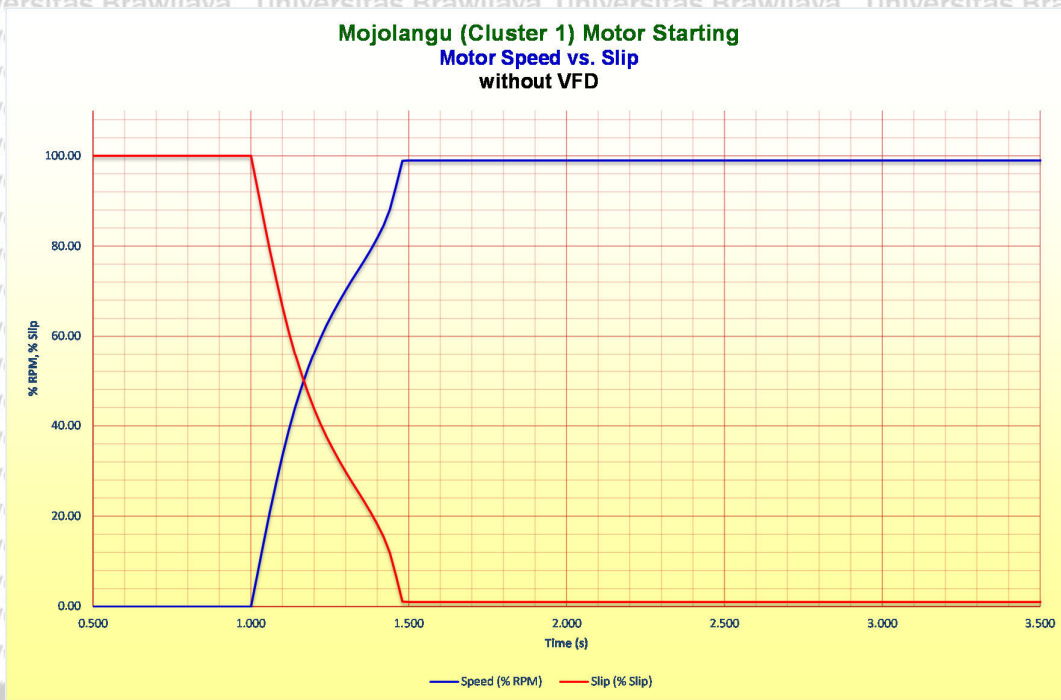




Gambar 5.77 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Mojolangu dengan kondisi menggunakan VFD.

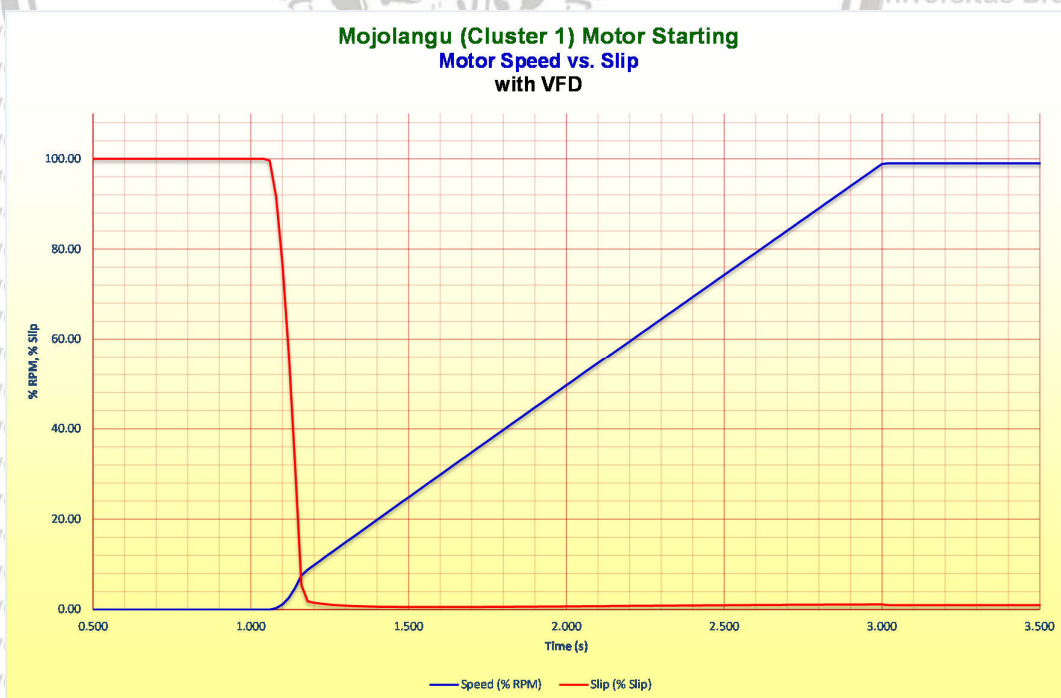
Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

Ketiga grafik tersebut menggunakan skala yang sama, sehingga bisa langsung dibandingkan antara instalasi asli, pemakaian kapasitor, dan pemakaian VFD. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.75, pada instalasi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD, proses start motor pompa membutuhkan lonjakan arus starting yang cukup tinggi, dengan orde sekitar enam kali (600%) lebih tinggi dibandingkan FLA dari motor. Motor pertama Rumah Pompa Mojolangu mengalami lonjakan arus starting hingga 1.248 A, sementara FLA yang dimilikinya adalah 224 A. Hal yang hampir sama juga terjadi pada instalasi menggunakan kapasitor, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.76, di mana lonjakan arus starting sama seperti yang dialami instalasi tanpa kapasitor. Bedanya adalah pada instalasi menggunakan kapasitor terjadi sedikit pengurangan arus karena daya reaktif yang telah diminimalisir oleh kapasitor (terjadi peningkatan faktor daya). Perbedaan nyata terjadi ketika instalasi menggunakan VFD pada setiap motor pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.78, yaitu lonjakan arus starting yang direduksi hingga 10%. Proses starting dengan menggunakan VFD ini sangat berbeda dengan starting tanpa VFD.



Gambar 5.78 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Mojolangu yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.79 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Mojolangu yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



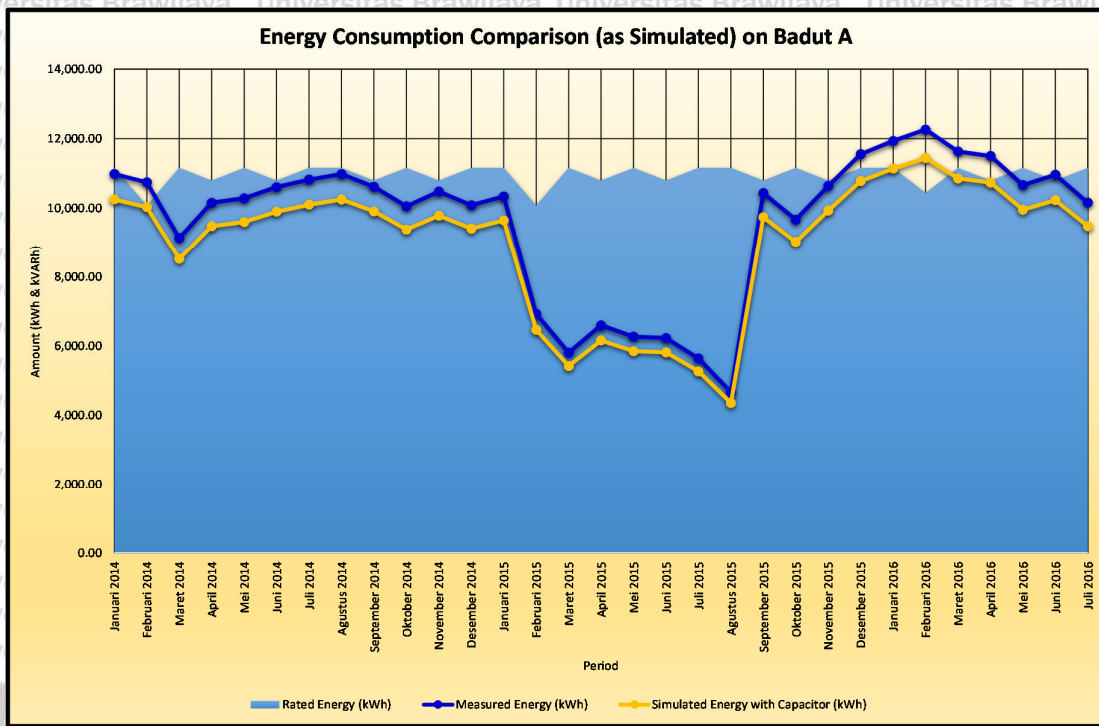
Pada Gambar 5.78 dan Gambar 5.79 secara berurutan ditampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada salah satu motor pada Rumah Pompa Mojolangu antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Dari kedua grafik tersebut dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan VFD motor berakselerasi menuju kecepatan nominalnya lebih cepat dibandingkan bila menggunakan VFD, namun tanpa menggunakan VFD terjadi *slip* yang cukup besar di awal dan *slip* turun lebih lambat bila dibandingkan dengan menggunakan VFD. *Slip* yang tidak segera diturunkan inilah yang membuat lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi.

Penggunaan VFD dalam hal ini akan menolong menekan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi. Lonjakan arus *starting* tersebut bisa mengakibatkan daya aktif terserap melampaui kontrak daya terpasang, yang berakibat pengenaan denda kelebihan daya pada konsumen PLN. Tetapi untuk jadwal *starting* motor pompa yang cukup jarang per bulan tidak mengakibatkan kerugian yang signifikan bila dibandingkan dengan investasi pengadaan VFD. Pemasangan kapasitor akan lebih memberikan kontribusi positif pada penghematan energi yang digunakan pada kondisi normal.

#### 5.5.7 Simulasi Load Flow pada rumah Pompa Badut

Lampiran 4.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Badut. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 15 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 28 kW (daya aktif) dan sebesar 3 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 2 motor pompa beroperasi.

Lampiran 4.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Badut. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 30 kW (daya aktif) dan sebesar 18 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 2 motor pompa beroperasi.

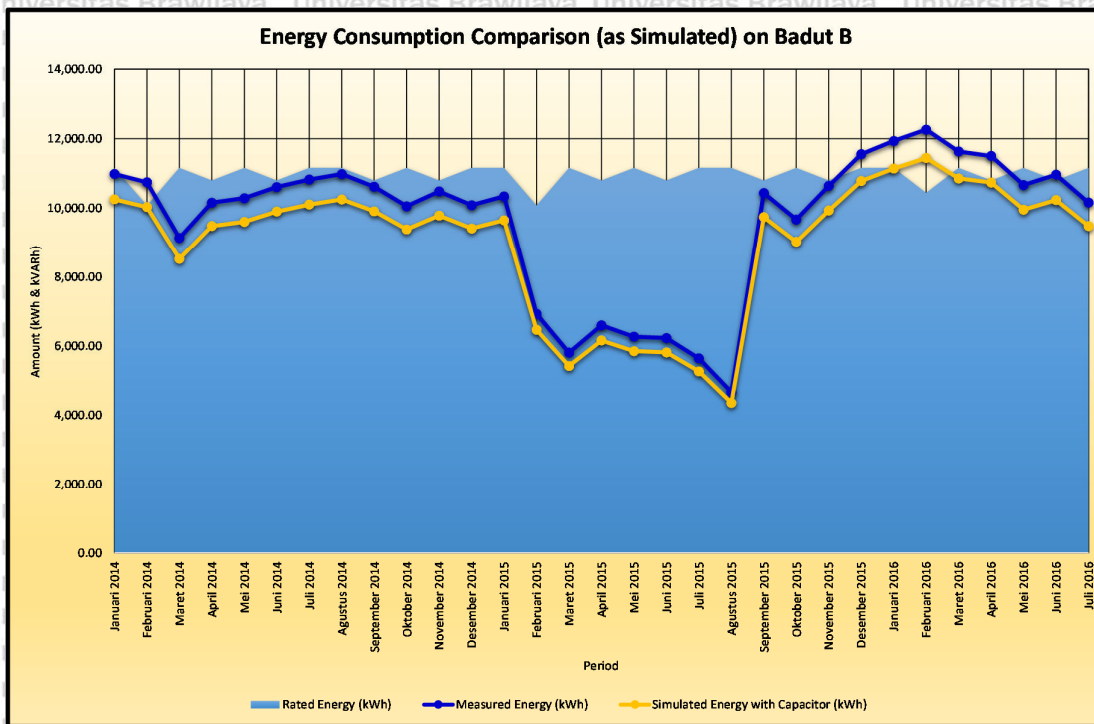


Gambar 5.80 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Badut Kluster A.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2018.

Pada Gambar 5.80 ditunjukkan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya yang dibandingkan dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Badut Kluster A. Grafik yang sama untuk Rumah Pompa Badut Kluster B disajikan pada Gambar 5.81.





Gambar 5.81 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Badut Kluster B.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2018.

Pada kondisi operasional, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai 3 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 18 kVAr.

### 5.5.8 Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Badut

Simulasi *motor starting* yang dilakukan pada Rumah Pompa Badut didasarkan pada kondisi normal, yaitu terdapat 2 motor pompa yang selalu beroperasi bersamaan. Dengan adanya kondisi tersebut, maka akan dibuat *event* yang menggambarkan motor pompa yang sedang beroperasi bersamaan. Pada Tabel 5.38 ditunjukkan *event* yang menjadi skenario *motor starting* pada Rumah Pompa Badut.

Tabel 5.38

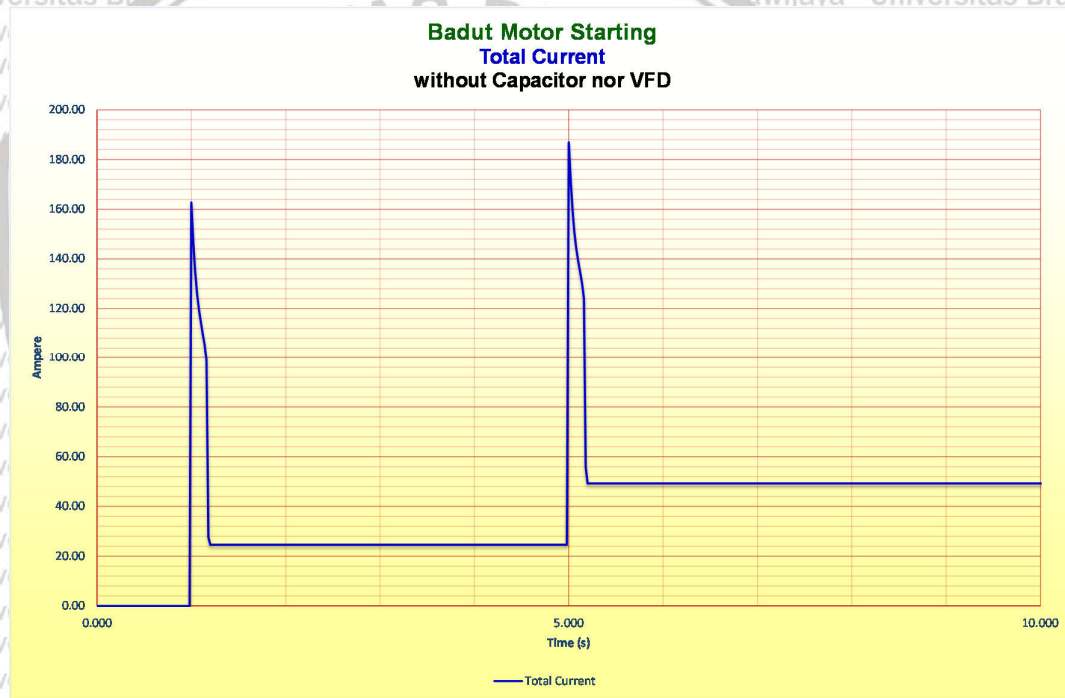
*Event* Simulasi *Motor Starting* pada Rumah Pompa Badut

TIME (s)	MOTOR ID	EVENT
1.000	BADUT.1.MOTOR.1	START
5.000	BADUT.2.MOTOR.1	START

Sumber : Rencana Simulasi ETAP, 2017.

Kondisi normal yang terjadi pada Rumah Pompa Badut digambarkan pada waktu sekitar 8 s hingga 10 s, di mana kedua motor pompa Badut beroperasi bersamaan. Tidak ada transisi dalam hal ini karena hanya terdapat dua motor pompa yang saling bekerja bersamaan.

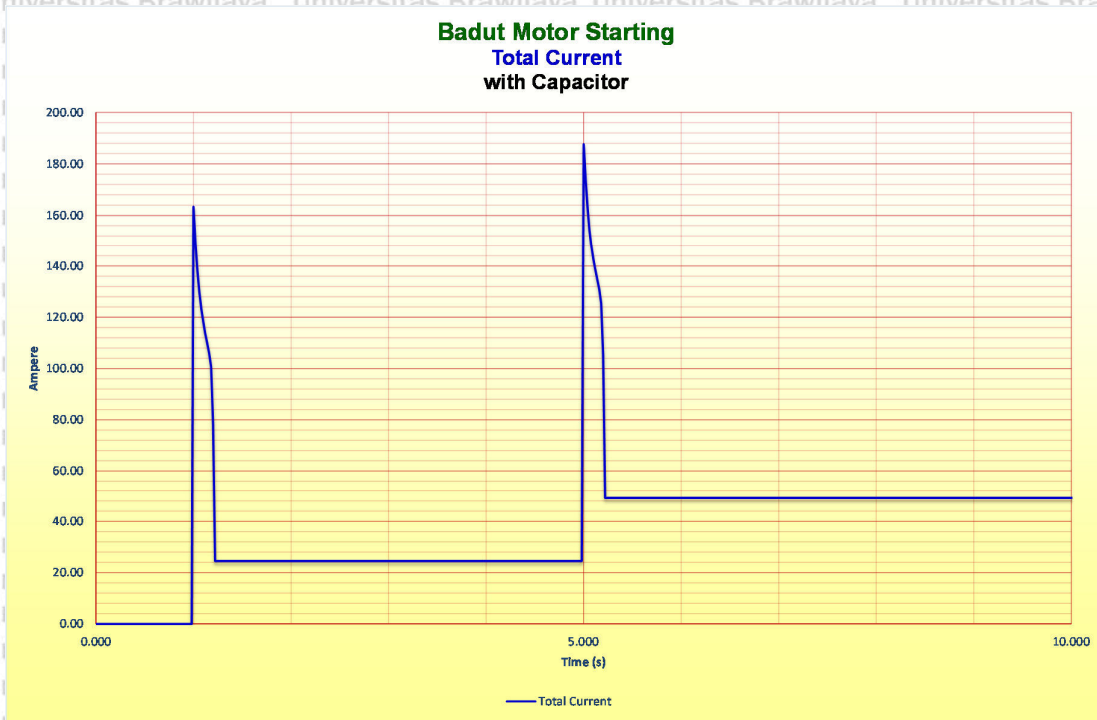
Dari *event* pada Tabel 5.38 yang disimulasikan, pada Gambar 5.82, Gambar 5.83, dan Gambar 5.84 ditunjukkan arus yang mengalir pada bus utama Rumah Pompa Badut. Kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor ataupun VFD ditunjukkan pada Gambar 5.82, sementara kondisi dengan menggunakan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5.83, dan kondisi dengan menggunakan VFD ditunjukkan pada Gambar 5.84. Pada kondisi normal, yaitu di titik antara 8 s hingga 10 s, rata-rata arus yang mengalir adalah 49 A (tanpa kapasitor atau VFD), 49 A (menggunakan kapasitor), dan 51 A (menggunakan VFD).



Gambar 5.82 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Badut dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.

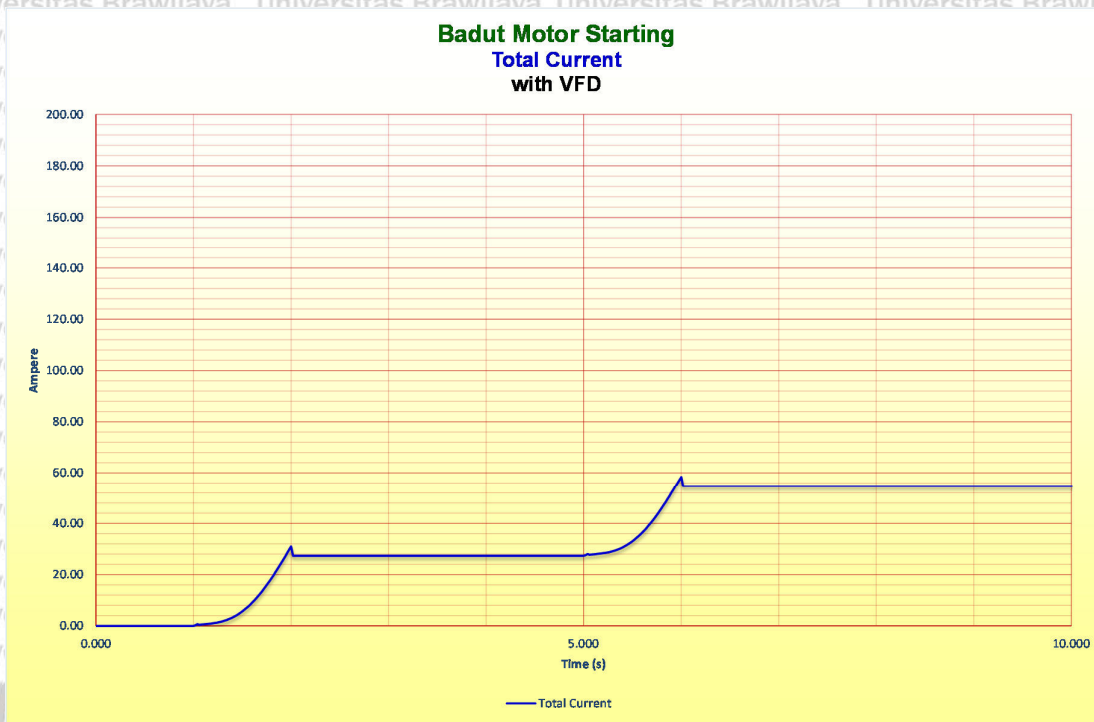
Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.





Gambar 5.83 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Badut dengan kondisi menggunakan kapasitor.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

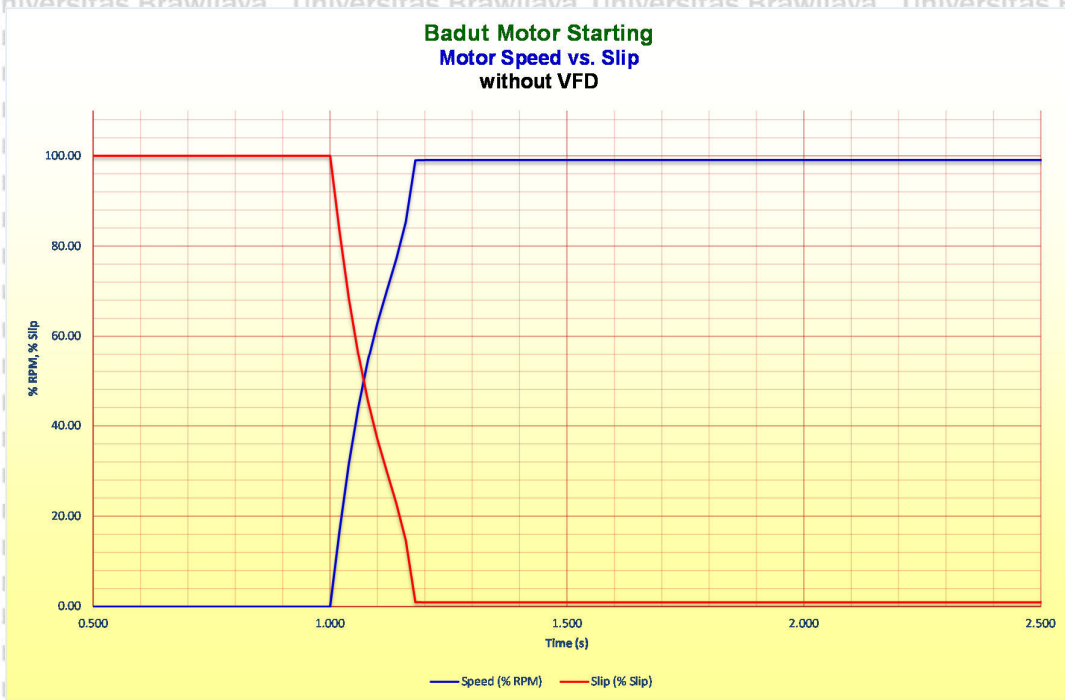


Gambar 5.84 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Badut dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

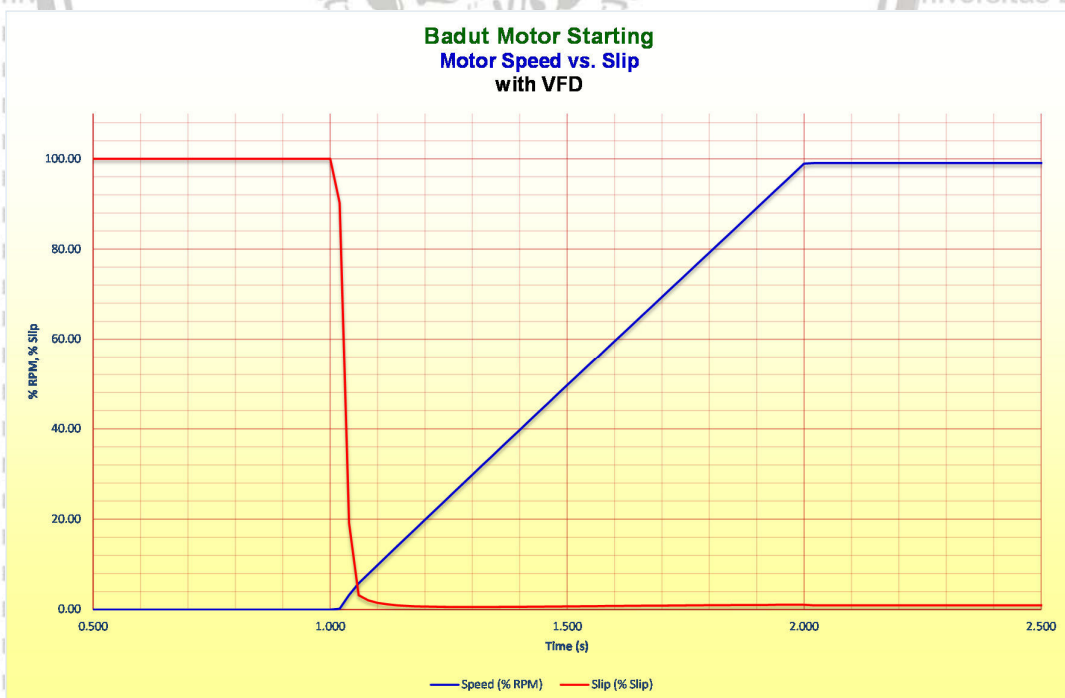
Ketiga grafik tersebut menggunakan skala yang sama, sehingga bisa langsung dibandingkan antara instalasi asli, pemakaian kapasitor, dan pemakaian VFD. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.82, pada instalasi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD, proses *start* motor pompa membutuhkan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi, dengan orde sekitar enam kali (600%) lebih tinggi dibandingkan FLA dari motor. Motor pertama Rumah Pompa Badut mengalami lonjakan arus *starting* hingga 162 A, sementara FLA yang dimilikinya adalah 25 A. Hal yang hampir sama juga terjadi pada instalasi menggunakan kapasitor, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.83, di mana lonjakan arus *starting* sama seperti yang dialami instalasi tanpa kapasitor. Bedanya adalah pada instalasi menggunakan kapasitor terjadi sedikit pengurangan arus karena daya reaktif yang telah diminimalisir oleh kapasitor (terjadi peningkatan faktor daya). Perbedaan nyata terjadi ketika instalasi menggunakan VFD pada setiap motor pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.84 yaitu lonjakan arus *starting* yang direduksi hingga 10%. Proses *starting* dengan menggunakan VFD ini sangat berbeda dengan *starting* tanpa VFD.





Gambar 5.85 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Badut yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.86 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Badut yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

Pada Gambar 5.85 dan Gambar 5.86 secara berurutan ditampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada salah satu motor pada Rumah Pompa Badut antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Dari kedua grafik tersebut dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan VFD motor berakselerasi menuju kecepatan nominalnya lebih cepat dibandingkan bila menggunakan VFD, namun tanpa menggunakan VFD terjadi *slip* yang cukup besar di awal dan *slip* turun lebih lambat bila dibandingkan dengan menggunakan VFD. *Slip* yang tidak segera diturunkan inilah yang membuat lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi.

Penggunaan VFD dalam hal ini akan menolong menekan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi. Lonjakan arus *starting* tersebut bisa mengakibatkan daya aktif terserap melampaui kontrak daya terpasang, yang berakibat pengenaan denda kelebihan daya pada konsumen PLN. Tetapi untuk jadwal *starting* motor pompa yang cukup jarang per bulan tidak mengakibatkan kerugian yang signifikan bila dibandingkan dengan investasi pengadaan VFD. Pemasangan kapasitor akan lebih memberikan kontribusi positif pada penghematan energi yang digunakan pada kondisi normal.

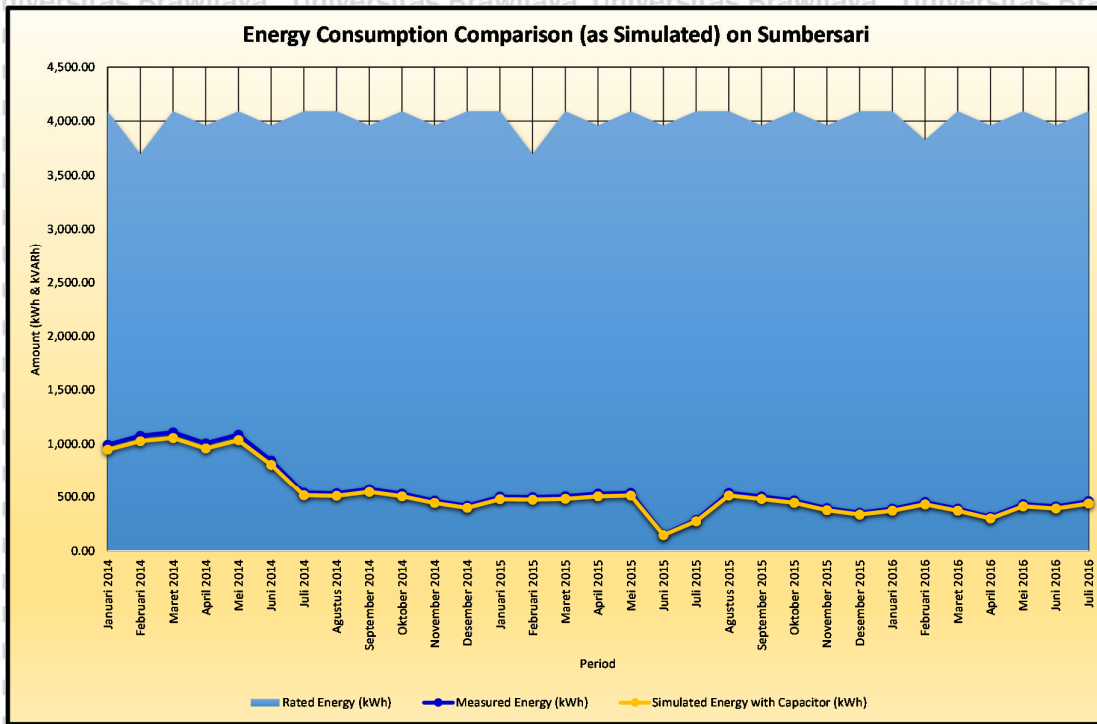
### 5.5.9 Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Sumpersari

Lampiran 5.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Sumpersari. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 1 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 0,61 kW (daya aktif) dan sebesar -1 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 1 motor pompa beroperasi.

Lampiran 5.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Sumpersari. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 0,64 kW (daya aktif) dan sebesar 10 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 1 motor pompa beroperasi.

Pada Gambar 5.87 ditunjukkan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya yang dibandingkan dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Sumpersari.





Gambar 5.87 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Sumpersari.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2018.

Pada kondisi operasional, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai -1 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 10 kVAr.

**5.5.10 Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Sumpersari**

Simulasi *motor starting* yang dilakukan pada Rumah Pompa Sumpersari didasarkan pada kondisi normal, yaitu terdapat satu unit motor pompa yang selalu beroperasi. Dengan adanya kondisi tersebut, maka akan dibuat *event* yang menggambarkan motor pompa yang sedang beroperasi secara terus menerus. Pada Tabel 5.39 ditunjukkan *event* yang menjadi skenario *motor starting* pada Rumah Pompa Sumpersari.

Tabel 5.39 *Event* Simulasi *Motor Starting* pada Rumah Pompa Sumpersari

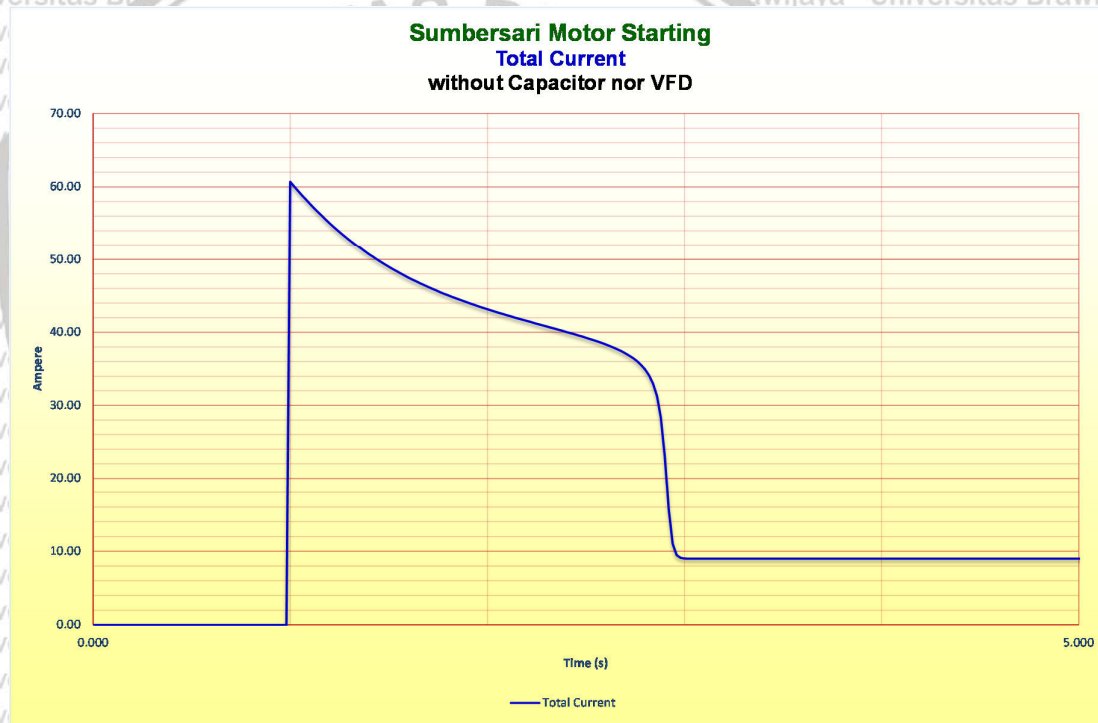
TIME (s)	MOTOR ID	EVENT
1.000	SUMBERSARI.1.MOTOR.1	START

Sumber : Rencana Simulasi ETAP, 2017.



Kondisi normal yang terjadi pada Rumah Pompa Sumpersari digambarkan pada waktu sekitar 3 s hingga 5 s, di mana motor pompa Sumpersari tunggal beroperasi. Tidak ada transisi dalam hal ini karena hanya terdapat satu motor pompa yang bekerja.

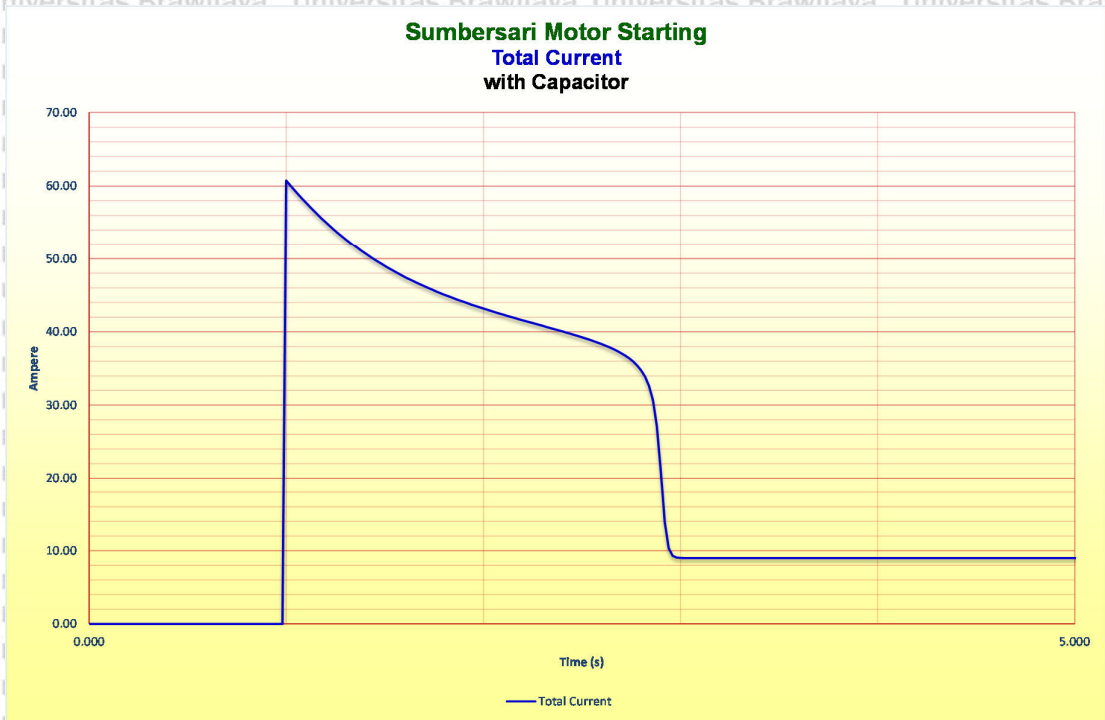
Dari *event* pada Tabel 5.39 yang disimulasikan, pada Gambar 5.88, Gambar 5.89, dan Gambar 5.90 ditunjukkan arus yang mengalir pada bus utama Rumah Pompa Sumpersari. Kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor ataupun VFD ditunjukkan pada Gambar 5.88, sementara kondisi dengan menggunakan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5.89, dan kondisi dengan menggunakan VFD ditunjukkan pada Gambar 5.90. Pada kondisi normal, yaitu di titik antara 3 s hingga 5 s, rata-rata arus yang mengalir adalah 9 A (tanpa kapasitor atau VFD), 9 A (menggunakan kapasitor), dan 9 A (menggunakan VFD).



Gambar 5.88 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Sumpersari dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.

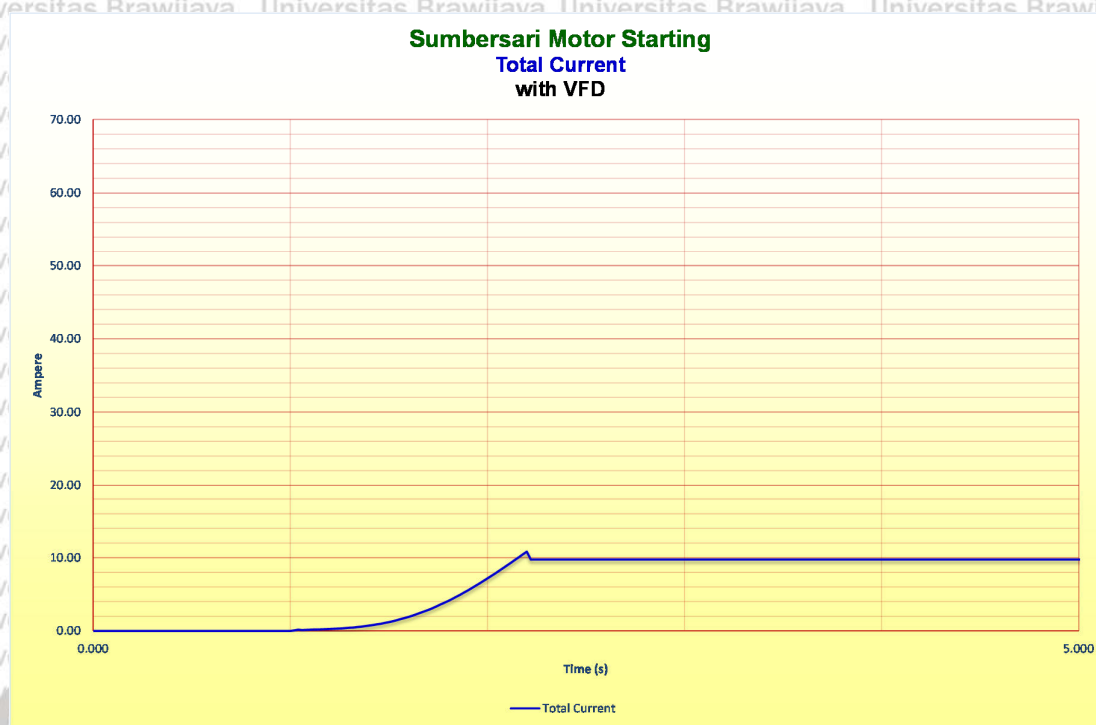
Sumber: Olahan data simulasi ETAP, 2017.





Gambar 5.89 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Sumpersari dengan kondisi menggunakan kapasitor.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

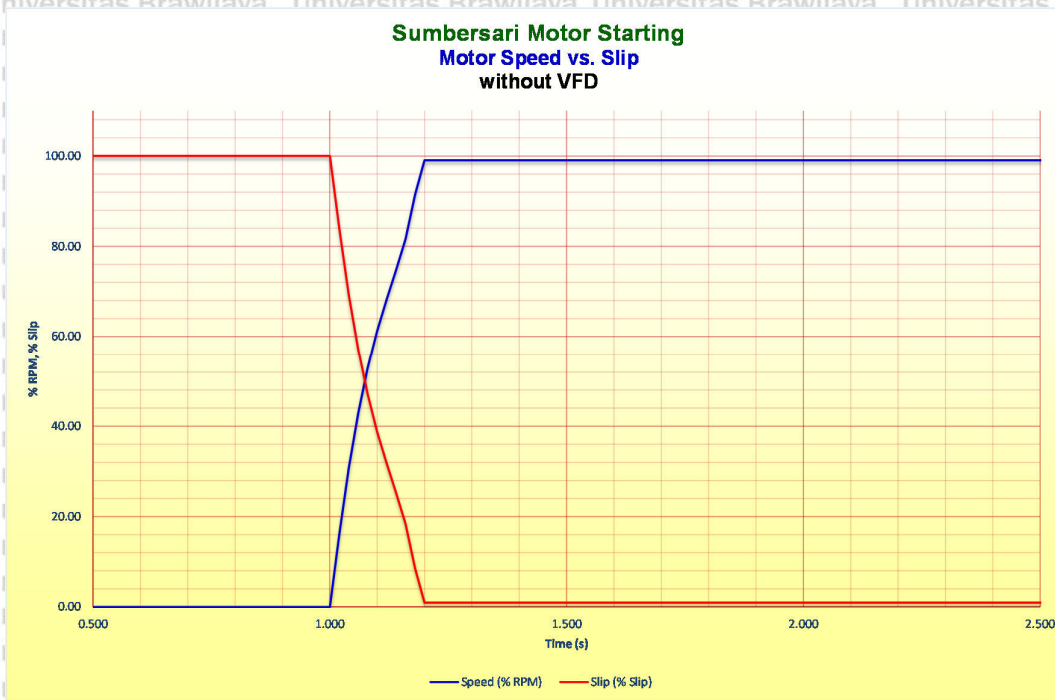


Gambar 5.90 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Sumbersari dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

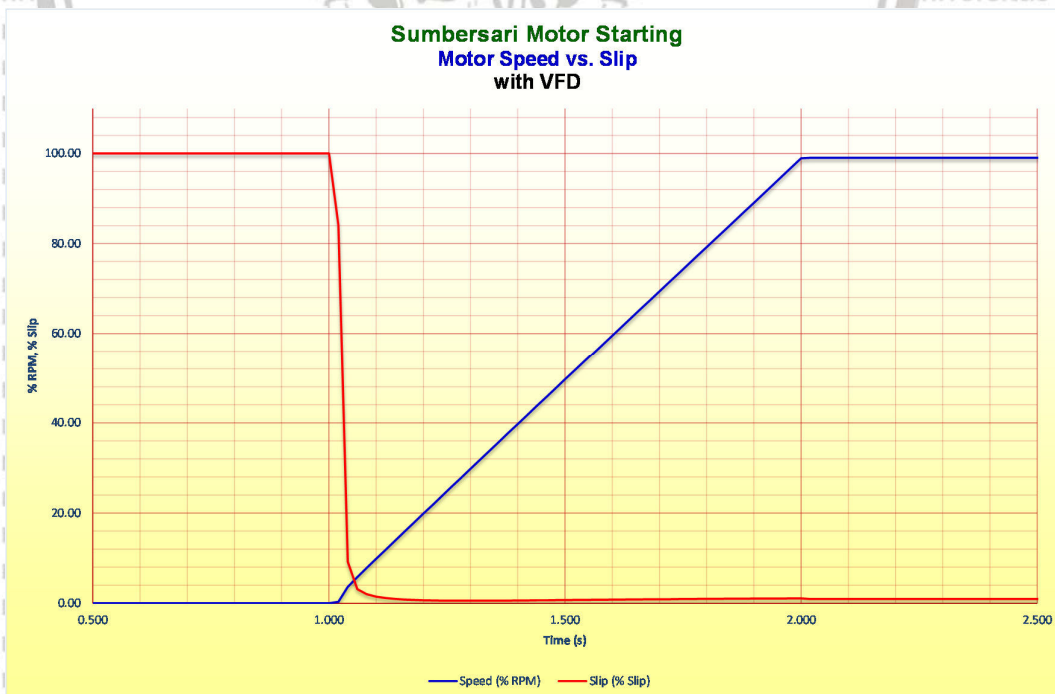
Ketiga grafik tersebut menggunakan skala yang sama, sehingga bisa langsung dibandingkan antara instalasi asli, pemakaian kapasitor, dan pemakaian VFD. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.88, pada instalasi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD, proses *start* motor pompa membutuhkan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi, dengan orde sekitar enam kali (600%) lebih tinggi dibandingkan FLA dari motor. Motor pertama Rumah Pompa Sumbersari mengalami lonjakan arus *starting* hingga 58 A, sementara FLA yang dimilikinya adalah 9 A. Hal yang hampir sama juga terjadi pada instalasi menggunakan kapasitor, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.89, di mana lonjakan arus *starting* sama seperti yang dialami instalasi tanpa kapasitor. Bedanya adalah pada instalasi menggunakan kapasitor terjadi sedikit pengurangan arus karena daya reaktif yang telah diminimalisir oleh kapasitor (terjadi peningkatan faktor daya). Perbedaan nyata terjadi ketika instalasi menggunakan VFD pada setiap motor pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.90, yaitu lonjakan arus *starting* yang direduksi hingga 10%. Proses *starting* dengan menggunakan VFD ini sangat berbeda dengan *starting* tanpa VFD.





Gambar 5.91 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Sumbersari yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.92 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Sumbersari yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

Pada Gambar 5.91 dan Gambar 5.92 secara berurutan ditampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada motor pada Rumah Pompa Sumpersari antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Dari kedua grafik tersebut dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan VFD motor berakselerasi menuju kecepatan nominalnya lebih cepat dibandingkan bila menggunakan VFD, namun tanpa menggunakan VFD terjadi *slip* yang cukup besar di awal dan *slip* turun lebih lambat bila dibandingkan dengan menggunakan VFD. *Slip* yang tidak segera diturunkan inilah yang membuat lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi.

Penggunaan VFD dalam hal ini akan menolong menekan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi. Lonjakan arus *starting* tersebut bisa mengakibatkan daya aktif terserap melampaui kontrak daya terpasang, yang berakibat pengenaan denda kelebihan daya pada konsumen PLN. Tetapi untuk jadwal *starting* motor pompa yang cukup jarang per bulan tidak mengakibatkan kerugian yang signifikan bila dibandingkan dengan investasi pengadaan VFD. Pemasangan kapasitor akan lebih memberikan kontribusi positif pada penghematan energi yang digunakan pada kondisi normal.

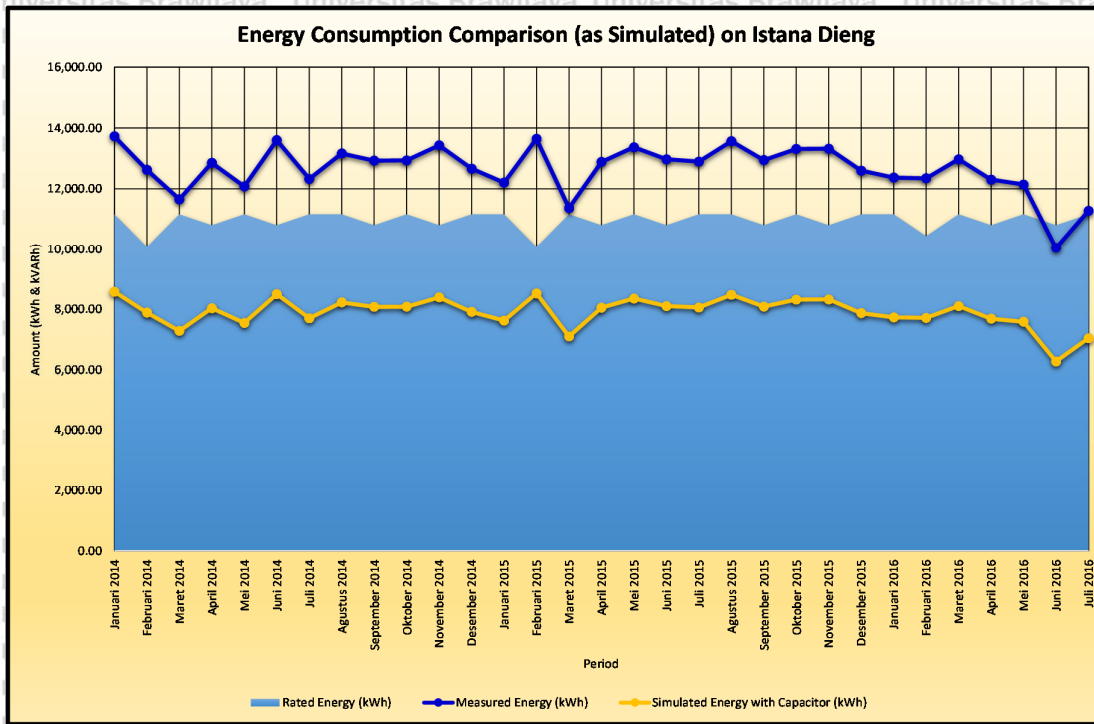
#### 5.5.11 Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Istana Dieng

Lampiran 6.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Istana Dieng. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 10 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 15 kW (daya aktif) dan sebesar -0,28 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 1 motor pompa beroperasi.

Lampiran 6.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Istana Dieng. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 16 kW (daya aktif) dan sebesar 10 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 1 motor pompa beroperasi.

Pada kondisi operasional, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai -0,28 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 10 kVAr.





Gambar 5.93 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Istana Dieng.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2018.

Pada Gambar 5.93 ditunjukkan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya yang dibandingkan dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Istana Dieng.

### 5.5.12 Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Istana Dieng

Simulasi *motor starting* yang dilakukan pada Rumah Pompa Istana Dieng didasarkan pada kondisi normal, yaitu terdapat satu unit motor pompa yang selalu beroperasi. Dengan adanya kondisi tersebut, maka akan dibuat *event* yang menggambarkan motor pompa yang sedang beroperasi secara terus menerus. Pada Tabel 5.40 ditunjukkan *event* yang menjadi skenario *motor starting* pada Rumah Pompa Istana Dieng.

Tabel 5.40

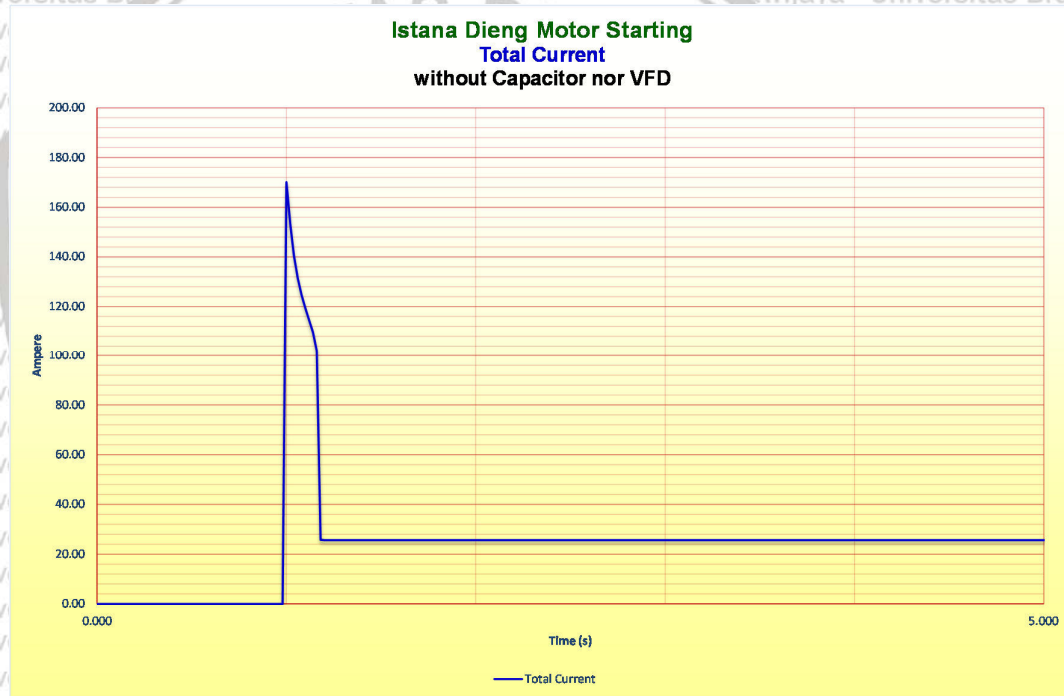
*Event* Simulasi *Motor Starting* pada Rumah Pompa Istana Dieng

TIME (s)	MOTOR ID	EVENT
1.000	ISDL1.MOTOR.1	START

Sumber : Rencana Simulasi ETAP, 2017.

Kondisi normal yang terjadi pada Rumah Pompa Istana Dieng digambarkan pada waktu sekitar 3 s hingga 5 s, di mana motor pompa Istana Dieng tunggal beroperasi. Tidak ada transisi dalam hal ini karena hanya terdapat satu motor pompa yang bekerja.

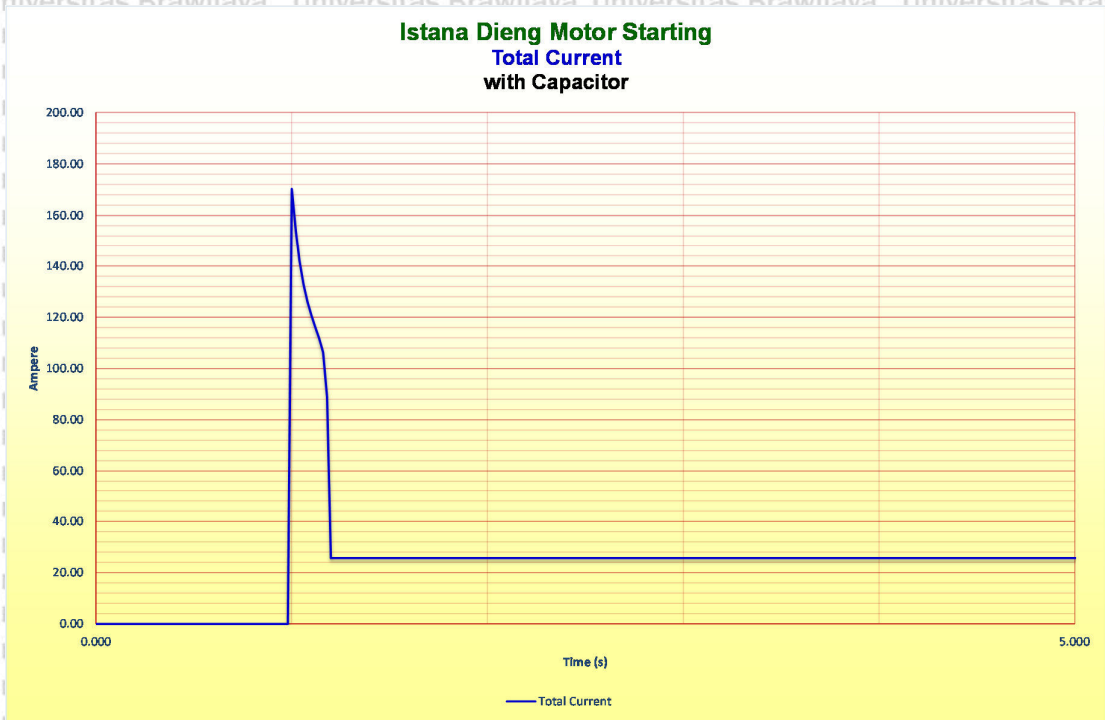
Dari *event* pada Tabel 5.40 yang disimulasikan, pada Gambar 5.94, Gambar 5.95, dan Gambar 5.96 ditunjukkan arus yang mengalir pada bus utama Rumah Pompa Istana Dieng. Kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor ataupun VFD ditunjukkan pada Gambar 5.94, sementara kondisi dengan menggunakan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5.95, dan kondisi dengan menggunakan VFD ditunjukkan pada Gambar 5.96. Pada kondisi normal, yaitu di titik antara 3 s hingga 5 s, rata-rata arus yang mengalir adalah 26 A (tanpa kapasitor atau VFD), 26 A (menggunakan kapasitor), dan 26 A (menggunakan VFD).



Gambar 5.94 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Istana Dieng dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.

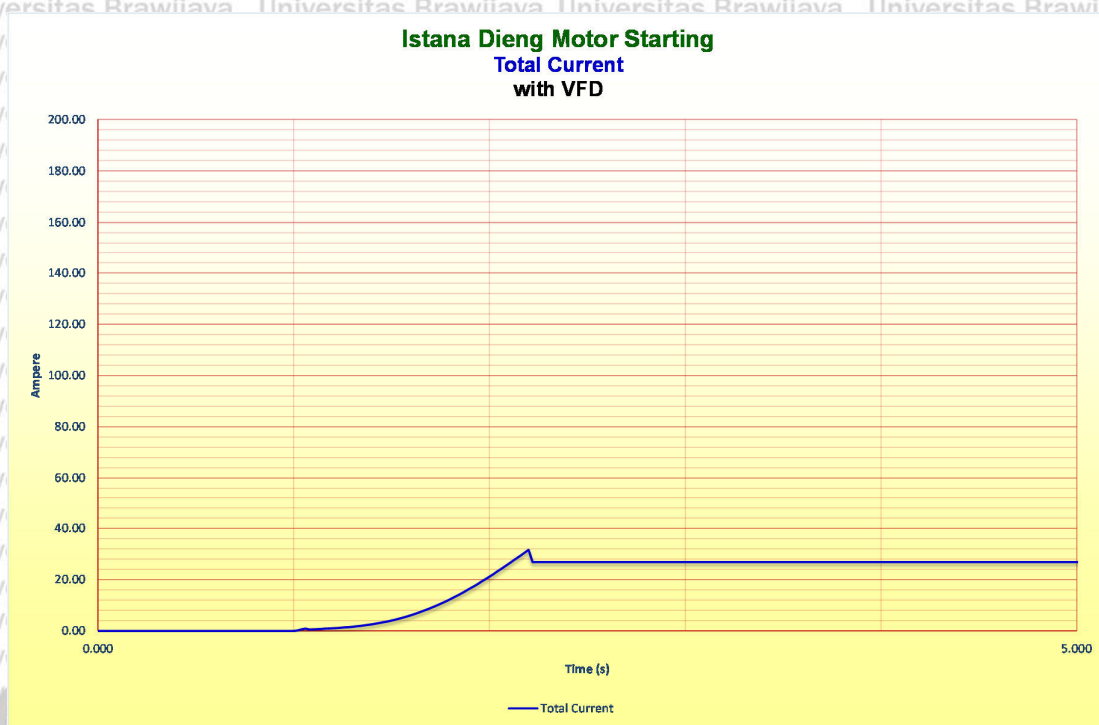
Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.





Gambar 5.95 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Istana Dieng dengan kondisi menggunakan kapasitor.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

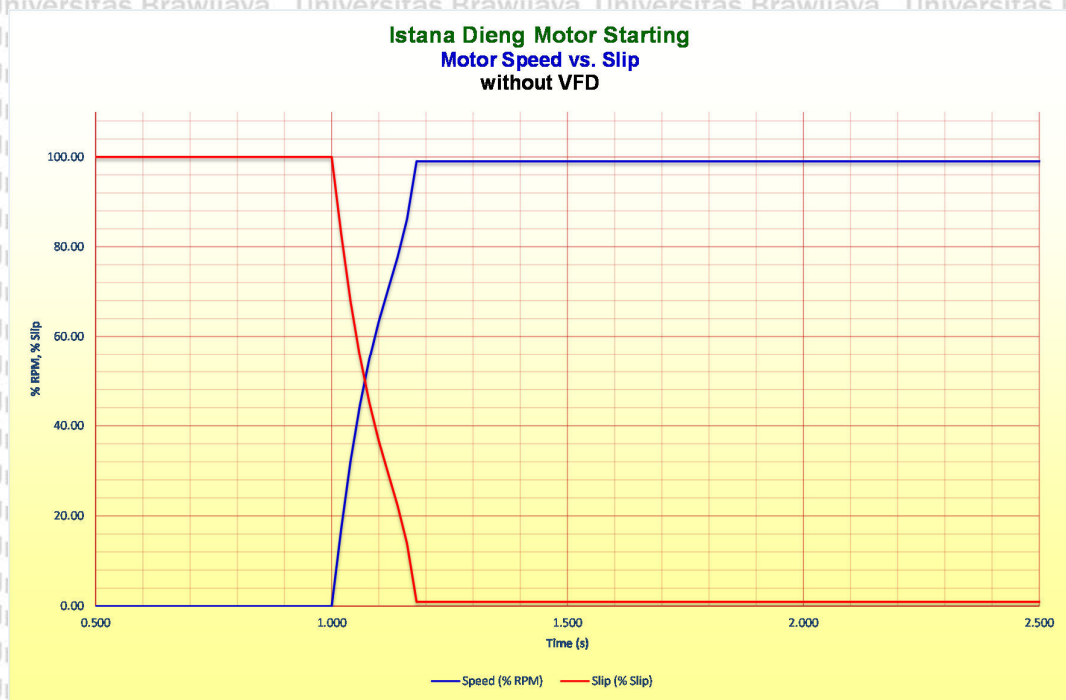


Gambar 5.96 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Istana Dieng dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

Ketiga grafik tersebut menggunakan skala yang sama, sehingga bisa langsung dibandingkan antara instalasi asli, pemakaian kapasitor, dan pemakaian VFD. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.94, pada instalasi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD, proses *start* motor pompa membutuhkan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi, dengan orde sekitar enam kali (600%) lebih tinggi dibandingkan FLA dari motor. Motor pertama Rumah Pompa Istana Dieng mengalami lonjakan arus *starting* hingga 58 A, sementara FLA yang dimilikinya adalah 9 A. Hal yang hampir sama juga terjadi pada instalasi menggunakan kapasitor, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.95, di mana lonjakan arus *starting* sama seperti yang dialami instalasi tanpa kapasitor. Bedanya adalah pada instalasi menggunakan kapasitor terjadi sedikit pengurangan arus karena daya reaktif yang telah diminimalisir oleh kapasitor (terjadi peningkatan faktor daya). Perbedaan nyata terjadi ketika instalasi menggunakan VFD pada setiap motor pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.96, yaitu lonjakan arus *starting* yang direduksi hingga 10%. Proses *starting* dengan menggunakan VFD ini sangat berbeda dengan *starting* tanpa VFD.





Gambar 5.97 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Istana Dieng yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.98 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Istana Dieng yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

Pada Gambar 5.97 dan Gambar 5.98 secara berurutan ditampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada motor pada Rumah Pompa Istana Dieng antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Dari kedua grafik tersebut dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan VFD motor berakselerasi menuju kecepatan nominalnya lebih cepat dibandingkan bila menggunakan VFD, namun tanpa menggunakan VFD terjadi *slip* yang cukup besar di awal dan *slip* turun lebih lambat bila dibandingkan dengan menggunakan VFD. *Slip* yang tidak segera diturunkan inilah yang membuat lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi.

Penggunaan VFD dalam hal ini akan menolong menekan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi. Lonjakan arus *starting* tersebut bisa mengakibatkan daya aktif terserap melampaui kontrak daya terpasang, yang berakibat pengenaan denda kelebihan daya pada konsumen PLN. Tetapi untuk jadwal *starting* motor pompa yang cukup jarang per bulan tidak mengakibatkan kerugian yang signifikan bila dibandingkan dengan investasi pengadaan VFD. Pemasangan kapasitor akan lebih memberikan kontribusi positif pada penghematan energi yang digunakan pada kondisi normal.

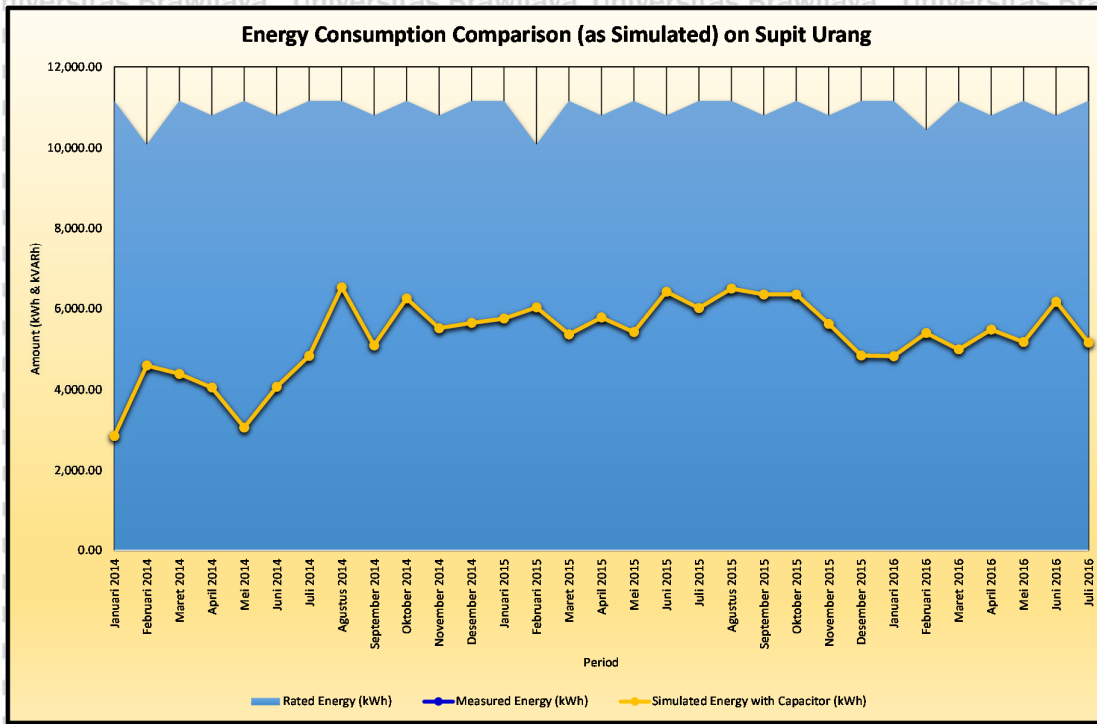
### 5.5.13 Simulasi Load Flow pada Rumah Pompa Supit Urang

Lampiran 7.A menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan kapasitor pada Rumah Pompa Supit Urang. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor dengan kemampuan 15 kVAr akan menghasilkan daya operasional sebesar 7 kW (daya aktif) dan sebesar -8 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 1 motor pompa beroperasi.

Lampiran 7.B menunjukkan hasil simulasi aliran daya hasil pemasangan VFD pada Rumah Pompa Supit Urang. Pada simulasi tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan VFD pada masing-masing motor pompa akan menghasilkan daya operasional sebesar 7 kW (daya aktif) dan sebesar 0,55 kVAr (daya reaktif), dengan kondisi 1 motor pompa beroperasi.

Pada kondisi operasional, pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan karena mampu menekan daya reaktif sampai pada nilai -1 kVAr, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD yang menekan daya reaktif hanya pada nilai 0,55 kVAr. Pada Gambar 5.99 ditunjukkan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya yang dibandingkan dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Supit Urang. Terlihat riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya sama persis dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor karena penambahan kapasitor tidak berpengaruh pada perbaikan konsumsi energi.





Gambar 5.99 Grafik perbandingan riwayat konsumsi energi listrik sesungguhnya dengan hasil simulasi *load flow* menggunakan kapasitor pada Rumah Pompa Supit Urang.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2018.

### 5.5.14 Simulasi Motor Starting pada Rumah Pompa Supit Urang

Simulasi *motor starting* yang dilakukan pada Rumah Pompa Supit Urang didasarkan pada kondisi normal, yaitu terdapat satu unit motor pompa yang selalu beroperasi. Dengan adanya kondisi tersebut, maka akan dibuat *event* yang menggambarkan motor pompa yang sedang beroperasi secara terus menerus. Pada Tabel 5.41 ditunjukkan *event* yang menjadi skenario *motor starting* pada Rumah Pompa Supit Urang.

Tabel 5.41 Event Simulasi *Motor Starting* pada Rumah Pompa Supit Urang

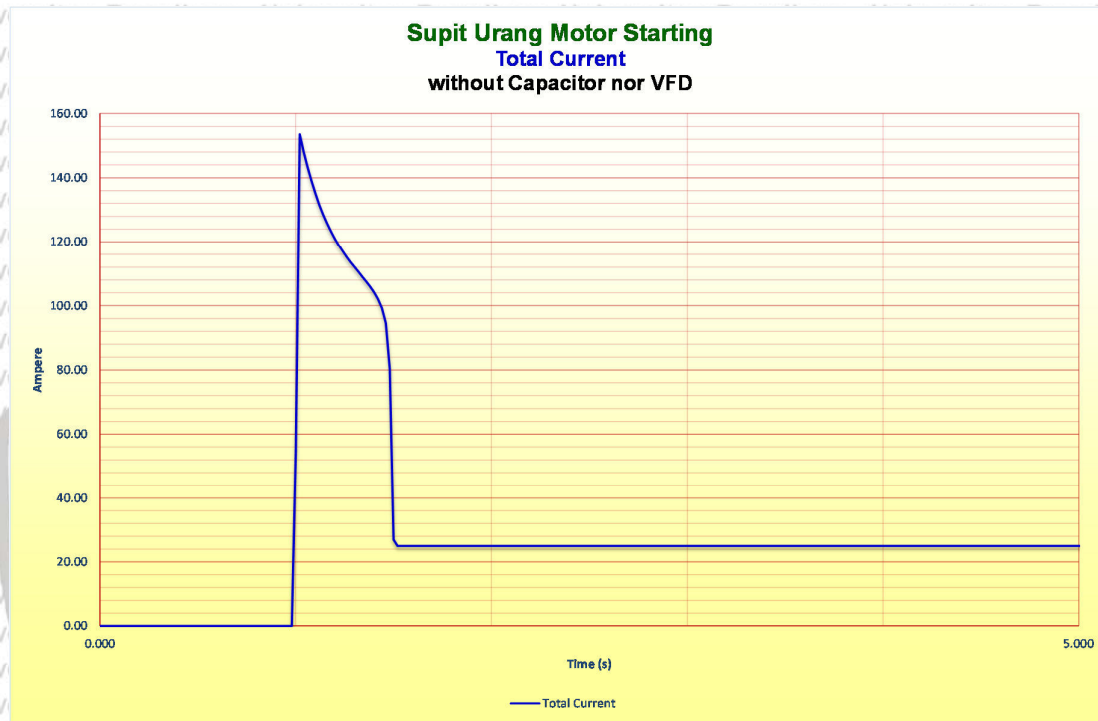
TIME (s)	MOTOR ID	EVENT
1.000	SUPITURANG.1.MOTOR.1	START

Sumber : Rencana Simulasi ETAP, 2017.

Kondisi normal yang terjadi pada Rumah Pompa Supit Urang digambarkan pada waktu sekitar 3 s hingga 5 s, di mana motor pompa Supit Urang tunggal beroperasi. Tidak ada transisi dalam hal ini karena hanya terdapat satu motor pompa yang bekerja.

Dari *event* pada Tabel 5.41 yang disimulasikan, pada Gambar 5.100, Gambar 5.101, dan Gambar 5.102 ditunjukkan arus yang mengalir pada bus utama Rumah Pompa Supit Urang

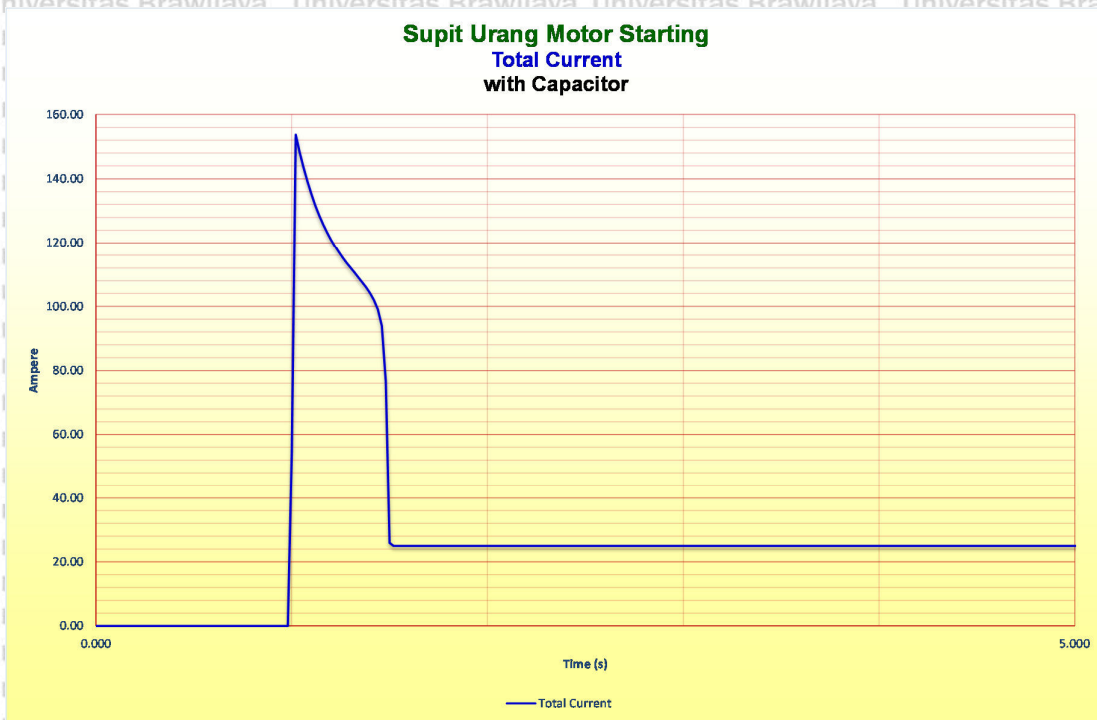
Kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor ataupun VFD ditunjukkan pada Gambar 5.100, sementara kondisi dengan menggunakan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5.101, dan kondisi dengan menggunakan VFD ditunjukkan pada Gambar 5.102. Pada kondisi normal, yaitu di titik antara 3 s hingga 5 s, rata-rata arus yang mengalir adalah 26 A (tanpa kapasitor atau VFD), 26 A (menggunakan kapasitor), dan 26 A (menggunakan VFD).



Gambar 5.100 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Supit Urang dengan kondisi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD.

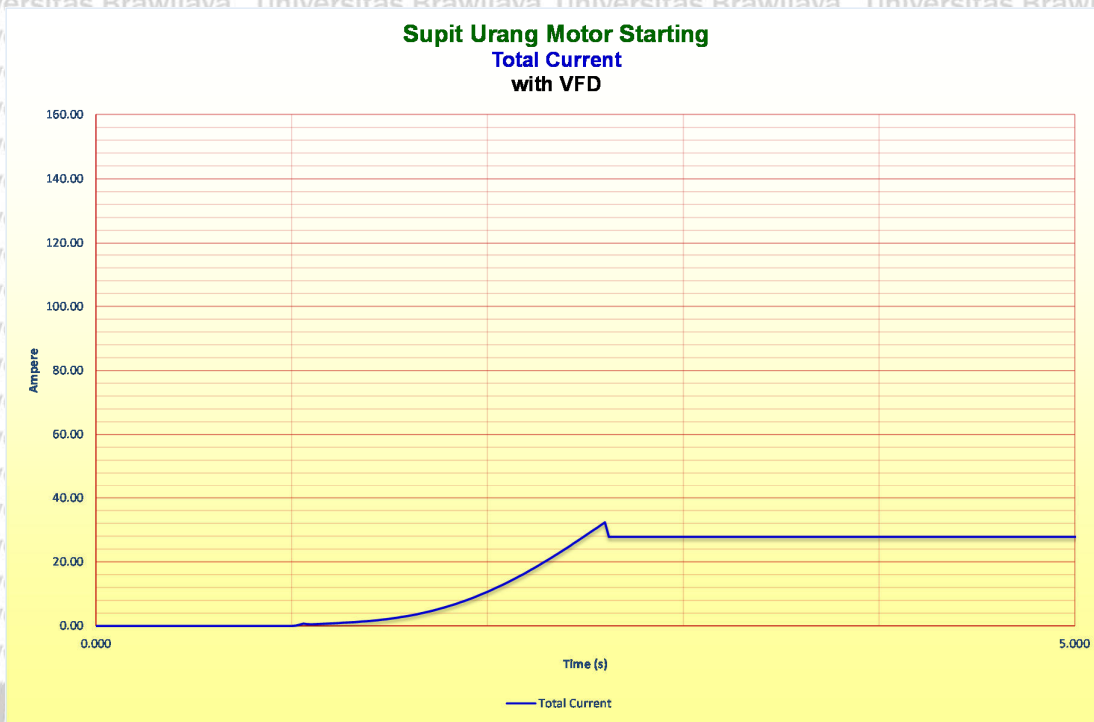
Sumber : Olan data simulasi ETAP, 2017.





Gambar 5.101 Simulasi motor starting yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Supit Urang dengan kondisi menggunakan kapasitor.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

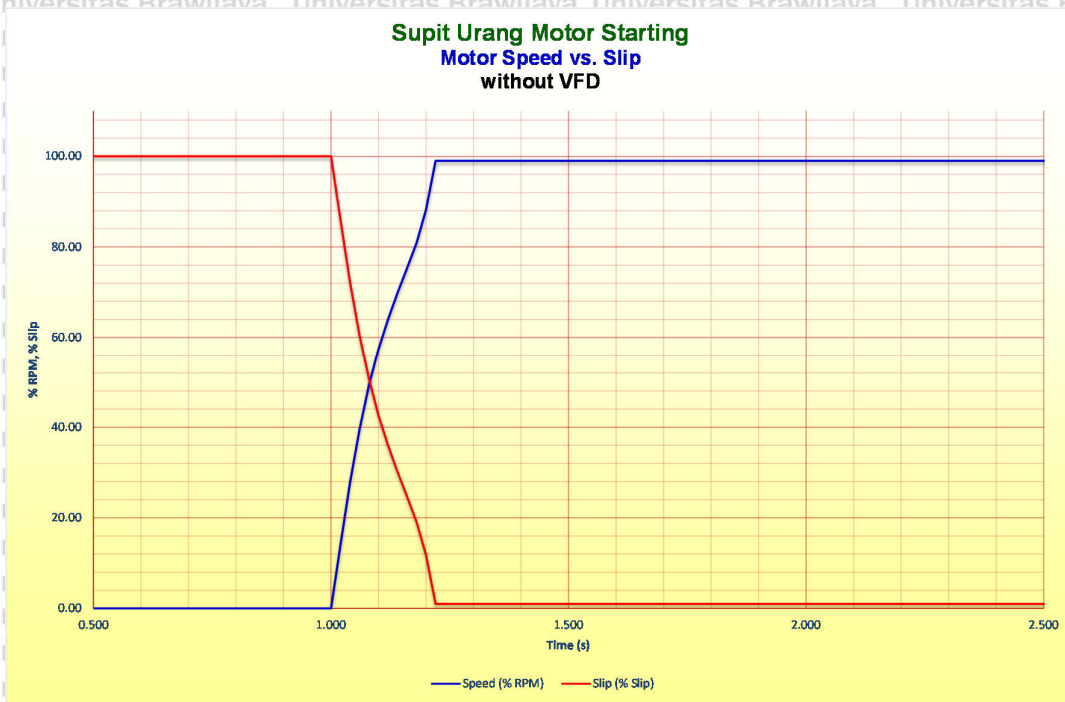


Gambar 5.102 Simulasi *motor starting* yang menunjukkan total arus yang mengalir pada bus utama pada Rumah Pompa Supit Urang dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

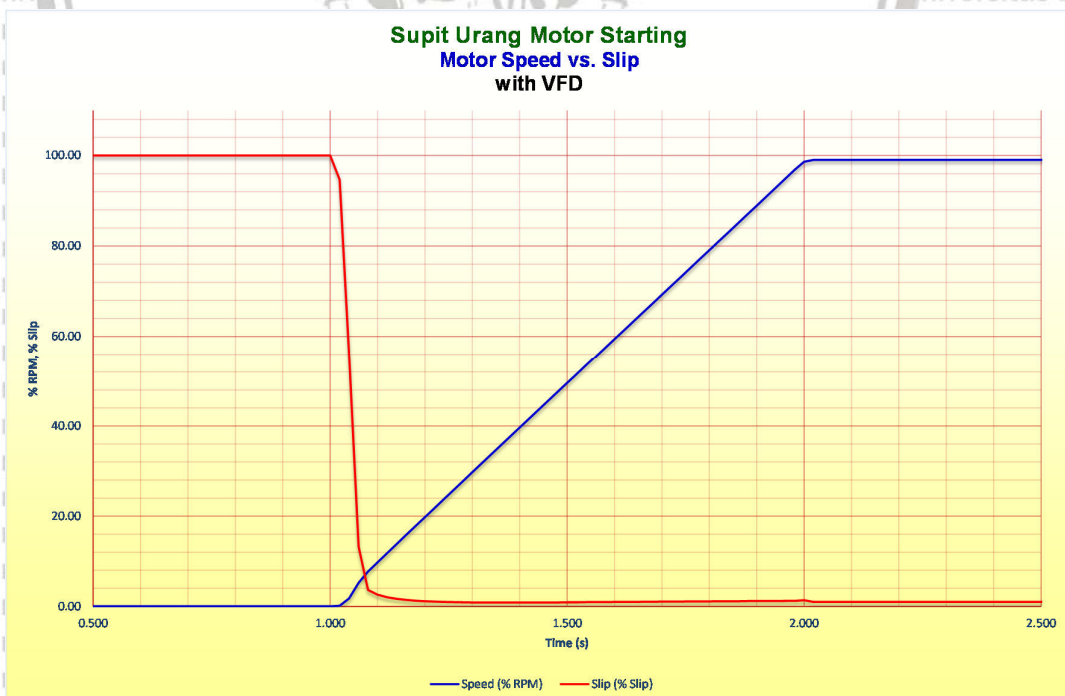
Ketiga grafik tersebut menggunakan skala yang sama, sehingga bisa langsung dibandingkan antara instalasi asli, pemakaian kapasitor, dan pemakaian VFD. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.100, pada instalasi asli tanpa menggunakan kapasitor maupun VFD, proses *start* motor pompa membutuhkan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi, dengan orde sekitar enam kali (600%) lebih tinggi dibandingkan FLA dari motor. Motor pertama Rumah Pompa Supit Urang mengalami lonjakan arus *starting* hingga 58 A, sementara FLA yang dimilikinya adalah 9 A. Hal yang hampir sama juga terjadi pada instalasi menggunakan kapasitor, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.101, di mana lonjakan arus *starting* sama seperti yang dialami instalasi tanpa kapasitor. Bedanya adalah pada instalasi menggunakan kapasitor terjadi sedikit pengurangan arus karena daya reaktif yang telah diminimalisir oleh kapasitor (terjadi peningkatan faktor daya). Perbedaan nyata terjadi ketika instalasi menggunakan VFD pada setiap motor pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.102, yaitu lonjakan arus *starting* yang direduksi hingga 10%. Proses *starting* dengan menggunakan VFD ini sangat berbeda dengan *starting* tanpa VFD.





Gambar 5.103 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Supit Urang yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan kapasitor, tanpa menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.



Gambar 5.104 Simulasi *motor starting* pada salah satu motor pompa pada Rumah Pompa Supit Urang yang menunjukkan kecepatan motor dan *slip* motor dengan kondisi menggunakan VFD.

Sumber : Olahan data simulasi ETAP, 2017.

Pada Gambar 5.103 dan Gambar 5.104 secara berurutan ditampilkan perbandingan kecepatan dan *slip* motor pada motor pada Rumah Pompa Supit Urang antara tidak menggunakan VFD dengan menggunakan VFD. Dari kedua grafik tersebut dapat dianalisis bahwa tanpa menggunakan VFD motor berakselerasi menuju kecepatan nominalnya lebih cepat dibandingkan bila menggunakan VFD, namun tanpa menggunakan VFD terjadi *slip* yang cukup besar di awal dan *slip* turun lebih lambat bila dibandingkan dengan menggunakan VFD. *Slip* yang tidak segera diturunkan inilah yang membuat lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi.

Penggunaan VFD dalam hal ini akan menolong menekan lonjakan arus *starting* yang cukup tinggi. Lonjakan arus *starting* tersebut bisa mengakibatkan daya aktif terserap melampaui kontrak daya terpasang, yang berakibat pengenaan denda kelebihan daya pada konsumen PLN. Tetapi untuk jadwal *starting* motor pompa yang cukup jarang per bulan tidak mengakibatkan kerugian yang signifikan bila dibandingkan dengan investasi pengadaan VFD. Pemasangan kapasitor akan lebih memberikan kontribusi positif pada penghematan energi yang digunakan pada kondisi normal.

## 5.6 Rekapitulasi Analisis

Dari ketiga analisis yang telah dilakukan, maka dapat dibuat model rekapitulasi analisis berbentuk tabulasi. Tujuan dari rekapitulasi ini adalah untuk memberikan detil ketiga jenis analisis semua rumah pompa dalam satu tempat sehingga memudahkan untuk melakukan perbandingan.

### 5.6.1 Rekapitulasi Efisiensi Energi

Rekapitulasi untuk efisiensi energi terdiri dari dua variabel utama, yaitu faktor daya dan SEC. Faktor daya berhubungan dengan prosentase energi listrik yang berdayaguna pada mekanik pemompaan. Semakin tinggi faktor daya maka kuantitas energi yang dapat digunakan meningkat dibandingkan dengan energi yang dikembalikan dari motor pompa kepada sumber (dalam hal ini, generator dan saluran transmisi-distribusi). SEC berhubungan dengan prosentase energi listrik yang berdayaguna pada hasil produksi air. Seperti halnya cara yang telah diterapkan pada Sub-Bab 5.3, rekapitulasi ini dilakukan di semua rumah pompa dengan pembagian klusterisasi.



Tabel 5.42  
Rekapitulasi Efisiensi Energi PDAM Kota Malang

RUMAH POMPA	Faktor Daya (%)			SEC (kWh·m <sup>-3</sup> )		
	Terukur	Seharusnya	Kekurangan	Terukur	Seharusnya	Kelebihan
WENDIT 1	83.19	85	1.81	0.49	0.4	0.09
WENDIT 2	90.66	85	BAIK	0.68	0.4	0.28
WENDIT 3	87.5	85	BAIK	0.49	0.4	0.09
MOJOLANGU A	98.41	85	BAIK	-	-	-
MOJOLANGU B	97.93	85	BAIK	-	-	-
BADUT A	88.98	85	BAIK	0.25	0.4	BAIK
BADUT B	88.98	85	BAIK	0.25	0.4	BAIK
SUMBERSARI	100	85	BAIK	0.17	0.4	BAIK
ISTANA DIENG	85.84	85	BAIK	0.34	0.4	BAIK
SUPIT URANG	99.65	85	BAIK	0.13	0.4	BAIK

Sumber : Hasil analisis penelitian, 2018.

Dari Tabel 5.42 terlihat bahwa untuk faktor daya, rumah pompa yang memiliki faktor daya terlalu rendah adalah Rumah Pompa Wendit 1, sedangkan untuk SEC, rumah pompa yang harus ditingkatkan efisiensi produksinya adalah Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3.

### 5.6.2 Rekapitulasi Perbandingan Pengukuran

Pada rekapitulasi perbandingan pengukuran, digunakan cara yang sama seperti pada Sub-Bab 5.4, yaitu diterapkan pada Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, Wendit 3, dan Mojolangu periode bulan Juli 2016. Dalam hal ini rumah pompa lainnya tidak disertakan karena data yang tidak diperbolehkan untuk diakses.

Tabel 5.43  
Rekapitulasi Perbandingan Pengukuran PDAM Kota Malang

RUMAH POMPA	Data Logger		PLN		Selisih	
	Aktif (kWh)	Reaktif (kVArh)	Aktif (kWh)	Reaktif (kVArh)	Aktif (kWh)	Reaktif (kVArh)
WENDIT 1	415,344.96	277,708.04	418,639.10	279,957.93	-3,294.14	-2,249.89
WENDIT 2	526,622.62	241,314.90	529,560.00	242,592.00	-2,937.38	-1,277.10
WENDIT 3	415,688.53	230,554.08	410,380.90	227,582.07	5,307.64	2,972.02
MOJOLANGU	237,854.06	47,561.08	240,456.00	48,484.00	-2,601.94	-902.92

Sumber : Hasil analisis penelitian, 2018.

Tabel 5.43 menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan *data logger* menghasilkan selisih dibandingkan pengukuran dari meter kWh dan kVArh milik PLN. Selisih yang terdeteksi tidak melebihi dari 2%. Terdapat dua faktor yang menyebabkan selisih ini, antara lain:

1. Tidak semua energi listrik digunakan untuk motor pompa.

Di setiap rumah pompa, penggunaan energi listrik selain untuk motor pompa juga untuk penerangan internal, keperluan kantor, dan penerangan jalan umum. Meter kWh dan kVArh milik PLN mencatat semua penggunaan energi ini, sementara *data logger* hanya mencatat posisi voltmeter dan amperemeter yang tersambung ke motor pompa setiap jamnya.

2. Perbedaan ketelitian pengukuran.

Meter kWh dan kVArh milik PLN mencatat posisi voltmeter dan amperemeter secara kontinu (bila menggunakan perangkat lama) atau secara diskrit dengan ketelitian hingga skala milidetik (bila menggunakan perangkat baru). Di lain pihak, *data logger* mencatat posisi voltmeter dan amperemeter yang tersambung ke motor pompa secara diskrit dengan ketelitian skala jam (setiap satu jam sekali).

5.6.3 Rekapitulasi Simulasi

Perbandingan antara motor pompa asli, dipasangnya kapasitor, dengan dipasangnya VFD menjadi tujuan utama pada simulasi yang telah dilakukan. Sesuai dengan Sub-Bab 5.5, simulasi ini dilakukan di semua rumah pompa, namun tidak dibagi dengan klusterisasi. Khusus untuk Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3 digabung karena kontrak PLN yang dijadikan satu pada kedua rumah pompa tersebut. Untuk simulasi *load flow* dilakukan dua tahap, pertama berdasarkan data dari pengukuran kWh dan kVArh meter PLN, dan kedua berdasarkan pengukuran *data logger*. Masing-masing simulasi tersebut dibagi dua bagian lagi, yaitu pada saat dipasang kapasitor dan dipasang VFD. Simulasi *motor starting* dilakukan tiga bagian, yaitu kondisi asli, kondisi terpasang kapasitor, dan kondisi terpasang VFD.

Tabel 5.44  
Rekapitulasi Perbandingan Simulasi *Load Flow* PDAM Kota Malang

RUMAH POMPA	Berdasarkan Pengukuran PLN				Berdasarkan Pengukuran Data Logger			
	Kapasitor		VFD		Kapasitor		VFD	
	Aktif (kW)	Reaktif (kVAr)	Aktif (kW)	Reaktif (kVAr)	Aktif (kW)	Reaktif (kVAr)	Aktif (kW)	Reaktif (kVAr)
WENDIT 1 & WENDIT 3	1,097	34	1,121	784	1,127	0.34	1,153	803
WENDIT 2	719	0.49	719	391	715	-0.11	846	460
MOJOLANGU	297	0.95	310	190	321	0.18	336	206
BADUT	28	3	30	18	-	-	-	-
SUMBERSARI	0.61	-1	0.64	10	-	-	-	-
ISTANA DIENG	15	-0.28	16	10	-	-	-	-
SUPIT URANG	7	-8	7	0.55	-	-	-	-

Sumber: Hasil analisis penelitian, 2018.



Pada simulasi *load flow*, seperti terlihat pada Tabel 5.44, terdapat perbedaan signifikan antara penggunaan kapasitor dengan penggunaan VFD. Bila dipergunakan untuk kondisi normal (di mana tidak ada *motor starting*, motor dianggap selalu berjalan non-stop) maka penggunaan kapasitor mampu menekan bukan hanya daya reaktif, namun juga daya aktif bisa turun sekitar 8% ke angka 92% (maksimal). Hal yang sama terjadi baik untuk basis pengukuran PLN maupun *data logger*.

Tabel 5.45  
Rekapitulasi Perbandingan Pembayaran Rekening Listrik Juli 2016 berdasarkan Simulasi *Load Flow* pada PDAM Kota Malang

RUMAH POMPA	Berdasarkan Pengukuran PLN (juta IDR)				Berdasarkan Pengukuran Data Logger (juta IDR)			
	Kapasitor		VFD		Kapasitor		VFD	
	Biaya kWh	Biaya kVArh	Biaya kWh	Biaya kVArh	Biaya kWh	Biaya kVArh	Biaya kWh	Biaya kVArh
WENDIT 1 & WENDIT 3	824.04	-	842.07	72.17	846.58	-	866.11	71.49
WENDIT 2	540.10	-	540.10	-	537.09	-	635.50	-
MOJOLANGU	223.10	-	232.87	-	241.13	-	252.40	-

Sumber : Hasil analisis penelitian, 2018.

Pada Tabel 5.45 ditunjukkan data rekapitulasi perbandingan pembayaran rekening listrik dalam juta rupiah berdasarkan simulasi *load flow* pada Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3, Rumah Pompa Wendit 2, dan Rumah Pompa Mojolangu. Data ini diambil dari hasil simulasi *load flow* yang digabungkan dengan tarif dasar listrik PLN pada Juli 2016. Dari hasil perbandingan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa pemasangan kapasitor akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan pemasangan VFD. Untuk semua rumah pompa, pemasangan kapasitor menunjukkan tagihan listrik (biaya pemakaian kWh) lebih sedikit dibandingkan jika menggunakan VFD, dan khusus untuk Rumah Pompa Wendit 1 dan Wendit 3, pemasangan kapasitor mengakibatkan rumah pompa tersebut tidak dikenai biaya kelebihan kVArh, bila dibandingkan dengan pemasangan VFD. Biaya kelebihan kVArh sendiri berada di kisaran 72,000,000.- IDR per bulan.

Berikutnya pada Tabel 5.46 disajikan data rekapitulasi untuk simulasi *motor starting*, yang menunjukkan bahwa arus puncak yang terjadi antara 557% hingga mencapai 648% dari FLA bila instalasi menggunakan kapasitor atau pada instalasi asli.

Tabel 5.46  
Rekapitulasi Perbandingan Simulasi *Motor Starting* PDAM Kota Malang

RUMAH POMPA	FLA (A)	Arus Puncak Start Motor (A, % FLA)		
		Asli	Kapasitor	VFD
WENDIT 1 & WENDIT 3	343	2,058 A 600%	2,058 A 600%	378 A 110%

RUMAH POMPA	FLA (A)	Arus Puncak Start Motor (A, % FLA)		
		Asli	Kapasitor	VFD
WENDIT 2	308	1,778 A 577%	1,778 A 577%	339 A 110%
MOJOLANGU	224	1,248 A 557%	1,248 A 557%	246 A 109%
BADUT	25	162 A 648%	162 A 648%	28 A 112%
SUMBERSARI	9	58 A 644%	58 A 644%	10 A 111%
ISTANA DIENG	9	58 A 644%	58 A 644%	10 A 111%
SUPIT URANG	9	58 A 644%	58 A 644%	10 A 111%

Sumber : Hasil analisis penelitian, 2018.

Sebaliknya, bila menggunakan instalasi VFD, maka arus puncak rata-rata bisa ditekan hingga mencapai 112% dari FLA. Hanya saja hal yang perlu dipertimbangkan adalah kejadian *motor starting* sangatlah jarang terjadi, karena pergantian operasi motor pompa dilakukan setiap 1,000 jam. Sesuai dengan simulasi, waktu yang diperlukan untuk *starting motor* hanya dalam orde 5 detik hingga 10 detik, sehingga rentang waktu tersebut sangat tidak signifikan dibandingkan jumlah detik dalam 1,000 jam, yaitu 3,600,000 detik.

### 5.7 Rekomendasi

Dari hasil analisis dan rekapitulasinya, ada beberapa usulan rekomendasi untuk PDAM Kota Malang, terutama untuk masing-masing rumah pompa dan kluster pompa yang ada. Tabel 5.47 berikut ini merupakan matriks rekomendasi untuk masing-masing rumah pompa dan kluster pompa.

Tabel 5.47  
Matriks Rekomendasi untuk PDAM Kota Malang

RUMAH POMPA	Pemasangan Data Logger	Pemasangan Flow Meter	Perbaikan Motor	Penjadwalan WBP	Penambahan Kapasitor	Penambahan VFD
WENDIT 1	YA	YA	YA	YA	50 kVar (1000 $\mu$ F)	YA
WENDIT 2	YA	YA	YA	YA	-	-
WENDIT 3	YA	YA	YA	YA	-	-
MOJOLANGU A	YA	YA	-	YA	-	-
MOJOLANGU B	YA	YA	-	YA	-	-
BADUT A	YA	YA	-	YA	-	-
BADUT B	YA	YA	-	YA	-	-
SUMBERSARI	YA	YA	-	-	-	-
ISTANA DIENG	YA	YA	YA	YA	-	-
SUPIT URANG	YA	YA	-	YA	-	-

Sumber : Hasil Rekomendasi Penelitian, 2018.



Secara umum, dapat diringkas rekomendasi untuk PDAM Kota Malang adalah pemasangan *data logger* (dengan ketelitian skala detik) untuk semua rumah pompa, pemasangan *flow meter* (dengan *data logger*-nya) untuk setiap titik kirim dan terima, perbaikan motor untuk Rumah Pompa Wendit dan Istana Dieng, penjadwalan WBP pada semua rumah pompa, penambahan kapasitor untuk Rumah Pompa Wendit 1, dan pemasangan VFD juga untuk Rumah Pompa Wendit 1.

Efisiensi konsumsi energi listrik terhadap volume produksi air masih di bawah standar Kementerian ESDM untuk Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3. Efisiensi tersebut tidak dapat dideteksi pada Rumah Pompa Mojolangu karena tidak adanya *flow meter* dan *data logger*-nya pada titik terima dan distribusi. Selain itu, SEC yang terdeteksi pada Rumah Pompa Badut, Sumpersari, Istana Dieng, dan Supit Urang sudah sangat baik.

Solusi utama yang ditawarkan adalah perbaikan elektris dan mekanis motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3. Kemudian solusi berikutnya adalah pemasangan *flow meter* dan *data logger*-nya pada Rumah Pompa Mojolangu. Secara umum, diperlukan *flow meter* di setiap titik kirim dan terima, termasuk yang bukan rumah pompa, seperti pada Reservoir Betek dan Tlogomas. Semua amperemeter dan voltmeter pada setiap motor pompa dan semua *flow meter* dianjurkan tersambung pada *data logger* yang ketelitiannya ditingkatkan hingga skala detik. Bila hal tersebut berhasil dilakukan, maka perhitungan SEC bisa menggunakan perhitungan global dan akurasinya akan meningkat.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Dari hasil analisis, efisiensi konsumsi energi listrik terhadap volume produksi air untuk Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3 masih di bawah standar Kementerian ESDM. Efisiensi tersebut tidak dapat dideteksi pada Rumah Pompa Mojolangu karena tidak adanya *flow meter* dan *data logger*-nya pada titik terima dan distribusi. Selain itu, SEC yang terdeteksi pada Rumah Pompa Badut, Sumpersari, Istana Dieng, dan Supit Urang sudah sangat baik.
2. Terdapat alternatif solusi yang ditawarkan, yaitu perbaikan elektris dan mekanis motor pompa pada Rumah Pompa Wendit 1, Wendit 2, dan Wendit 3. Kemudian solusi berikutnya adalah pemasangan *flow meter* dan *data logger*-nya pada Rumah Pompa Mojolangu. Secara umum, diperlukan *flow meter* di setiap titik kirim dan terima, termasuk yang bukan rumah pompa, seperti pada Reservoir Betek dan Tlogomas. Semua amperemeter dan voltmeter pada setiap motor pompa dan semua *flow meter* dianjurkan tersambung pada *data logger* yang ketelitiannya ditingkatkan hingga skala detik. Bila hal tersebut berhasil dilakukan, maka perhitungan SEC bisa menggunakan perhitungan global dan akurasi akan meningkat.

#### 6.2 Saran

Saran yang bisa diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan bisa ditambahkan analisis mekanis pompa lebih mendalam karena indikator produksi air sangat dipengaruhi pula oleh konstruksi mekanis dari pompa yang digerakkan oleh motor listrik.
2. Pada penelitian berikutnya diharapkan bisa menambahkan simulasi *starting motor* karena sangat erat kaitannya dengan penjadwalan operasional.





## DAFTAR PUSTAKA

- Choudhury, M. A., & Rahman, M. A. (1992). Determination of Operating Conditions of Submersible Induction Motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 28(3), 680-684.
- Direktorat Pengembangan Air Minum. (2014). *Pedoman Pelaksanaan Efisiensi Energi di PDAM*. Jakarta: Direktorat Pengembangan Air Minum.
- Emadi, A. (2005). *Energy-Efficient Electric Motors*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Hicks, T. G., & Edwards, T. W. (1996). *Teknologi Pemakaian Pompa*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Liang, X., Ilochonwu, O., & Adedun, R. (2012). Dynamic Response of Variable Frequency Drives in Electrical Submersible Pump Systems. *IEEE*, 1-11.
- Maheswaran, D., Kalias, K. J., Rangaraj, V., & Kumar, W. A. (2012). Energy Efficiency in Electrical Systems. *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems*. Bengaluru.
- PDAM Kota Malang. (2014). *Rencana Usaha Jangka Panjang Business Plan Tahun 2015-2019*. Malang: PDAM Kota Malang.
- Pemerintah Kota Malang. (2004). *Profil Kota Malang*. Malang: Pemerintah Kota Malang.
- Ramdhani, M. (2000). *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sularso, & Tahara, H. (1991). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- U.S. Department of Energy Industrial Technologies Program . (2004). *Variable Speed Pumping, A Guide to Successful Applications*. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy Industrial Technologies Program .
- Vasconcellos, A. B., de Carvalho, M. C., de Carvalho, J. R., & Monteiro, R. A. (2014). Electrical Efficiency and Harmonic Distortions with the Use of Frequency Converters on Systems of Water Pumping. *IEEE*, 142-164.

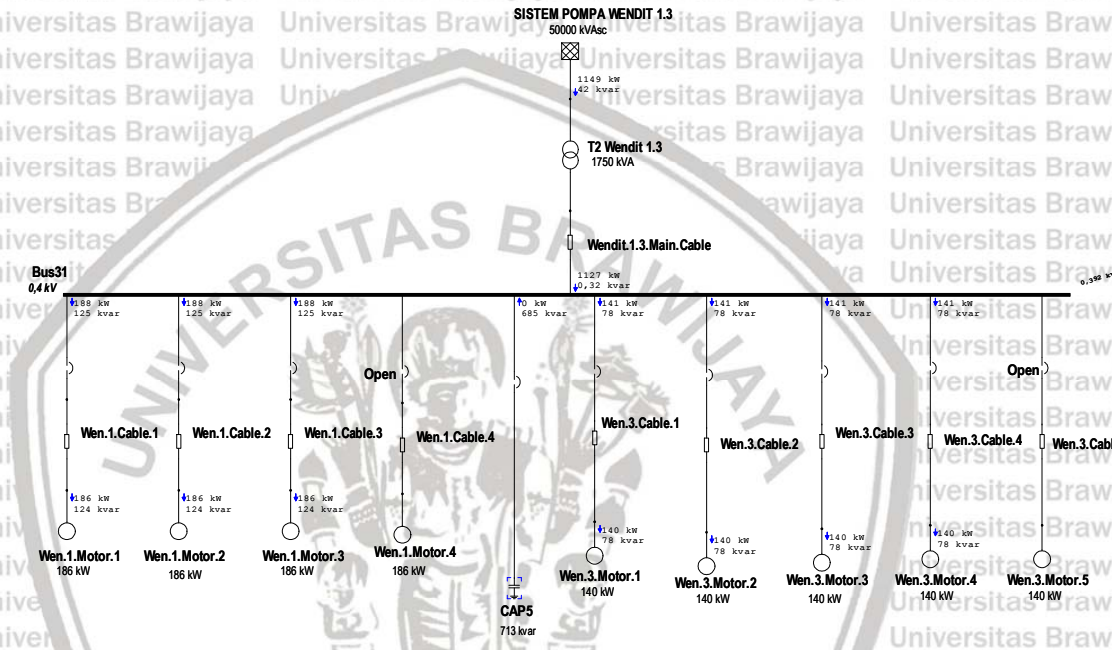




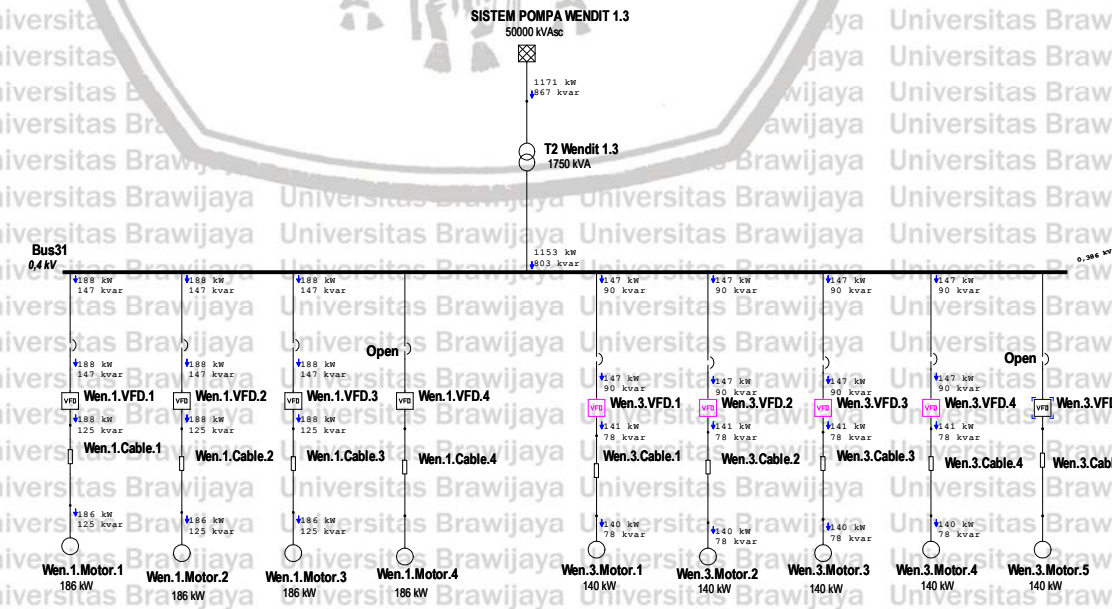
# LAMPIRAN I

## SIMULASI LOAD FLOW PADA RUMAH POMPA WENDIT 1 DAN WENDIT 3

### A. Load Flow Kondisi Menggunakan Kapasitor



### B. Load Flow Kondisi Menggunakan VFD

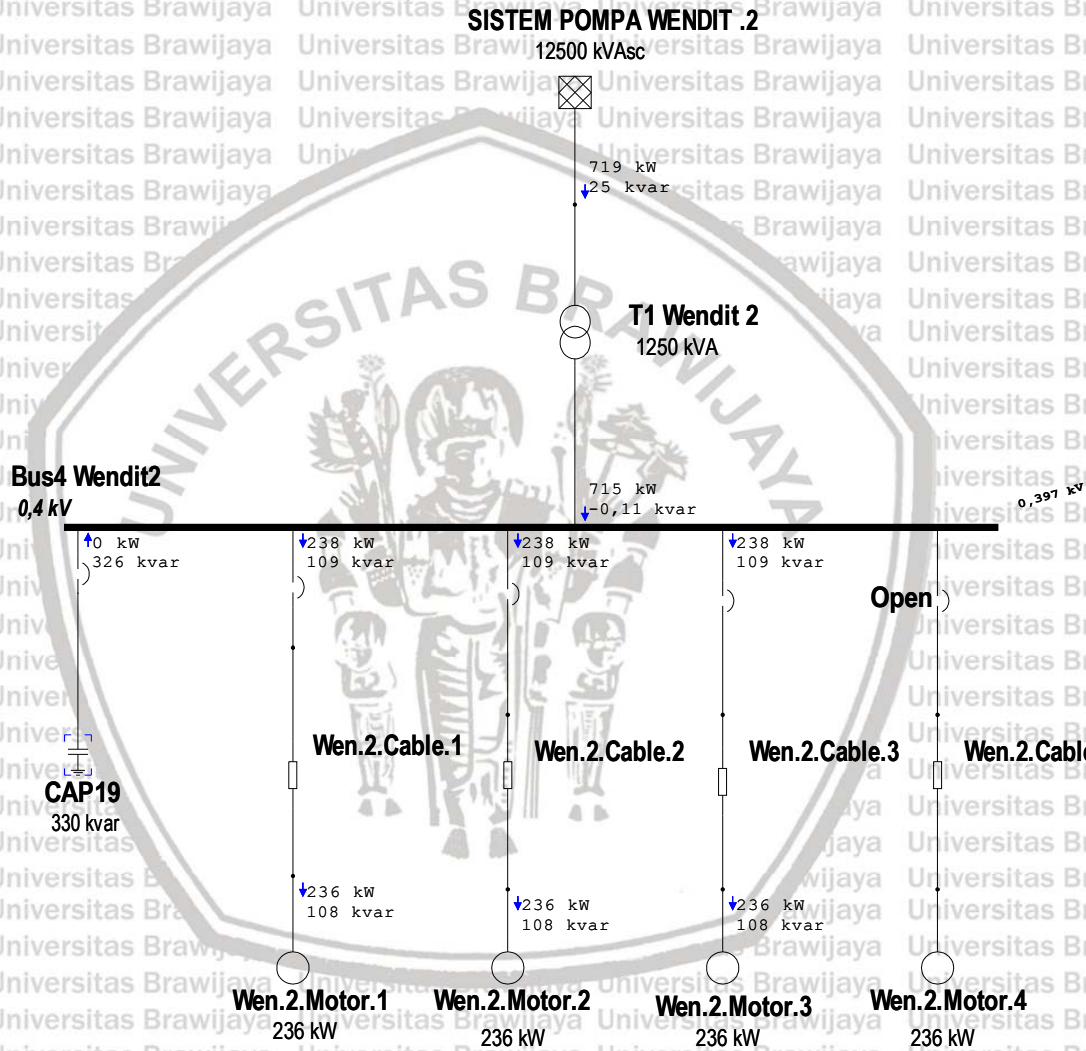




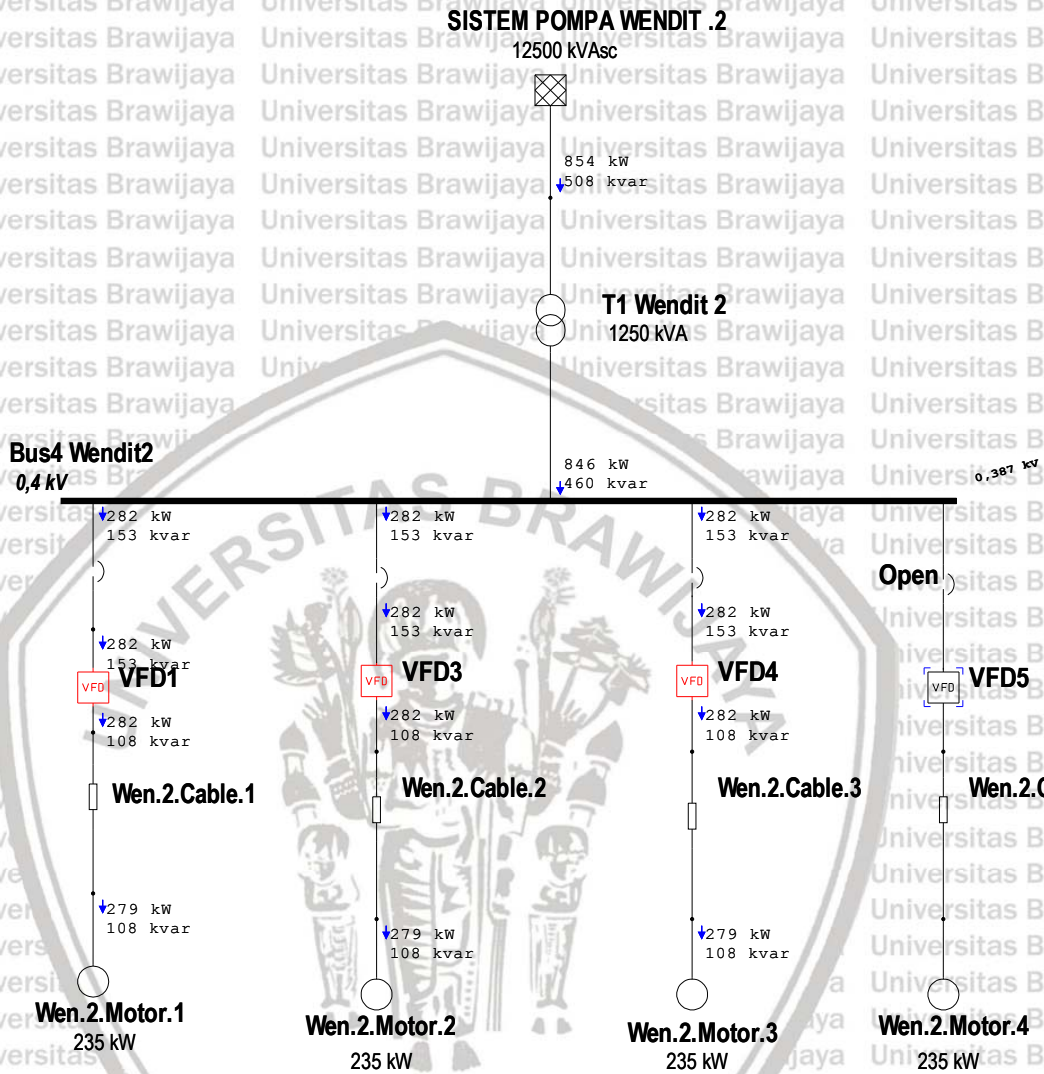
## LAMPIRAN II

### SIMULASI LOAD FLOW PADA RUMAH POMPA WENDIT 2

#### A. Load Flow Kondisi Menggunakan Kapasitor



B. Load Flow Kondisi Menggunakan VFD

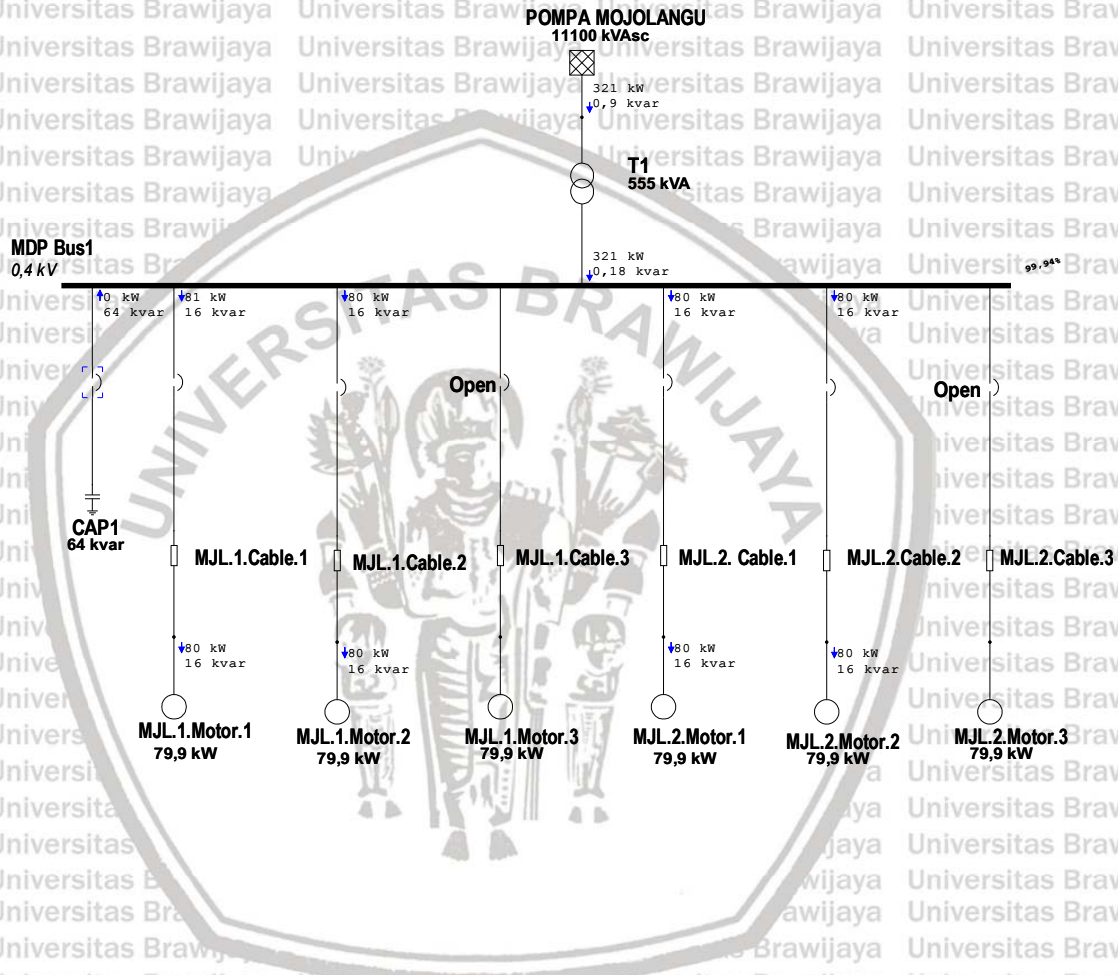




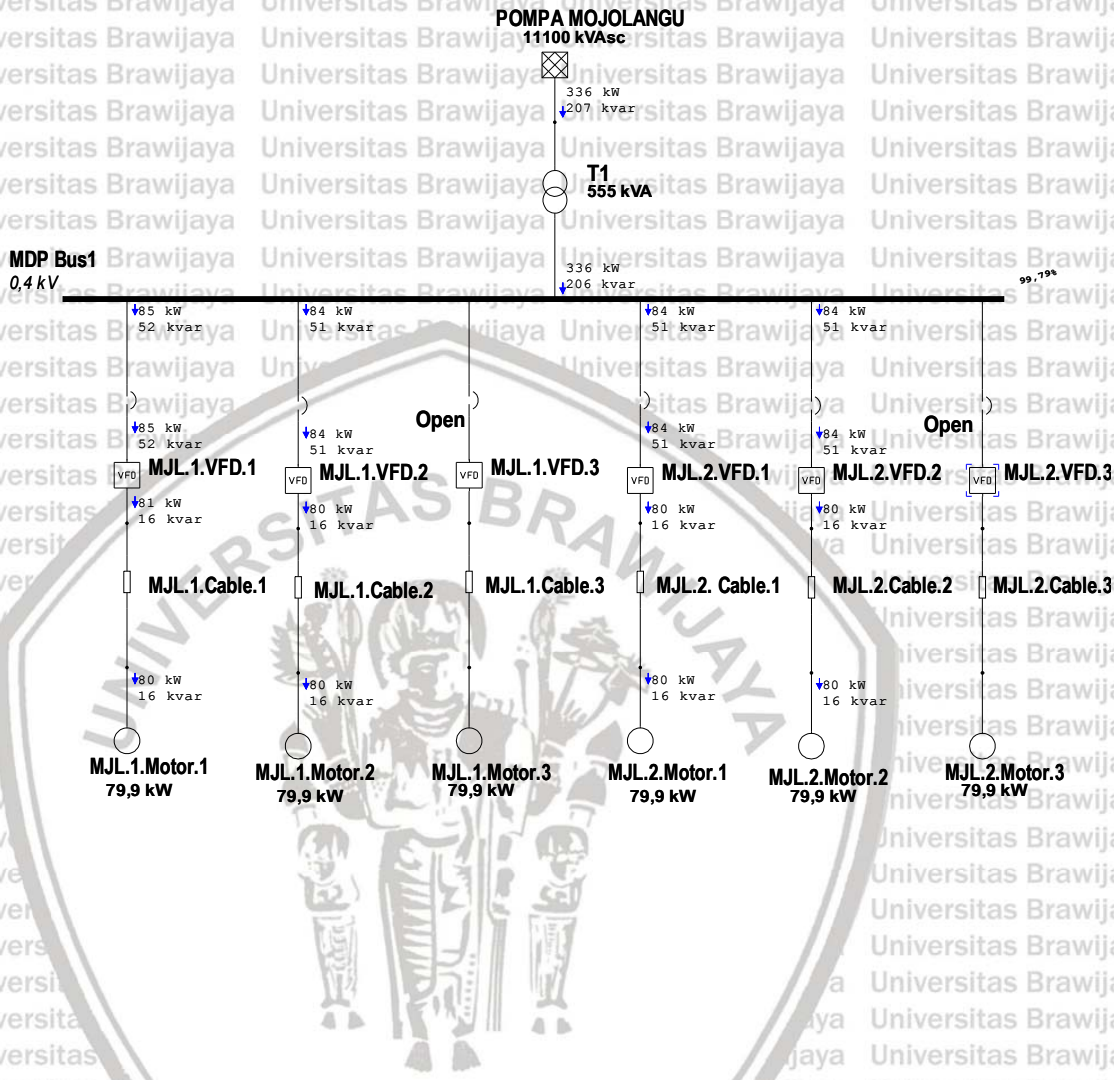
### LAMPIRAN III

## SIMULASI LOAD FLOW PADA RUMAH POMPA MOJOLANGU

### A. Load Flow Kondisi Menggunakan Kapasitor



### B. Load Flow Kondisi Menggunakan VFD

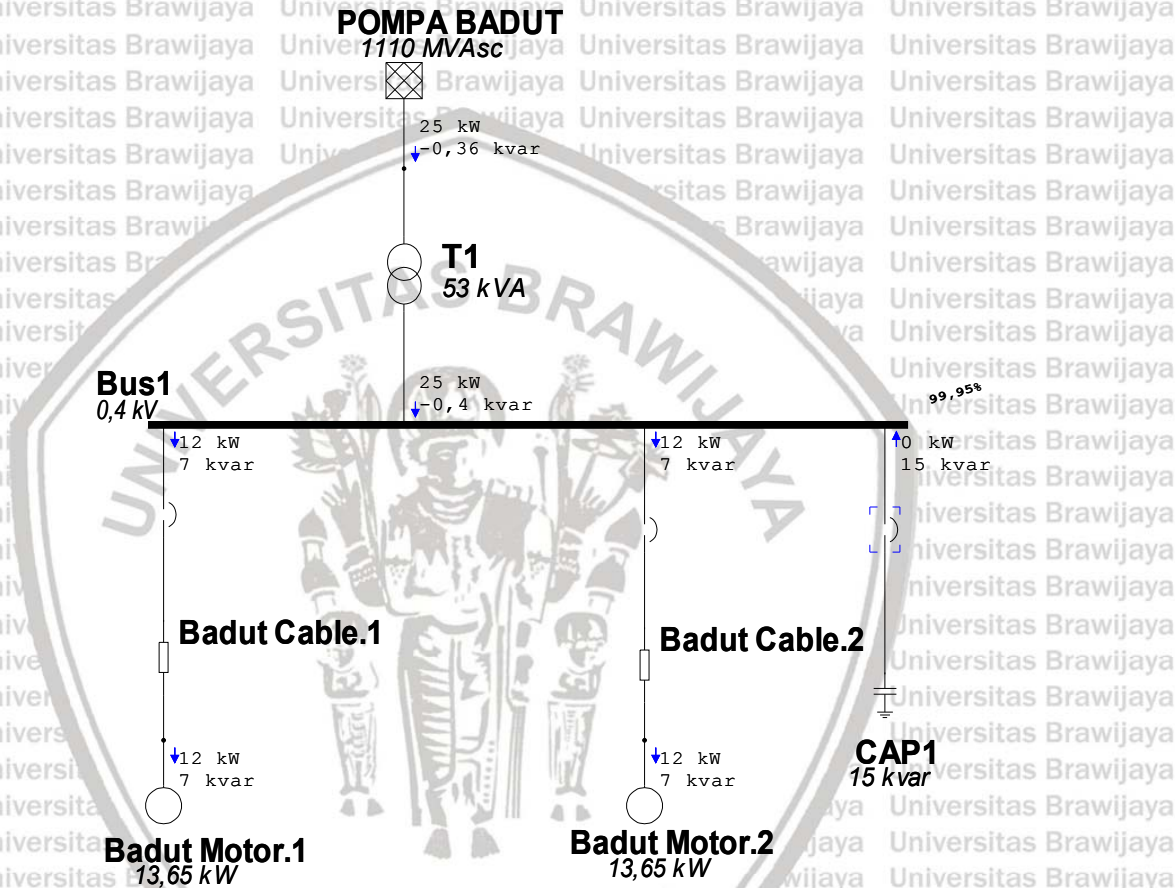




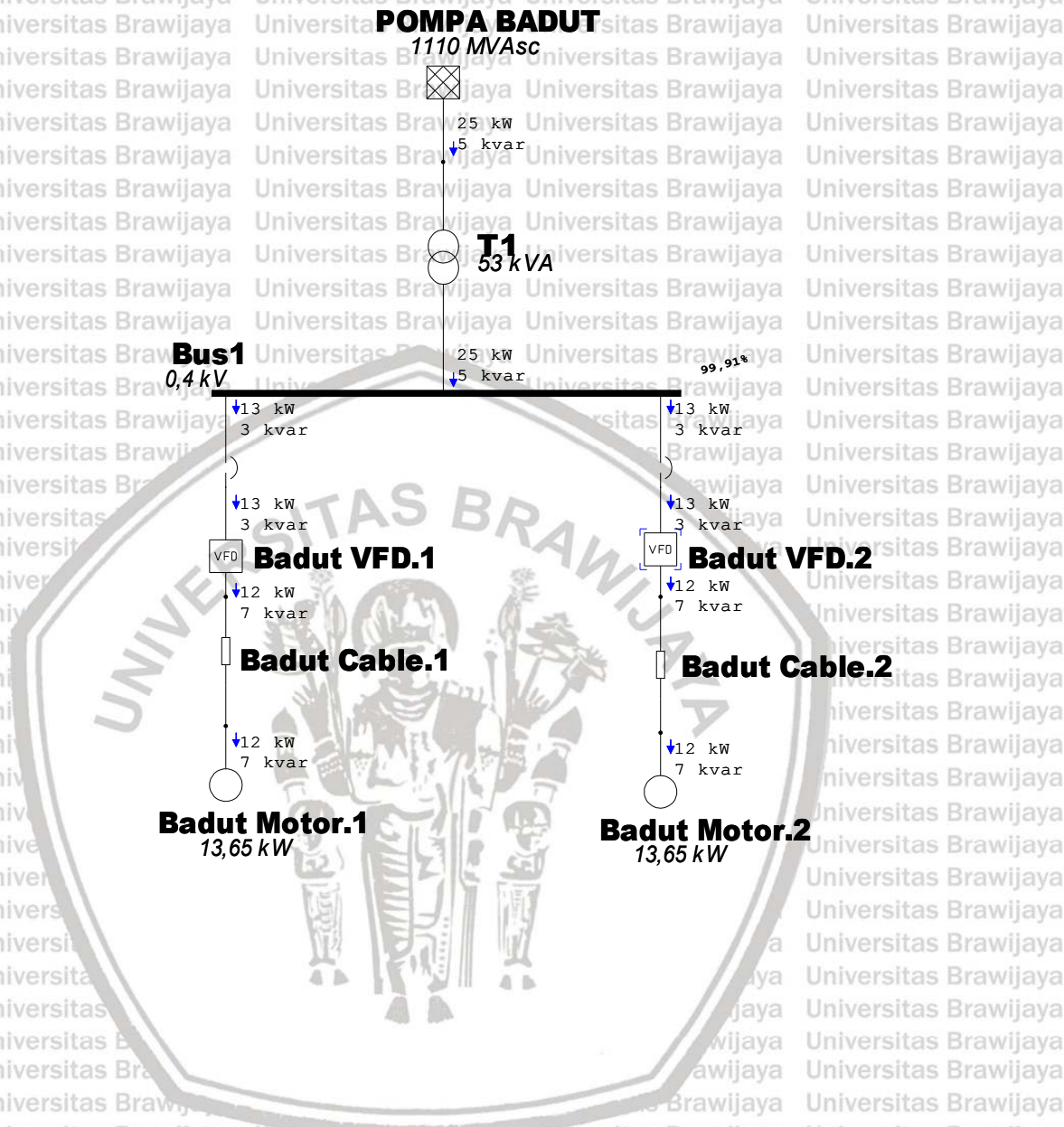
LAMPIRAN IV

SIMULASI LOAD FLOW PADA RUMAH POMPA BADUT

A. Load Flow Kondisi Menggunakan Kapasitor



B. Load Flow Kondisi Menggunakan VFD

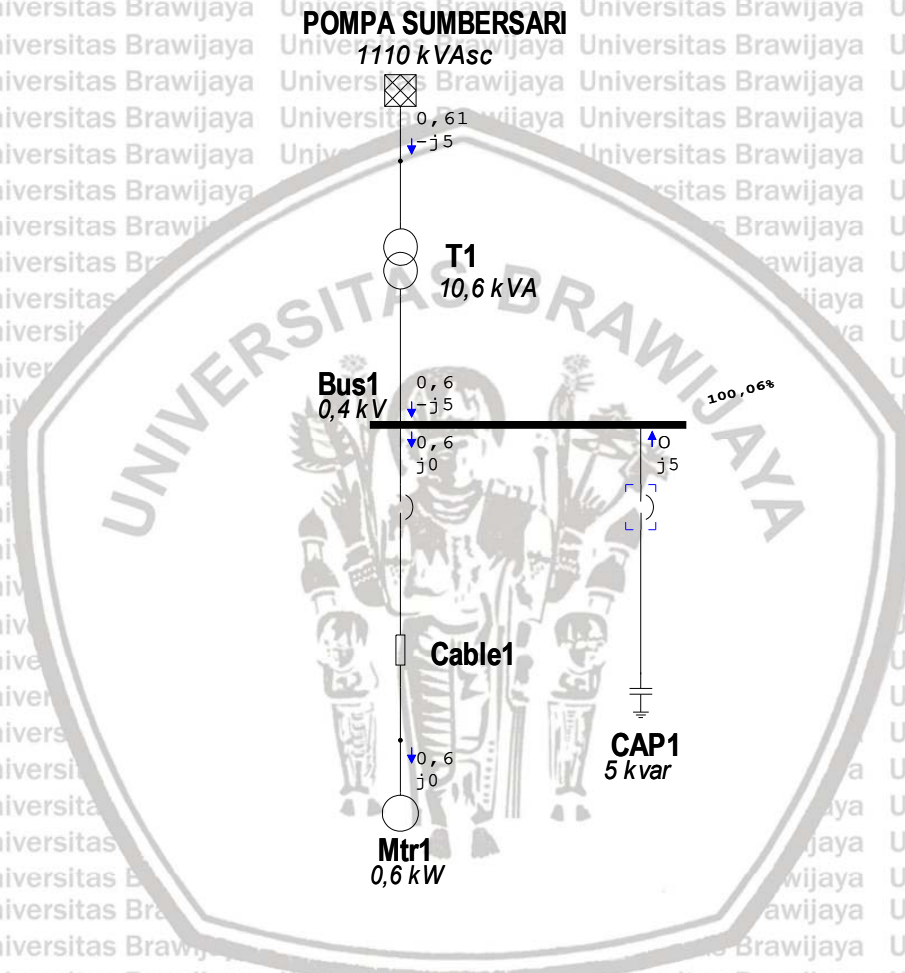




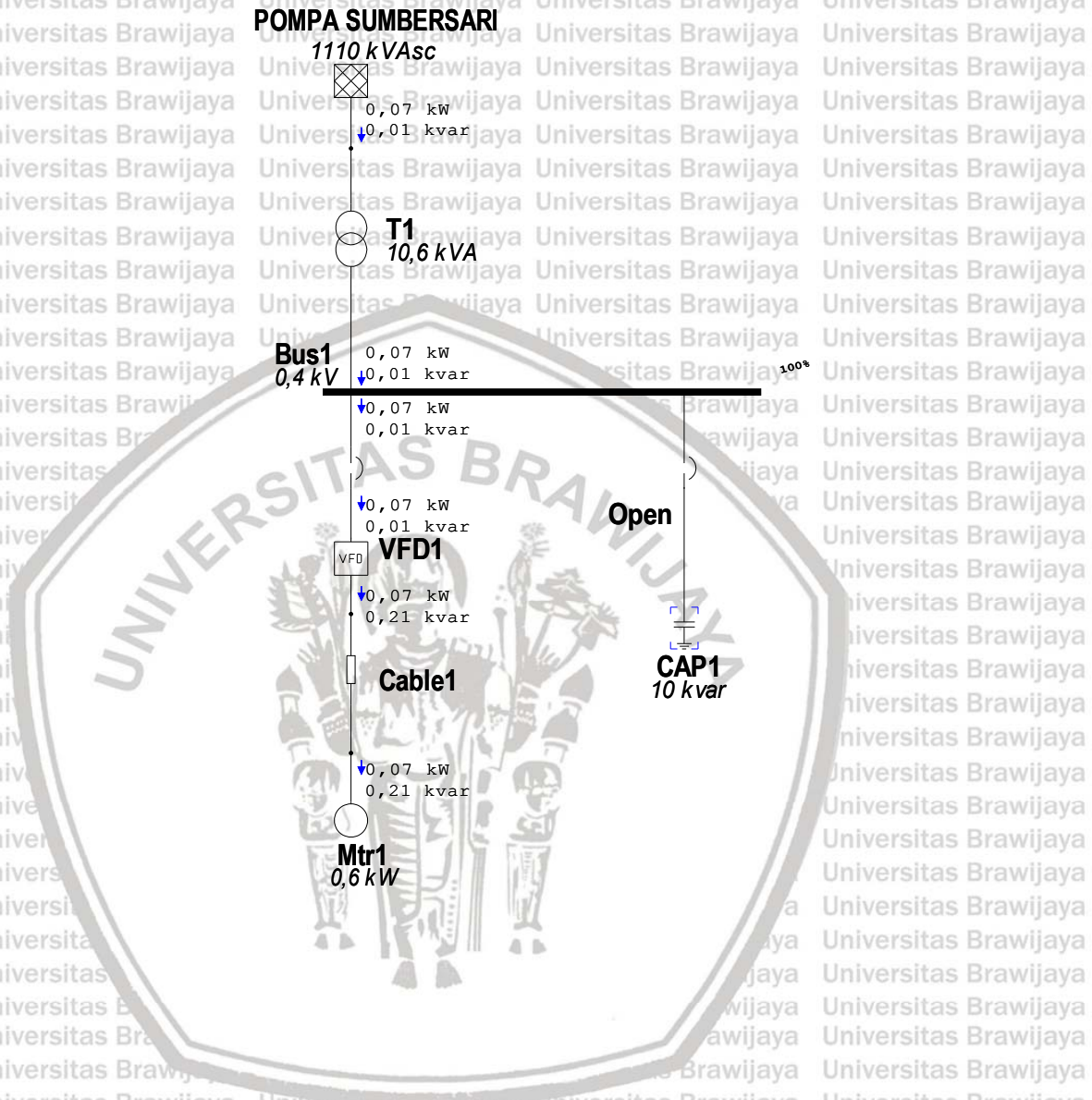
LAMPIRAN V

SIMULASI LOAD FLOW PADA RUMAH POMPA SUMBERSARI

A. Load Flow Kondisi Menggunakan Kapasitor



### B. Load Flow Kondisi Menggunakan VFD

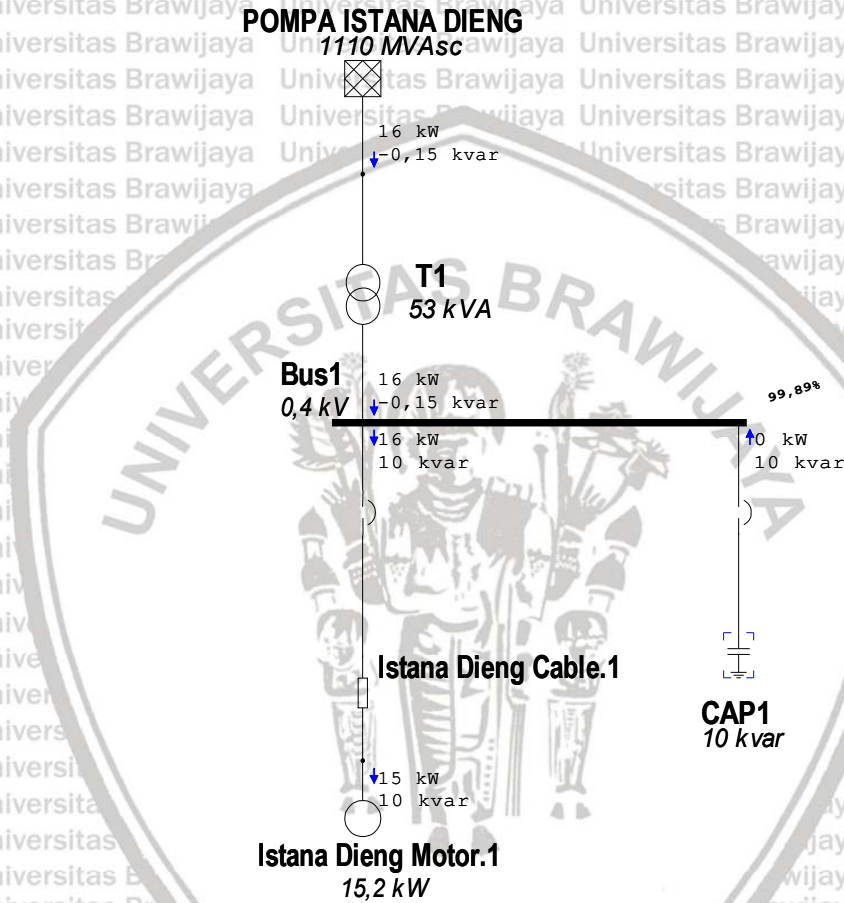




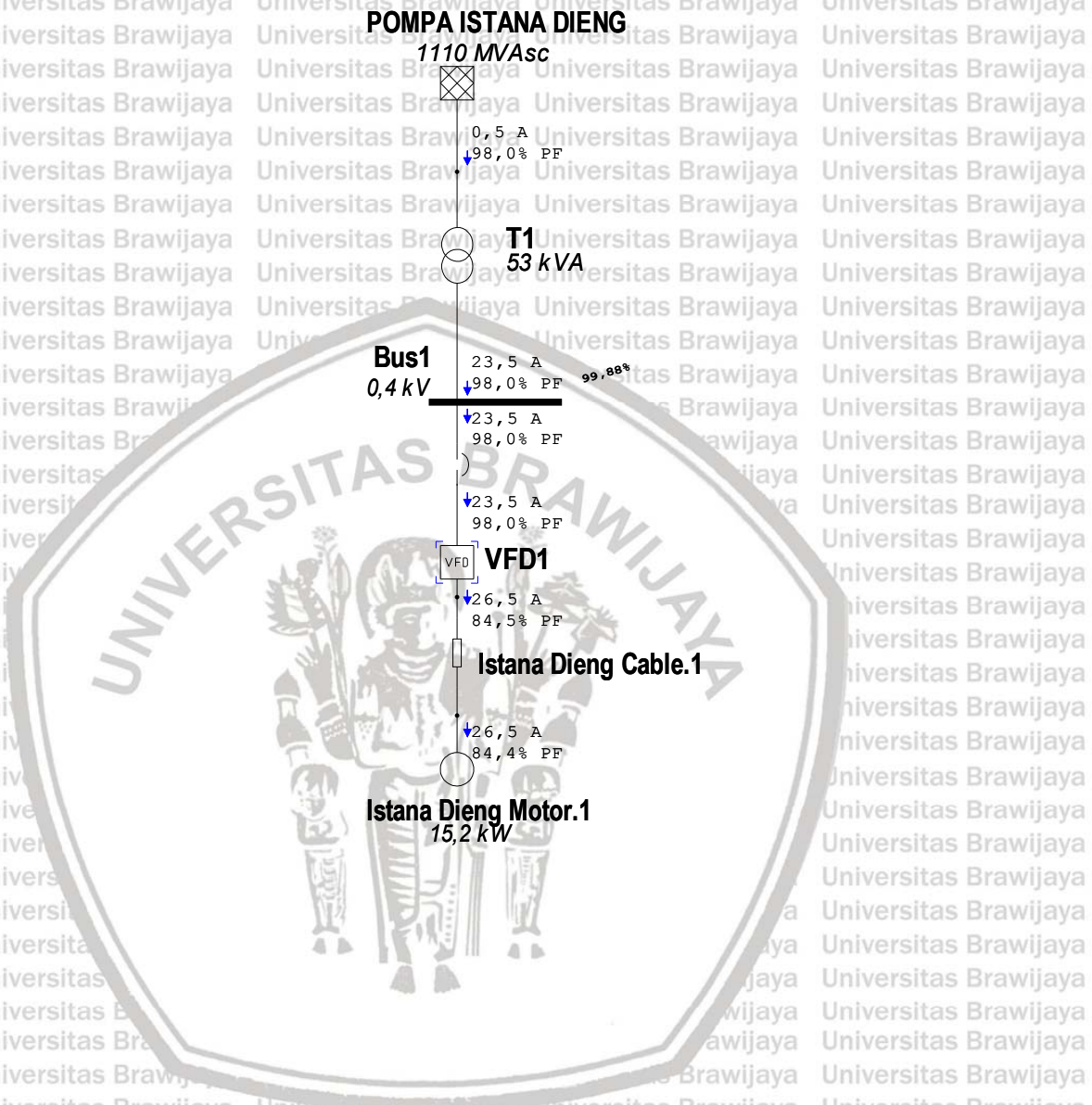
## LAMPIRAN VI

### SIMULASI LOAD FLOW PADA RUMAH POMPA ISTANA DIENG

#### A. Load Flow Kondisi Menggunakan Kapasitor



### B. Load Flow Kondisi Menggunakan VFD

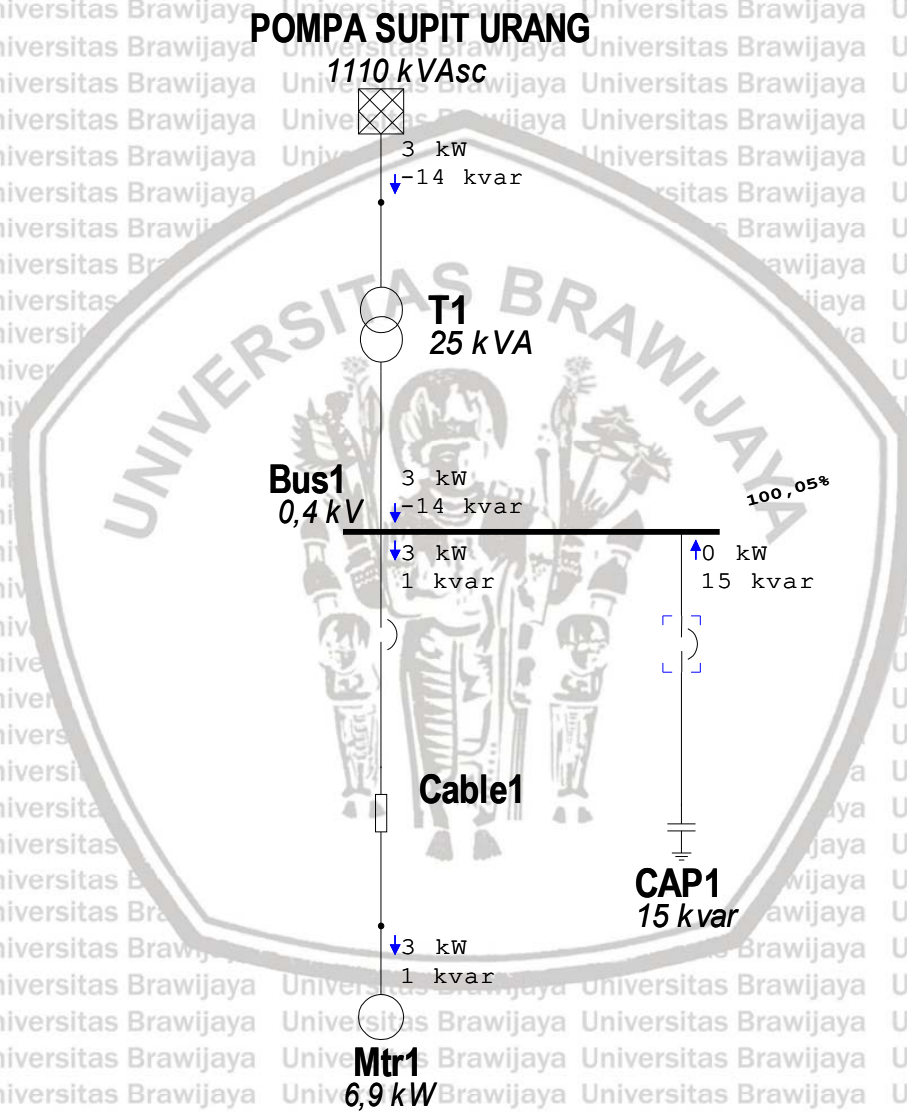




# LAMPIRAN VII

## SIMULASI LOAD FLOW PADA RUMAH POMPA SUPIT URANG

### A. Load Flow Kondisi Menggunakan Kapasitor



### B. Load Flow Kondisi Menggunakan VFD

