



TUGAS AKHIR - EE 184801

# OPTIMASI RESPON BEBAN BERBASIS INSENTIF UNTUK BEBAN RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN ALGORITMA SYMBIOTIC ORGANISM SEARCH

Miftah Ahmad Choiri  
NRP 07111540000103

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**OPTIMASI RESPON BEBAN BERBASIS INSENTIF UNTUK BEBAN  
RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN ALGORITMA SYMBIOTIC  
ORGANISM SEARCH**

Miftah Ahmad Choiri  
NRP 07111540000103

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**Final Project - EE 184801**

**INCENTIVE DEMAND RESPONSE OPTIMIZATION FOR  
RESIDENTIAL LOAD USING SYMBIOTIC ORGANISM SEARCH  
ALGORITHM**

Miftah Ahmad Choiri  
NRP 07111540000103

Supervisor

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "Optimasi Respon Beban Berbasis Insentif untuk Beban Rumah Tangga Menggunakan Algoritma Symbiotic Organism Search" adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2019



Miftah Ahmad Choiri

0711154000103

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**OPTIMASI RESPON BEBAN BERBASIS INSENTIF  
UNTUK BEBAN RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN  
ALGORITMA SYMBIOTIC ORGANISM SEARCH**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.**  
NIP. 196404051990021001

**Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.**  
NIP. 196509011991032002



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Optimasi Respon Beban Berbasis Insentif untuk Beban Rumah Tangga Menggunakan Algoritma Symbiotic Organism Search**

Nama Mahasiswa : Miftah Ahmad Choiri  
NRP : 07111540000103  
Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP : 196404051990021001  
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T  
NIP : 196509011991032002

### **ABSTRAK**

Pada program *Demand Response* (DR) yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengendalikan pola konsumsi daya listrik pada sektor rumah tangga menggunakan algoritma symbiotic organism search. Melalui program DR berbasis insentif ini pengguna rumah tangga dapat peralatan listrik dapat dikontrol sehingga beban puncak akan berkurang, stabilitas dan efisiensi jaringan akan meningkat. Peralatan elektronik kategori non esensial di alihkan pada jam-jam tidak sibuk agar didapatkan tagihan listrik yang lebih murah. Agar masyarakat bersedia peralatan rumah tangganya dikontrol secara terpusat, maka penyedia energi memberikan program insentif berupa pengurangan harga pada jam-jam beban rendah. Salah satu algoritma *Symbiotic Organism Search* (SOS) dapat digunakan sebagai metode optimasi program *demand response* sehingga didapatkan penjadwalan harga dan jadwal program insentif yang optimal bagi pelanggan. Dalam tugas akhir ini, SOS akan dibandingkan dengan algoritma *Genetic Algorithm* (GA) untuk metode pembandingan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam melakukan penjadwalan beban rumah tangga. Sedangkan teknologi *Home Energy Management System* (HEMS) digunakan untuk memonitor dan mengontrol peralatan secara *real time* dan terpusat. Hasil simulasi menggunakan program GA dapat berkurang hingga 10.9%. Sedangkan hasil analisa menggunakan program SOS dapat berkurang hingga 17.5%. Hasil dari simulasi program DR akan diterapkan pada salah satu fitur aplikasi manajemen energi skala rumah tangga.

**Kata Kunci** : *Demand Response, Optimasi, Symbiotic Organism Search, Penjadwalan Beban*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Incentive Demand Response Optimization for Residential Load using Symbiotic Organism Search Algorithm**

Name : Miftah Ahmad Choiri  
NRP : 07111540000103  
Supervisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP : 196404051990021001  
Supervisor II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.  
NIP : 196509011991032002

### **ABSTRACT**

Demand Response (DR) program carried out in this final project research aims to control the pattern of electric power consumption in the household sector using the symbiotic organism search algorithm. Through this incentive-based DR program household users can control electrical equipment so that peak loads will be reduced, network stability and efficiency will increase. Non-essential electronic equipment is diverted at busy hours to get cheaper electricity bills. In order for the community to be willing to control their household equipment centrally, the energy provider provides an incentive program in the form of price reductions at low load hours. One of the Symbiotic Organism Search (SOS) algorithms can be used as a method of optimizing the demand response program so that price scheduling and optimal incentive program scheduling are obtained for customers. In this final project, SOS will be compared with the Genetic Algorithm (GA) algorithm for comparison methods to get more optimal results in scheduling household expenses. While Home Energy Management System (HEMS) technology is used to monitor and control equipment in real time and centrally. The simulation results using the GA program can be reduced to 10.9%. While the results of the analysis using the SOS program can be reduced by up to 17.5%. The results of the DR program simulation will be applied to one of the features of a household scale energy management application.

**Keywords** : *Demand Response, Optimization, Symbiotic Organism Search, Load Scheduling*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Optimasi Respon Beban Berbasis Insentif untuk Beban Rumah Tangga Menggunakan Algoritma Symbiotic Organism Search”.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu, Ayah dan kakak penulis di rumah yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan semangat kepada penulis baik dalam keadaan senang ataupun susah.
3. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T dan Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Ontoseno Penangsang, Dr. Dimas Fajar Uman Putra dan Rony Seto Wibowo, beserta teman-teman asisten, trainee dan calon trainee serta member lab PSSL B103 yang telah menciptakan dan memberikan dukungan, penjelasan, dan juga suasana kondusif dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Bapak Suyanto yang telah memberikan banyak motivasi dan arahan sejak awal pengajuan tugas akhir ini sampai kini selesainya tugas akhir ini.
6. Seluruh asisten Bani Etab (Arba, Elva, Shafira, Restu, Baihaqi, Saad, Gracia, Eunike, Sihotang) yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama menjabat sebagai asisten *Power System Simulation Laboratory* 2018-2019

7. Trainee angkatan 206 dan 2017 yang merupakan sobat perjuangan PSSSL 2016 – 2017.
8. Seluruh teman-teman e55, terima kasih atas cerita dan perhatiannya selama ini.
9. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro yang telah berjasa selama empat tahun membantu penulis selama kuliah dan telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Mei 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	22
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I.....	1
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan.....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Relevansi .....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Smart Grid</i> .....	7
2.2 <i>Dynamic Pricing</i> .....	8
2.3 <i>Demand Response</i> .....	10
2.4 Algoritma SOS.....	13
2.4.1 Konsep Dasar SOS .....	14
2.4.2 Fitur Algoritma SOS.....	14
2.5 Pemodelan Peralatan Listrik Rumah Tangga .....	17
2.5.1 Beban Inelastis Wajib (Base Load).....	18
2.5.2 Beban Inelastis Prioritas Pemilik Rumah.....	18
2.5.3 Beban Elastis Rumah Tangga.....	19

2.6	<i>Home Energy Management System</i> .....	19
BAB 3	.....	21
METODE PENELITIAN	.....	21
3.1	Algoritma .....	21
3.2	Pemodelan Beban Rumah Tangga pada Matlab .....	22
3.3	Penerapan Algoritma SOS pada DR.....	24
3.4	Algoritma SOS pada Matlab .....	25
3.5	Pemodelan DR Berbasis Aplikasi Digital.....	27
BAB 4	.....	30
SIMULASI DAN ANALISIS	.....	31
4.1	Simulasi 3 harga dinamik dengan Beban .....	31
4.2	Analisa Pemindahan Beban Setelah DR.....	34
4.3	Analisa Tagihan Listrik Skema A, B, C .....	39
BAB V	.....	49
PENUTUP	.....	49
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA	.....	51
RIWAYAT HIDUP	.....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Diagram sistem smart grid terdiri dari beberapa penyedia layanan energi [10] .....	7
Gambar 2.2	Variasi skema <i>dynamic pricing</i> beserta besar rewardnya.....	8
Gambar 2.3	Grafik <i>real time pricing</i> .....	9
Gambar 2.4	Kategori manajemen energi sisi beban [11] .....	10
Gambar 2.5	Home Energy Management System.....	19
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian Tugas Akhir Demand Response	21
Gambar 3.2	Profil Beban Rumah Tangga 24 Jam.....	23
Gambar 3.3	Harga Listrik Dinamik Perjam Selama 24 Jam.....	23
Gambar 3.4	Algoritma Symbiotic Organism Search.....	25
Gambar 3.5	Skema demand response.....	28
Gambar 4. 1	Grafik 3 Skema Harga Dynamic .....	32
Gambar 4.2	Penjadwalan beban fleksibel sebelum demand response.....	33
Gambar 4. 3	Simulasi Load Shift Skema Harga Dinamik A .....	34
Gambar 4. 4	Plot Profil Beban DR dengan GA (atas) dan SOS (bawah).....	35
Gambar 4. 5	Simulasi Load Shift Skema Harga Dinamik B .....	36
Gambar 4. 6	Plot Profil Beban DR dengan GA (atas) dan SOS (bawah).....	36
Gambar 4. 7	Simulasi Load Shift Skema Harga Dinamik C .....	37
Gambar 4. 8	Plot Profil Beban DR dengan GA (atas) dan SOS (bawah).....	38
Gambar 4. 9	x Plot Tagihan Tanpa DR, DR with GA, dan DR with SOS .....	40
Gambar 4. 10	Perbandingan Tagihan Tanpa DR, with GA, dan with SOS .....	41
Gambar 4. 11	Perbandingan Tagihan Akhir Tanpa DR, with GA, dan with SOS Skema A.....	41

Gambar 4. 12	Plot Tagihan Tanpa DR, DR with GA, dan DR with SOS .....	42
Gambar 4. 13	Perbandingan Tagihan Tanpa DR, with GA, dan with SOS .....	43
Gambar 4. 14	Perbandingan Tagihan Akhir Tanpa DR, with GA, dan with SOS Skema B .....	44
Gambar 4. 15	Plot Tagihan Tanpa DR, DR with GA, dan DR with SOS .....	45
Gambar 4. 16	Perbandingan Tagihan Tanpa DR, with GA, dan with SOS .....	46
Gambar 4. 17	Perbandingan Tagihan Akhir Tanpa DR, with GA, dan with SOS Skema Harga Dinamik C .....	47
Gambar 4. 18	Tampilan Fitur Program Demand Response .....	47
Gambar 4. 19	Tampilan Fitur Harga Dinamik pada Aplikasi.....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelompok Beban Inelastis wajib tiap rumah.....	18
Tabel 2. 2 Kelompok Peralatan Inelastis prioritas tiap rumah .....	18
Tabel 2. 3 Kelompok Peralatan Elastis tiap Rumah Tangga .....	19
Tabel 4. 1 Data harga listrik dinamik A, B, & C .....	31
Tabel 4. 2 Data input konsumsi tiap beban dalam watt/jam .....	32
Tabel 4. 3 Data Simulasi Pemindahan skema harga dinamik A .....	35
Tabel 4. 4 Data Simulasi Pemindahan dengan skema A .....	37
Tabel 4. 5 Data Simulasi Pemindahan dengan skema A .....	38
Tabel 4. 6 Data Tagihan Listrik Respon Beban dengan skema A ...	39
Tabel 4. 7 Data Tagihan Listrik Respon Beban dengan skema B....	42
Tabel 4. 8 Data Tagihan Listrik Respon Beban dengan skema C....	44

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya teknologi disruptif seperti solar rooftop, energy storage, dan electric vehicle jaringan listrik perlu dikembangkan menjadi jaringan yang lebih efisien, flexible, dan handal atau sering disebut sistem jaringan listrik cerdas (*smart grid*). Salah satu teknologi untuk meningkatkan kehandalan jaringan distribusi dan menurunkan efisiensi jaringan adalah teknologi *Demand Side Management* (DSM). Management sisi beban atau DSM adalah metode yang paling murah untuk menciptakan keseimbangan antara beban puncak dan pembangkitan khususnya di jaringan listrik [1]. Salah satu program DSM adalah *Demand Response* yang bertujuan untuk mengendalikan pola konsumsi daya listrik khususnya pada sektor rumah tangga. Jika sektor rumah tangga kebutuhan listrik rumah tangga dapat dikontrol, beban puncak akan berkurang, stabilitas dan efisiensi jaringan akan meningkat [2]. Peralatan elektronik kategori non esensial dapat di alihkan pada jam-jam tidak sibuk [3].

Agar masyarakat bersedia peralatan rumah tangganya dikontrol secara terpusat, maka program demand response memberikan insentif berupa pengurangan harga pada jam-jam beban rendah [4]. Untuk mendapatkan penjadwalan harga dan jadwal program insentif yang optimal bagi pelanggan, diperlukan studi optimasi prediksi harga untuk menyesuaikan dengan survey kekertarikan konsumen ikut serta dalam program demand response. Optimalisasi teknik penjadwalan dapat dilakukan menggunakan algoritma Heuristic seperti *Evolutionary Algorithm* (EA) untuk mendapatkan penjadwalan optimal [5]. *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk penjadwalan *interruptible loads* [6]. Dan *Cuckoo Search* (CS) untuk penjadwalan beban adaptif [2]. Pada penelitian ini akan dilakukan optimalisasi penjadwalan beban menggunakan algoritma *Symbiotic Organism Search* (SOS).

Dalam tugas akhir ini, akan dibahas tentang salah satu metode algoritma Heuristik yaitu *Symbiotic Organism Search* (SOS). Tujuan dari penelitian ini akan digunakan untuk metode optimasi penentuan

signal DR yang dapat menurunkan *Peak Average Ratio* (PAR) kurva beban dan memberikan program insentif bagi konsumen. Program ini akan diintegrasikan dengan teknologi *Home Energy Management System* (HEMS) sehingga dapat digunakan konsumen mengontrol penjadwalan peralatan secara otomatis. Pengiriman signal demand response dilakukan secara *real time*. Informasi dan hasil report dari program manajemen energi akan ditampilkan pada aplikasi mobile demand response.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah tentang:

1. Bagaimana menciptakan sistem penjadwalan beban berbasis program insentif untuk mengurangi konsumsi daya listrik dan rata-rata beban puncak di sektor rumah tangga?
2. Bagaimana algoritma symbiotic organism search untuk optimasi penjadwalan beban?
3. Bagaimana dampak optimasi penjadwalan beban terhadap konsumen rumah tangga dan perusahaan utilitas?

## 1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Didapatkan system penjadwalan beban berbasis program insentif untuk mengurangi konsumsi daya dan rata-rata beban puncak di rumah tangga.
2. Mengimplementasikan algoritma symbiotic organism search pada program optimasi respon beban di sector rumah tangga.
3. Mengetahui dampak optimasi penjadwalan beban terhadap konsumen rumah tangga dan perusahaan utilitas.

## 1.4 Batasan

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini terdapat batasan yang diperlukan, yaitu:

1. Pengguna energi listrik dibatasi hanya untuk pengguna skala rumah tangga yang telah bersedia mengikuti program *demand response*.
2. Data RTP dibatasi selang waktu satu hari pada bulan Januari 2017.



3. Harga Real Time Pricing diambil dari harga dinamik yang dikeluarkan oleh perusahaan utilitas listrik di Jerman yang bernama *Neon Neue Energie*.
4. Beban yang dipindahkan merupakan beban yang menyala pada jam-jam tertentu dan berkapasitas besar.
5. Rumah tangga diasumsikan telah memiliki perangkat *Home Energy Management System (HEMS)* yaitu *smart meter* atau *smart switch* sebagai alat pengukur daya dan pengatur beban secara otomatis dan jarak jauh.
6. Jumlah peralatan dan total daya konsumsi didapatkan dari smart meter yang telah terinstal di sistem kelistrikan rumah tangga.
7. Penghematan yang didapatkan merupakan hasil dari prediksi harga dan penjadwalan tanpa ada bantuan renewable energy yang terpasang pada rumah.
8. Total konsumsi listrik dari peralatan sesuai dengan spesifikasi beban pemilik rumah yang ikut serta dalam program *demand response*.
9. Peralatan pada penelitian ini sebatas peralatan yang dipaksa untuk beroperasi secara konstan tanpa ada perubahan konsumsi energi ketika sedang beroperasi.

## 1.5 Metodologi

1. Studi Literatur  
Studi literatur berdasarkan paper, jurnal, maupun buku yang menjelaskan tentang aplikasi manajemen energi, pemodelan sistem peralatan rumah tangga, *dynamic pricing*, skema respon beban, dan algoritma *Symbiotic Organism Search*.
2. Pemodelan Sistem  
Data peralatan dari partisipan program DR yang telah dikumpulkan kemudian dikelompokkan dan dimodelkan kedalam bentuk matematis berdasar data yang diperoleh.
3. Perancangan Program  
Program Optimasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah algoritma *Symbiotic Organism Search* yang digunakan untuk mengoptimasi penjadwalan peralatan. Pembandingan program optimasi SOS akan digunakan untuk

membandingkan biaya konsumsi sebelum dan sesudah optimasi.

4. Simulasi

Simulasi dilakukan pada program Matlab berdasarkan pada permasalahan dan batasan yang ada. Hasil dari simulasi inilah yang akan dianalisa untuk diketahui seberapa besar dampak dan efisiensi kepada konsumen maupun perusahaan utilitas setelah dilakukan optimasi.

5. Implementasi

Dari luaran simulasi, akan diimplementasikan pada aplikasi manajemen energi skala rumah tangga berbasis web. Aplikasi manajemen energi tersebut yang digunakan konsumen dalam melakukan penjadwalan peralatan secara tersentral. Platform manajemen energi tersebut terintegrasi dengan HEMS yaitu peralatan *smart switch & smart meter* yang telah terinstal di dalam setiap rumah partisipan program *demand response*.

6. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan implementasi dapat di tarik kesimpulan hasil dari penelitian yang telah dijalankan.

7. Penyusunan Laporan

Pembuatan laporan dilakukan setelah seluruh tahap penelitian telah dilaksanakan yang selanjutnya kesimpulan dan hasil dari seluruh tahapan penelitian ditulis dalam laporan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### BAB I      Pendahuluan.

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari pengerjaan tugas akhir, tujuan, permasalahan, batasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan dan relevansi pengerjaan tugas akhir.

### BAB II      Manajemen Energi Sisi Beban, Pemodelan Beban Listrik Rumah Tangga, Dynamic Pricing, Symbiotic Organism Search, Respon Beban, serta Penjadwalan Beban Listrik Rumah Tangga. Sebagai objek kajian pada tugas akhir ini.

- BAB III** Perancangan dan Pemodelan  
Pada tahap ini akan menjelaskan mengenai penerapan algoritma *Symbiotic Organism Search* untuk mendapatkan penjadwalan optimal berdasarkan keinginan rumah tangga partisipan *demand response*. pengelompokan peralatan kelistrikan partisipan program DR, dan penjadwalan penggunaan peralatan listrik untuk mendapatkan penghematan dalam tagihan listrik dan pengurangan rata-rata beban puncak utilitas.
- BAB IV** Simulasi dan Analisis.  
Pada tahap ini akan dijelaskan setiap langkah dari penelitian yang dilakukan, serta analisis hasil luaran dari simulasi yang menjadi penelitian.
- BAB V** Penutup.  
Pada tahap akhir ini memberikan penjelasan mengenai kesimpulan dan saran dari hasil penelitian pada tugas akhir ini.

## **1.7 Relevansi**

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

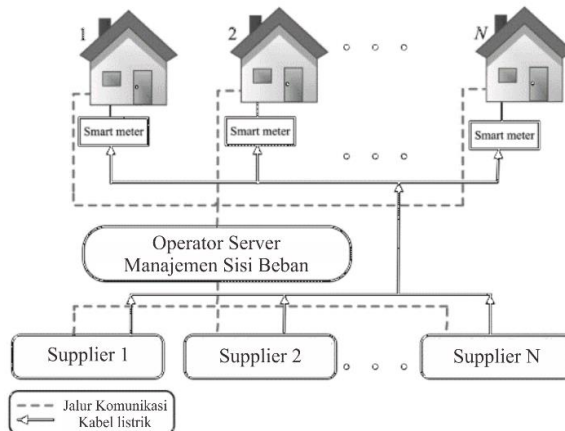
1. Didapatkan sistem optimasi respon beban skala rumah tangga.
2. Menjadi produk aplikasi sistem manajemen energi yang dapat menguntungkan bagi konsumen maupun perusahaan utilitas.
3. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik *Demand Side Management* pada sistem *Smart Grid*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Smart Grid*

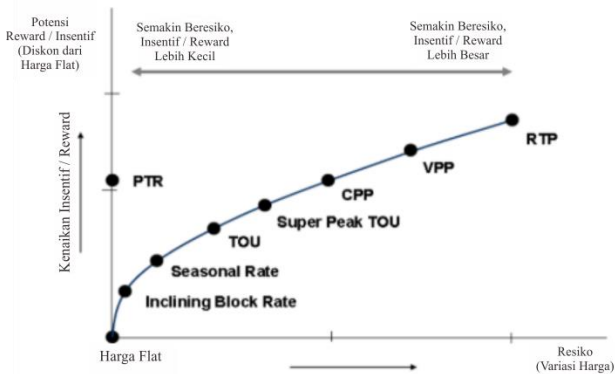
Smart Grids adalah jaringan listrik pintar yang mampu mengintegrasikan aksi-aksi atau kegiatan dari semua pengguna, mulai dari pembangkit sampai ke konsumen dengan tujuan agar efisien, berkelanjutan, ekonomis dan suply listrik yang aman [7]. Sistem Jaringan Smart Grids juga meningkatkan konektivitas, otomatisasi, koordinasi antara pemasok dengan konsumen, dan memodernisasi fitur jaringan seperti manajemen sisi beban, pembangkitan, harga real-time, dan aktivasi dan pembacaan meter otomatis [8]. Salah satu inovasi teknologi di jaringan smart grid adalah *Demand Side Management* (DSM), teknologi ini mengintegrasikan dan mengkoordinasikan antara system pembangkitan dan konsumen. Beban puncak dapat hindari dengan penerapan *demand side management* (DSM) khususnya *demand response* (DR).



**Gambar 2. 1** Diagram sistem smart grid terdiri dari beberapa penyedia layanan energi [9]

## 2.2 Dynamic Pricing

Ada beberapa jenis penetapan harga listrik untuk membantu mengurangi konsumsi daya konsumen. *Dynamic Pricing* adalah strategi penetapan harga yang dapat berubah-ubah berdasarkan waktu *demand response*. Menurut [10], ada berbagai skema penetapan harga berdasarkan waktu *demand response*, seperti penetapan harga secara *time-of-use* (TOU), *peak load pricing* (PLP), *Vickrey-Clarke-Groves* (VCG), *peak-day-rebates* (PDR), *critical peak pricing* (CPP), *flat pricing*, dan *real-time pricing* (RTP). Setiap skema memiliki variasi di dalamnya.

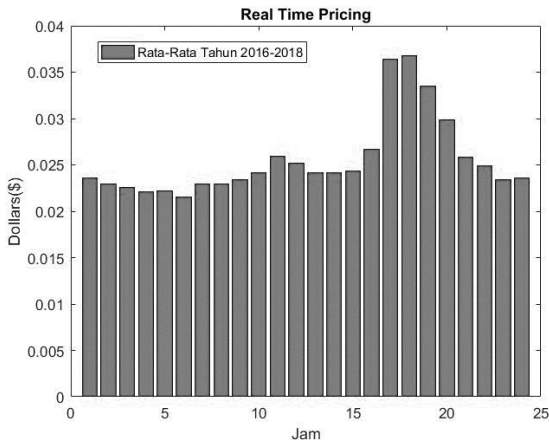


**Gambar 2.2** Variasi skema *dynamic pricing* beserta besar rewardnya

*Dynamic pricing* yang paling sederhana adalah skema TOU, dimana harga dinamis menyesuaikan harga pada waktu beban puncak (WBP) dan lewat waktu beban puncak (LWBP). Skema selanjutnya adalah RTP, dimana harga listrik ditampilkan secara realtime sesuai dengan penggunaan sebenarnya namun membutuhkan teknologi yang menghubungkan konsumen dengan produsen. Sedangkan skema CPP yaitu menetapkan harga tinggi pada saat konsumsi tinggi, bencana, dan kondisi genting lainnya.

Pola konsumsi listrik di Indonesia berbeda dengan pola konsumsi di Amerika, waktu beban puncak di Amerika terjadi pada pagi hari hingga sore hari karena mayoritas konsumsi dipicu oleh kegiatan industri dan bisnis. Berbeda dengan Indonesia dimana waktu beban puncak terjadi pada pukul 17:00 hingga 22:00 karena dipicu oleh

aktifitas rumah tangga. Di Indonesia sebenarnya telah melaksanakan skema *Dynamic Pricing* tetapi dalam lingkup industri dengan alasan kemudahan manajemen dan jumlahnya sedikit. Sedangkan untuk komersil rumah tangga belum diterapkan. Ini menjadi peluang untuk menggunakan berbagai model optimasi untuk menentukan skema harga dinamik. Model *dynamic pricing* pada penelitian ini yang digunakan adalah model *real time pricing* [10].

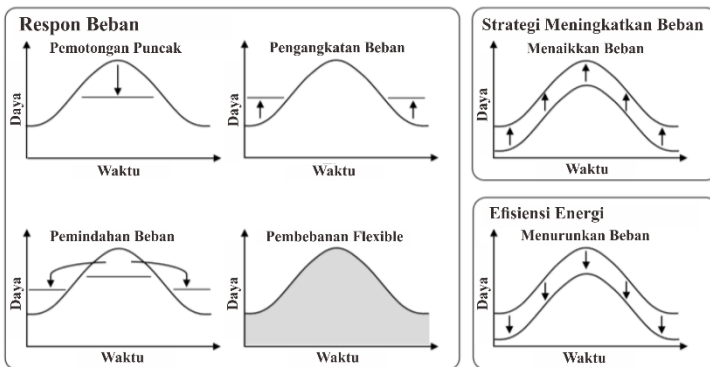


**Gambar 2.3** Grafik *real time pricing*

Penerapan *real-time pricing* (RTP) telah dilakukan di berbagai negara dan telah banyak teori yang membuktikan teori dan simulasi program RTP memberikan keuntungan secara ekonomi [11, 12, 13, 14, 15]. Penerapan dari RTP ditujukan untuk mengurangi beban puncak pada jam-jam sibuk dan memberikan edukasi kepada masyarakat agar melakukan penghematan energi. Penerapan DR telah terbukti menjadi faktor paling efektif untuk program DR pada rumah tangga. Pengurangan kurva beban rumah tangga telah membantu menurunkan potensi level emisi gas rumah kaca seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan CO<sub>2</sub> di berbagai wilayah di Amerika Serikat dimana mayoritas pembangkit masih menggunakan bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan beban puncak.

### 2.3 Demand Response

*Demand Response* merupakan skema *market driven electricity* dari *Demand Side Management* di *smart grid* yang menerapkan perubahan pola konsumsi oleh konsumen sebagai respons terhadap sinyal harga, insentif, atau arahan dari operator jaringan pada grid dengan tujuan untuk menentukan pembebanan yang optimal, menyeimbangkan kurva durasi beban, mengurangi pembangkitan, dan menekan tagihan biaya listrik pelanggan. Idealnya, harga yang dihadapi konsumen energy harus sama dengan biaya marjinal ke jaringan generasi tambahan pada waktu itu dan di lokasi itu. Misalnya, pada saat permintaan ringan di daerah menghasilkan pasokan besar, harga pembangkit mungkin nol atau bahkan negatif seperti yang terjadi di California [16]. Kategori dasar *demand response* yang bertujuan untuk membentuk kurva beban yang diharapkan dapat dilihat pada gambar 2.4 [17].



**Gambar 2.4** Kategori manajemen energi sisi beban [17]

*Demand response* pertama kali didesain dan diimplementasikan untuk pelanggan rumah tangga [17]. Teknologi yang krusial dalam mendukung *demand response* adalah *smart switch* dan *smart meter*. Peralatan ini menggunakan sistem jaringan komunikasi supaya konsumsi listrik dapat dikontrol dan dipantau secara wireless melalui HEMS. Dalam konsep tugas akhir ini seluruh peralatan rumah tangga yang merupakan beban fleksibel telah terpasang sensor maupun *smart switch* yang terintegrasi otomatis secara terpusat di sistem *smart grid*. Operator jaringan *smart grid*



dapat meminta dan mengelola konsumsi peralatan dengan mudah ketika keadaan darurat.

Tujuan yang ingin didapatkan dari program *demand response* adalah bagaimana meminimalkan perbedaan kurva objektif dengan kurva beban akhir (1) [18]. Kalkulasi perhitungan (2) merupakan hasil akhir dari tagihan listrik utilitas selama sehabian.

$$\sum_{t=1}^{N=24} (Pload(t) - Target(t))^2, \quad (1)$$

$$Cost = \sum_{t=1}^{N=24} Pload(t) \cdot C(t), \quad (2)$$

Dalam tugas akhir ini,  $Target(t)$  merupakan nilai fungsi objektif dari kurva waktu  $t$ ,  $Pload(t)$  adalah nilai konsumsi konsumsi aktual pada rentang waktu  $t$  dan  $C(t)$  adalah harga pada interval  $t$ . Kurva target telah dirumuskan pada (3) yang berbanding terbalik dengan harga listrik dinamik sehingga dapat dikurangi.

$$Target(t) = \left( \frac{C_m}{C_{max}} \right) \times \left( \frac{1}{C(t)} \right) \times \sum_{t=1}^{N=24} Forcasted(t), \quad (3)$$

Dimana,  $C_m$  adalah rata-rata harga selama periode 24 jam,  $C_{max}$  adalah maksimum harga selama periode 24 jam dan  $Forcasted(t)$  adalah prediksi beban konsumsi pada waktu  $t$ . Konsumsi beban pada saat ini dapat didefinisikan pada (4) [18].

$$Pload'(t) = Forcasted(t) + Connect(t) - Disconnect(t), \quad (4)$$

Dimana,  $Connect(t)$  dan  $Disconnect(t)$  adalah jumlah beban yang terhubung dan terlepas pada waktu  $t$ , masing-masing waktu selama periode pemindahan beban.  $Connect(t)$  terdiri dari dua bagian yang mewakili peningkatan beban pada waktu  $t$  karena pergeseran perangkat ke waktu  $t$  dan ke waktu yang mendahului  $t$ , masing-masing waktu selama periode pemindahan beban. Nilai dari  $Connect(t)$  di kalkulasi menggunakan persamaan (5).

$$\begin{aligned} Connect(t) = & \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{k=1}^D X_{kit} \cdot P_{1k} \\ & + \sum_{l=1}^{j-1} \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{k=1}^D X_{ki(t-1)} \cdot P_{(1+l)k}, \end{aligned} \quad (5)$$

Dimana  $X_{kit}$  adalah nomor peralatan yang tipe- $k$  yang dipindahkan dari waktu step- $i$  ke step- $t$ ,  $D$  adalah nomor dari tipe peralatan,  $P_{1k}$  dan  $P_{(1+l)k}$  adalah konsumsi daya pada waktu step 1 dan  $(1+l)$ , masing-masing waktu selama periode 24 jam, untuk peralatan tipe  $k$ , dan  $j$  adalah total durasi dari konsumsi untuk peralatan tipe  $k$ .

Sama halnya dengan  $Disconnect(t)$  terdiri dari 2 bagian yang menunjukkan pengurangan dari beban dikarenakan penundaan dari operasi beban yang dihubungkan pada waktu  $t$  dan mendahului waktu  $t$ , masing-masing waktu selama periode 24 jam. Persamaan dari  $Disconnect(t)$  ditunjukkan pada (6).

$$\begin{aligned}
 Disconnect(t) = & \sum_{q=t+1}^{t+m} \sum_{k=1}^D X_{ktq} \cdot P_{1k} \\
 & + \sum_{l=1}^{j-1} \sum_{q=t+1}^{t+m} \sum_{k=1}^D X_{k(t-1)q} \cdot P_{(1+l)k}, \quad (6)
 \end{aligned}$$

Dimana  $X_{ktq}$  adalah nomor peralatan yang tipe- $k$  yang dipindahkan dari waktu step- $t$  ke step- $q$ ,  $m$  adalah maksimum penundaan yang diperbolehkan, untuk menyeimbangkan dimensi perlu menggunakan persamaan yang digunakan pada (1), persamaan (7) juga dapat digunakan untuk mendapatkan penjadwalan beban yang optimal.

$$Forcasted(t) = \left( \frac{C_m}{C_{max}} \right) \times \left( \frac{1}{C(t)} \right) \times \sum_{t=1}^{N=24} Pload'(t), \quad (7)$$

Batasan dari persamaan diatas adalah : (a) jumlah perangkat yang dipindahkan dari interval waktu tertentu tidak boleh bernilai negatif (8) dan (b) jumlah perangkat yang dipindahkan dari waktu step tidak boleh lebih dari jumlah semua perangkat yang dapat dikendalikan pada waktu itu sedang terhubung (9).

$$X_{kit} = 0, \quad \forall i, j, k, \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^{N=24} X_{kit} = Controllable(i), \quad (9)$$

Dimana  $Controllabel(i)$  adalah jumlah perangkat tipe- $k$  yang dapat di kontrol pada waktu step- $i$ .

Sebagai salah satu upaya dalam menjaga kestabilan jaringan, skema demand response dapat memberikan insentif bagi pelanggan atas upaya yang telah dilakukannya dalam membantu mengurangi penggunaan listrik pada jam-jam sibuk. Selain itu, agar masyarakat tertarik ikut serta dalam program demand response perlu dorongan lain seperti intensif, subsidi, ataupun hadiah. Besar hadiah yang diberikan kepada pelanggan diambil dari keuntungan dari perpindahan jadwal beban setiap jamnya. Pemberian hadiah dapat dilakukan setiap bulan sekali atau setiap hari sekali. Besar hadiah yang diperoleh pelanggan dijelaskan pada (10). Konstrain fungsi biaya dijelaskan pada (11), (12).

$$\sum_{n=1}^N R^n = \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N (P_i^n(t).DP(t) - P_j^n(t).DP(t)) \quad (10)$$

Dimana,

$R$  = Reward, hadiah, insentif, atau subsidi

$P_i$  = Fungsi kurva beban rata-rata seminggu terakhir

$P_j$  = Fungsi kurva beban 24 jam setelah berpartisipasi program DR

$N$  = Total jumlah pelanggan yang berpartisipasi program DR

$P$  = Daya beban harian rumah tangga

$T$  = Waktu 24 jam

$$P_i^n(t)a \leq t \leq P_j^n(t)u \quad (11)$$

$$P_i^n(t) = 0, \quad \text{Jika } t < P_i^n(t)a \text{ atau } t > P_i^n(t)u \quad (12)$$

Reward kepada pelanggan demand response akan diberikan sehari setelah pelanggan melakukan penghematan energi dirumahnya dan dikirimkan melalui aplikasi android berupa token atau kredit sehingga masyarakat dapat menukarnya dengan hadiah lainnya. Konsep ini akan meningkatkan kebahagiaan pelanggan kepada pihak utilitas karena kedua belah pihak saling diuntungkan.

## 2.4 Algoritma SOS

Algoritma SOS terinspirasi dari interaksi yang diamati dari dua organisme dalam sebuah ekosistem dan kemudian dikembangkan oleh Cheng dan Prayogo pada tahun 2014 [19].

### **2.4.1 Konsep Dasar SOS**

Kata ‘Simbiosis’ sebenarnya berasal dari kata Yunani, yang berarti ‘hidup bersama’. Pada 1869, ahli mikologi Jerman de Bary pertama kali menggunakan kata ini untuk mendefinisikan hubungan antara dua spesies organisme yang saling bergantung. Hubungan simbiotik secara luas dibagi menjadi dua jenis, seperti obligat dan fakultatif. Dalam hubungan obligat/wajib, kedua organisme sepenuhnya bergantung satu sama lain untuk kelangsungan hidup mereka sedangkan dalam hubungan fakultatif, organisme mungkin saling bergantung tapi tidak wajib. Ada tiga jenis hubungan simbiosis yang ditemukan di alam yaitu hubungan Mutualisme, Komensalisme, dan Parasitisme. Organisme saling berhubungan untuk bertahan hidup di ekosistem.

### **2.4.2 Fitur Algoritma SOS**

Tidak seperti algoritma metaheuristic PSO, algoritma flower fly, algoritma flower pollination, algoritma bat, dll yang meniru fenomena alam, algoritma SOS mereplika interaksi simbiosis organisme yang digunakan untuk menemukan organisme yang paling cocok di ruang pencarian. Mirip dengan algoritma berbasis populasi lainnya, organisme SOS juga memperkerjakan populasi kandidat untuk mencari solusi global yang optimal.

Algoritma SOS dimulai dengan populasi awal organisme yang disebut ekosistem. Setiap organisme di ekosistem dianggap sebagai solusi kandidat untuk masalah yang sesuai dan berkorelasi dengan nilai kebugaran tertentu yang meniru tingkat adaptasi dengan tujuan yang diinginkan. Solusi baru dihasilkan dengan mensimulasikan interaksi simbiotik antara dua organisme dalam ekosistem yang meliputi fase mutualisme, komensalisme dan parasitisme. Setiap organisme dalam ekosistem berinteraksi acak dengan yang lain melalui ketiga fasa ini dan proses interaksi ini diulangi sampai kriteria keputusan terpenuhi. Rincian operasi dari interaksi ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu fasa mutualisme, fasa komensalisme, dan fasa parasitisme .

#### **2.4.2.a. Fase Mutualisme**

Fase algoritma SOS ini meniru interaksi timbal balik antara dua organisme di mana kedua organisme saling diuntungkan. Pada fase ini,  $X_i$  dianggap sebagai organisme ke dalam ekosistem dan

organisme lain  $X_j$  yang dipilih secara acak untuk berinteraksi dengan organisme  $X_i$ . Kedua organisme menunjukkan hubungan timbal balik untuk meningkatkan keunggulan kelangsungan hidup bersama dalam ekosistem sehingga memunculkan solusi baru untuk organisme  $X_i$  dan  $X_j$  diberikan oleh (1) dan (2), masing-masing,

$$X_{inew} = X_i + rand(0,1) \times (X_{best} - Mutual_{vector} \times BF_1) \quad (13)$$

$$X_{jnew} = X_j + rand(0,1) \times (X_{best} - Mutual_{vector} \times BF_2) \quad (14)$$

Dalam (34) dan (35),  $Mutual\_Vector$  ditentukan oleh (3)

$$Mutual_{vector} = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (15)$$

dan  $rand(0,1)$  adalah angka acak antara 0 dan 1.  $BF_1$  dan  $BF_2$  adalah *benefit factor* dan nilainya 1 atau 2. Faktor-faktor ini mewakili tingkat manfaat untuk setiap organisme, karena organisme dapat memperoleh sebagian atau mendapat manfaat sepenuhnya dari interaksi.  $Mutual\_Vector$  dalam (3) mewakili hubungan antara  $X_i$  dan  $X_j$ . Bagian selanjutnya dari kedua (1) dan (2) merupakan upaya mutualistik yang diberikan oleh organisme untuk meningkatkan derajat adaptasi mereka terhadap ekosistem sementara  $X_{best}$  mewakili tingkat adaptasi tertinggi. Solusi baru hanya diterima jika mereka memberikan nilai kebugaran yang lebih baik dibandingkan dengan solusi sebelumnya.

#### 2.4.2.b. Fase Komensalisme

Hubungan antara tanaman anggrek dan pohon manga adalah contoh dari hubungan komensalisme. Di jalur ini, tanaman anggrek dapat tumbuh dan tetap bertahan hidup tetapi pohon tetap tidak terpengaruh. Dalam algoritma SOS, untuk mensimulasikan fase komensalisme ini, suatu organisme  $X_j$  dipilih secara acak dari ekosistem yang dibuat untuk berinteraksi dengan organisme  $X_i$ . Sekarang, organisme  $X_i$  mencoba untuk mendapatkan manfaat dari interaksi sementara itu tidak menguntungkan atau membahayakan organisme. Solusi kandidat baru  $X_i$ , dihasilkan oleh interaksi komensal ditunjukkan pada persamaan (4).

$$X_{inew} = X_i + rand(-1,1) \times (X_{best} - X_j) \quad (16)$$

di mana  $(X_{best} - X_j)$  mengartikan manfaat yang diberikan oleh  $X_j$  untuk membantu  $X_i$  meningkatkan derajat adaptasi sehingga dapat bertahan hidup di ekosistem.

### 2.4.2.c. Fase Parasitisme

Contoh yang sangat umum dari hubungan parasit adalah hubungan antara parasit plasmodium dan manusia. Parasit ini masuk ke tubuh manusia melalui nyamuk anopheles dan mereproduksi di dalam tubuh manusia sebagai inangnya. Akibatnya, inangnya menderita malaria dan mungkin juga mati.

Pada fase parasitisme, sebuah organisme  $X_i$  dipilih, dan ia menciptakan parasit buatan bernama Parasite\_Vector. Parasite\_Vector ini dibuat dengan menduplikasi  $X_i$  dan kemudian dimensi yang dipilih secara acak dimodifikasi menggunakan angka acak. Sekarang, organisme  $X_j$  dipilih secara acak dari ekosistem yang diperlakukan sebagai inang parasit. Jika nilai fitness dari Parasite\_Vector lebih baik daripada  $X_j$ , maka ia akan menggantikan waktu delay dari organisme  $X_j$  dan mengambil alih posisinya dalam ekosistem. Di sisi lain, jika nilai fitness organisme  $X_j$  lebih baik, maka ia membangun kekebalan terhadap Vektor\_Parasite dan parasit tidak akan lagi ada di ekosistem.

Algorithm 1: Pseudo-code dari Algoritma SOS

Menentukan fungsi objektif  $f(x)$ ;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)$

Inisialisasi ekosistem dari  $n$  organisme dengan solusi acak

while ( $t < MaxGeneration$ )

for  $i = 1 : n \% n$  adalah jumlah organisme

Menentukan organisme terbaik  $X_{best}$  dalam ekosistem

*% Mutualism Phase*

Memilih organisme secara acak  $X_j$ , dimana  $X_j \neq X_i$

Menentukan vektor timbal baik (*Mutual\_Vector*) dan factor manfaat (*BF*)

Modifikasi organisme  $X_i$  &  $X_j$  menggunakan persamaan (1)&(2)

Jika organisme yang dimodifikasi memberikan evaluasi kebugaran yang lebih baik dari sebelumnya, maka perbarui mereka di ekosistem

*% Commensalism Phase*

Pilih salah satu organisme secara acak  $X_j$ , dimana  $X_j \neq X_i$

Modifikasi organisme  $X_i$  dengan bantuan  $X_j$  menggunakan persamaan (4)

Modifikasi organisme  $X_i$  &  $X_j$  menggunakan persamaan (1)&(2)

Jika organisme yang dimodifikasi memberikan evaluasi kebugaran yang lebih baik dari sebelumnya, maka perbarui mereka di ekosistem

% *Parasitism Phase*

Memilih organisme secara acak  $X_j$ , dimana  $X_j \neq X_i$

Produksi *Parasite\_Vector* dari organisme  $X_i$

Jika *Parasite\_Vector* memberikan evaluasi kebugaran yang lebih baik dari  $X_j$ , maka perbarui menjadi *Parasite\_Vector*

end for

Solusi global terbaik disimpan sebagai solusi optimal

end while

## 2.5 Pemodelan Peralatan Listrik Rumah Tangga

Peralatan listrik di setiap rumah tangga berbeda-beda dan sulit untuk dimanajemen satu persatu. Maka dari itu peralatan listrik perlu dikategorikan dan digolongkan terlebih dahulu agar mempermudah dimanajemen secara terpusat serta sistem mudah diadopsi oleh masyarakat. Pemodelan peralatan listrik dibagi menjadi 5 kategori pemodelan yaitu peralatan jenis pembangkit, peralatan jenis inelastis terbatas & inelastis tidak terbatas, peralatan jenis elastis, dan peralatan jenis penyimpanan. Dalam tugas akhir ini diasumsikan rumah tangga yang ikut serta dalam program demand response digolongkan menjadi tiga golongan diantara golongan rumah tangga biasa, rumah toko, dan rumah industri .

Asumsi lainnya adalah tiap rumah tangga sudah memiliki *smart meter* dan menginstall aplikasi *demand response* di smartphone mereka [5]. Adanya teknologi *smart meter* yang terinstall di tiap rumah membantu telekomunikasi antar pelanggan dan utilitasa sehingga dapat digunakan untuk mendapatkan data konsumsi energi listrik secara *real time* dan akurat. Untuk aplikasi *demand response* di smart phone digunakan untuk alat komunikasi antara penyedia layanan energy listrik dengan konsumen tentang harga energi listrik dan data sinyal lainnya seperti rekomendasi penghematan listrik atau reward dari partisipasi program *demand response*. Dalam tugas akhir ini beban yang diatur hanya sebatas konsumsi beban rumah tangga. Untuk manajemen produksi daya di rumah tangga dan manajemen penyimpanan daya baterai tidak dibahas di tugas akhir ini. [20]

### 2.5.1 Beban Inelastis Wajib (Base Load)

Beban inelastis wajib merupakan beban yang tidak dapat diganggu ketika sedang bekerja, karena beban ini wajib harus terus bekerja sesuai dengan waktu kebutuhannya. Pada usulan kali ini, konsumsi daya oleh beban inelastis *base load* dimodelkan dan ditambahkan dari data rata-rata menyala dan berdasarkan waktu menyalanya. Peralatan inelastis ini dapat dipasang peralatan *smart switch* dengan penjadwalan rutin tiap harinya pada jam-jam tersebut. Misalnya untuk lampu, kulkas, atau rice cooker dijadwalkan tetap menyala pada jam-jam yang pasti. Peralatan inelastis baseload yang digunakan pada simulasi tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Kelompok Beban Inelastis wajib tiap rumah

No	Peralatan Inelastis	Rata2 menyala	Waktu menyala	Rata2 daya beban (watt)
1.	Lampu Kamar	12 jam	Malam	10
2.	Kulkas dan Freezer	24 jam	Seharian	100
3.	Rice cooker Standby	6 jam	Pagi	65
4.	Home Security	24 jam	Seharian	5
5.	IT	24 jam	Seharian	5

### 2.5.2 Beban Inelastis Prioritas Pemilik Rumah

Beban inelastis prioritas merupakan beban yang sulit untuk dijadwalkan atau dikendalikan karena penggunaannya berdasarkan kebutuhan dari pemilik rumah. Tipe beban ini dapat dikendalikan apabila pemilik rumah sadar untuk melakukan penghematan energi listrik pada jam-jam tertentu. Sehingga diperlukan pemberitahuan melalui smart phone agar masyarakat tertarik ikut program *demand response*. Peralatan inelastis prioritas yang digunakan pada simulasi tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Kelompok Peralatan Inelastis proritas tiap orang di rumah

No	Peralatan Inelastis	Rata2 menyala	Waktu menyala	Rata2 daya beban (watt)
1.	Lampu Taman	12 jam	Malam	50
2.	Rice cooker On	1 jam	Pagi & Sore	450
3.	Panggang Roti	1 jam	Pagi	700
4.	TV	4 jam	Malam	100
5.	Pengering Rambut	30 menit	Pagi & Sore	1000



6.	Kipas Angin	5 jam	Kebutuhan	100
7.	Vacum Cleaner	2 jam	Kebutuhan	400
8.	Setrika	3 jam	Kebutuhan	300
9.	Personal Computer	3 jam	Kebutuhan	200

### 2.5.3 Beban Elastis Rumah Tangga

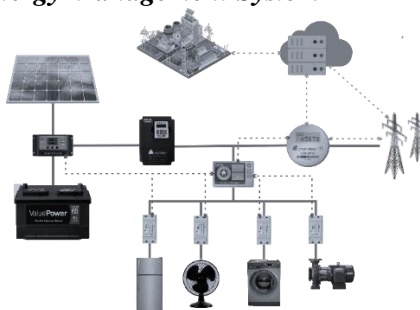
Beban elastis merupakan beban yang dapat berjalan dengan waktu kerja yang fleksibel. Sehingga program *demand response* dapat memberikan instruksi secara otomatis memberikan rekomendasi waktu yang tepat untuk beban ini bekerja. Peralatan yang digunakan pada simulasi tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Kelompok Peralatan Elastis tiap Rumah Tangga

No.	Peralatan Inelastis	Rata2 menyala	Waktu menyala	Rata2 daya beban (watt)
1.	Water heater	4 jam	Pagi Sore	350
2.	Pompa Air	2 jam	Pagi & Malam	350
3.	Pencuci Piring	1 jam	Siang & malam	1800
4.	Pencuci Pakaian	2 jam	Pagi	200
5.	Mobil Listrik	4 Jam	Malam	3000

Dalam pengoperasian program *demand response* ini dapat dibantu dengan teknologi *smart switch* untuk mengontrol dan menjadwalkan peralatan. Proses penjadwalan dan hasil reward program demand response akan ditampilkan pada aplikasi android *demand response* yang telah diinstall pelanggan *demand response*.

## 2.6 Home Energy Management System



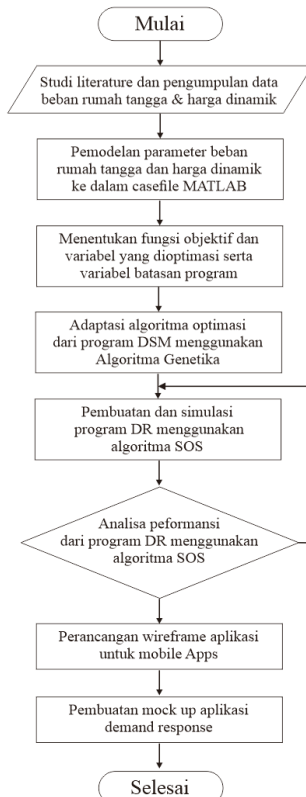
**Gambar 2.5** Home Energy Management System

Manajemen energi skala rumah tangga merupakan cara untuk mengatur penggunaan beban dari konsumsi energi listrik yang di gunakan oleh konsumen rumah tangga. Perlunya manajemen energi untuk menjaga agar tagihan listrik yang dibayarkan konsumen kepada perusahaan penyedia energi listrik tidak berlebih dan tetap terjaga umur dari peralatan milik perusahaan penyedia energi listrik sesuai rencana [21]. Teknologi HEMS ini terhubung dengan peralatan-peralatan listrik melalui jaringan lokal sehingga aktifitas energi dapat terekam atau dikontrol melalui sebuah perangkat HEMS. Pada sistem ini, komunikasi wireless menggunakan ZigBee, yang dibuat oleh ZigBee Alliance [22]. Selain ZigBee juga telah ada teknologi komunikasi bernama HomePlug power-line yang dibuat oleh HomePlug Powerline Alliance [23]. Contoh lain teknologi yang sudah ada dapat dilihat pada [24]. Perangkat HEMS dapat membantu masyarakat dalam melakukan management energi rumahnya melalui rekomendasi-rekomendasi yang muncul pada perangkat HEMS. Peralatan HEMS juga memungkinkan terhubung dengan *smart meter* utilitas untuk mengintegrasikan sinyal-sinyal harga atau sinyal rekomendasi dari penyedia layanan *demand response* untuk mendapatkan jadwal yang paling efisien. Pada tugas akhir ini teknologi HEMS hanya digunakan sebagai media bantu bagi pelanggan *demand response* untuk melakukan penjadwalan atau penghematan energi. Sehingga penelitian tentang HEMS tidak dibahas pada penelitian ini.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Algoritma

Dalam tugas akhir ini algoritma *symbiotic organism search* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan optimal pada beban rumah tangga mempertimbangkan waktu penyalaan setiap beban. Pembuatan simulasi dan pengolahan data dikerjakan dengan *software* Matlab R2013a. Alur penyelesaian penelitian adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Flowchart Penelitian Tugas Akhir Demand Response

Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur mengenai *demand side management* khususnya untuk studi literature ini adalah *demand response* skala rumah tangga. Selain studi literatur juga dilakukan pengumpulan data beban perjam dan data harga dinamik dari utilitas yang kami ambil dari perusahaan utilitas di Negara Jerman bernama *Neon Neue Energie*. Kemudian sistem tersebut dimodelkan menjadi *casefile* menggunakan M-file Matlab. Setelah itu menentukan fungsi objektif, variabel yang dioptimasi serta batasan-batasan operasi termasuk batasan waktu penjadwalan setiap beban. Pembuatan program *demand response* menggunakan *symbiotic organism search* dilakukan dengan tiga tahap validasi untuk melihat pengaruh batasan batasan sistem terhadap permasalahan *symbiotic organism search*. Tahap validasi dilakukan pada beban rumah tangga.

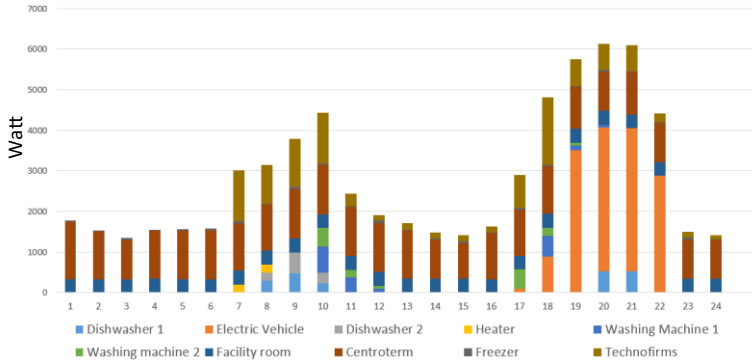
Untuk algoritma pembanding dari program ini adalah optimasi yang dilakukan menggunakan algoritma *Genetic Algorithm* yang diterapkan pada sistem kelistrikan rumah tangga. Untuk tahap pertama yaitu pengabdopsian sistem yang telah disimulasikan menggunakan algoritma *Genetic Algorithm* tanpa memperhatikan batasan. Program valid apabila parameter yang ada pada program *Genetic Algorithm* sama dengan yang telah dibuat pada algoritma *Symbiotic Organism Search*. Pada tahap kedua pembuatan program simbiosis yang telah disesuaikan dengan program pseudo dari algoritma simbiosis [25]. Pada tahap ini dilakukan penyesuaian hasil output proses simbiosis mutualisme, komensalisme, dan parasitisme disesuaikan dengan output proses genetika algoritma GA. Program valid apabila output dari proses simbiosis mendapatkan hasil yang optimal. Pada tahap ketiga yaitu penambahan batasan batas waktu minimum *delay* dan maksimum *delay* dari setiap beban. Pada sistem ini dibatasi hanya bekerja selama 24 jam.

Hasil rekomendasi penjadwalan yang paling optimal kemudian dianalisa dan dibandingkan. Hasil yang dibandingkan yaitu jadwal penyalaan beban dan penghematan tagihan. Setelah dilakukan analisa dan perbandingan, maka didapatkan kesimpulan dari tugas akhir ini.

### **3.2 Pemodelan Beban Rumah Tangga pada Matlab**

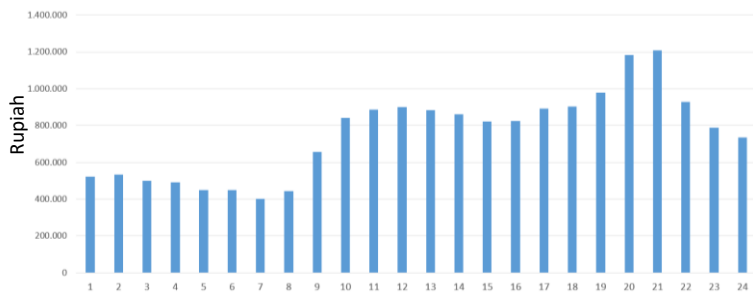
Data beban yang digunakan pada ujicoba penelitian demand response ini menggunakan data beban rumah tangga yang terdiri dari beban elastis yang dapat dipindahkan dan beban tetap di rumah tangga. Adapun beban yang dapat dipindahkan pada penelitian ini

diantaranya *electrical vehicle charging station, dish washer, water pump, water heater, washing machine 1, washing machine 2.*



**Gambar 3.2** Profil Beban Rumah Tangga 24 Jam

Aktivitas konsumsi listrik pada penelitian ini mayoritas menyala pada pagi pukul 07:00 – 10:00 pagi hari dan pada malam hari pada pukul 17:00 – 22:00. Kurva beban keseluruhan akan diukur menggunakan smart meter expor impor pelanggan dan untuk beban yang spesifik akan diukur menggunakan *smart meter* dan *smart switch* yang telah terinstall pada peralatan rumah tangga. Perangkat *smart meter* dan *smart switch* telah terintegrasi dengan sistem aplikasi HEMS yang telah terdapat fitur *demand response*. Untuk kurva beban yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Harga Listrik Dinamik Perjam Selama 24 Jam

Data dynamic pricing yang digunakan pada penelitian ini diambil dari data harga dinamik yang telah dikeluarkan oleh perusahaan utilitas di Negara Jerman bernama *Neon Neue Energie*. Data harga dinamik disesuaikan dengan harga sistem pembangkitan pada jam-jam tertentu. Data parameter peralatan disesuaikan dengan parameter input yang telah dimasukkan pelanggan *demand response* atau dapat juga berasal dari pengukuran yang dilakukan oleh smart meter. Data beban diambil dari data rumah tangga yang diukur oleh perusahaan utilitas di Jerman yang bernama *Neon Neue Energie*. Beban yang diukur hanya beban rumah tangga yang bersifat fleksibel dan telah terintegrasi dengan perangkat *smart switch* dan *smart meter*.

### 3.3 Penerapan Algoritma SOS pada *Demand Response*

Dalam penerapan algoritma SOS untuk menyelesaikan permasalahan *demand response*. Pertama, ekosistem awal atau populasi awal dihasilkan secara acak yang merupakan waktu operasi dan *delay* dari peralatan. Penjawalan awal dapat ditentukan oleh konsumen untuk menciptakan kenyamanan bagi konsumen. Dua hal kondisi yang menjadi konstrain pada proses pengecekan ini, yaitu (a) beban dapat di *delay* akan tetapi tidak dapat dimajukan lebih dari waktu  $t$  (17) dan jumlah interval waktu yang memperbolehkan beban dapat dipindahkan sesuai dengan (18) [18].

$$X_{kit} = 0, \quad \forall i > t, \quad (17)$$

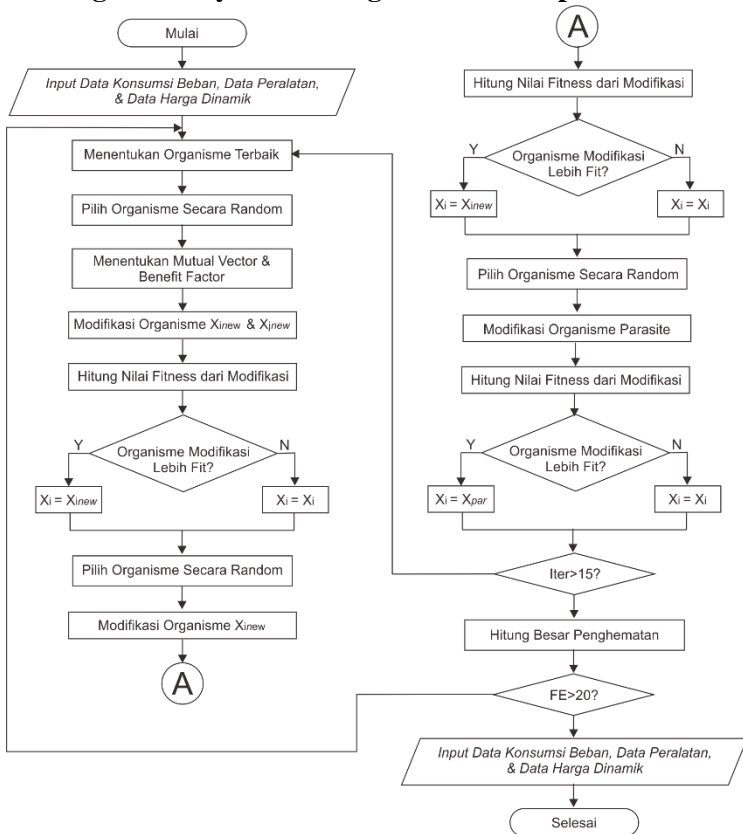
$$X_{kit} = 0, \quad \forall (t - i) > m, \quad (18)$$

Kedua kondisi ini telah dimasukkan ke dalam program untuk menentukan penjadwalan peralatan dan menyediakan program yang adaptif untuk kemudahan gaya hidup konsumen [18]. Nilai dari  $\text{Target}(t)$ ,  $\text{Pload}'(t)$ ,  $\text{Connect}(t)$ ,  $\text{Disconnect}(t)$ , dan  $\text{Pload}(t)$  masing-masing kemudian dihitung menggunakan persamaan (3) – (7). Dalam ekosistem, nilai kesesuaian setiap beban telah dievaluasi menggunakan persamaan (19) dan beban dengan nilai penjadwalan terbaik diambil sebagai organisme terbaik.

$$\text{Fitness} = \frac{1}{1 + \sum_{t=1}^{N=24} (\text{Pload}(t) - \text{Target}(t))^2} \quad (19)$$

Organisme kemudian melalui fase mutualisme, komensalisme, dan parasitisme. Dalam setiap fase, organisme dimodifikasi sesuai dengan (13)-(16) dan organisme yang dimodifikasi dengan nilai fitness yang lebih baik akan dipilih. Langkah-langkah ini melewati beberapa iterasi sampai nilai fitness terbaik tercapai. Setelah mendapatkan kebugaran yang dioptimalkan, tagihan listrik akhir kemudian dihitung menggunakan persamaan (2).

### 3.4 Algoritma Symbiotic Organism Search pada Matlab



Gambar 3.4 Algoritma Symbiotic Organism Search

Algoritma SOS telah dirumuskan menggunakan tiga hubungan yaitu mutualisme, kedua spesies mendapat manfaat satu sama lain, dalam komensalisme, satu spesies mendapat manfaat sementara yang lain tidak terpengaruh. Sedangkan pada parasitisme, satu spesies diuntungkan sementara yang lain dirugikan. Algoritma SOS adalah algoritma berbasis populasi. Algoritma ini menggunakan kandidat populasi sebagai kandidat solusi baru untuk menemukan solusi global yang paling optimal. Organisme awal pada tugas akhir ini merupakan nilai *delay* dari setiap peralatan yang akan dipindahkan waktunya. Sedangkan populasi awal merupakan kumpulan dari total peralatan yang akan dipindahkan jamnya. Populasi awal pada algoritma ini disebut ekosistem. Awalnya, kumpulan organisme dihasilkan secara acak yang berasal dari ekosistem awal. Per Kandidat solusi dari masalahnya adalah organisme dan masing-masing organisme memiliki nilai fitness masing-masing, yang mencerminkan sejauh mana ia dapat beradaptasi untuk mencapai nilai yang optimal. Rangkaian operasi yang diterapkan untuk menghasilkan solusi untuk algoritma ini dibagi menjadi tiga fase yaitu. fase mutualisme, fase komensalisme, dan fase parasitisme.

### **3.2.1 Fase Mutualisme**

Pada fase ini, organisme  $X_i$  merupakan nilai *delay* awal dari setiap peralatan yang akan dirubah-rubah untuk didapatkan populasi penjadwalan peralatan yang paling optimal. Sedangkan organisme lain  $X_j$  dipilih secara acak untuk berinteraksi dengan organisme organisme  $X_i$ . Kedua organisme menunjukkan hubungan timbal balik untuk meningkatkan keunggulan kelangsungan hidup bersama dalam ekosistem sehingga memunculkan nilai *delay* baru berupa organisme  $X_{new}$  dan organisme  $X_{jnew}$  seperti yang diberikan pada (13) dan (14), masing-masing, *Mutual\_Vector* dalam (15) mewakili hubungan antara organisme  $X_i$  dan organisme  $X_j$ . Bagian selanjutnya dari kedua (13) dan (14) merupakan upaya mutualistik yang diberikan oleh organisme untuk meningkatkan derajat adaptasi mereka terhadap ekosistem, sementara organisme terbaik  $X_{best}$  merupakan kandidat waktu *delay* yang paling optimal yang menjadi solusi akhir dari proses optimasi ini. Solusi baru hanya diterima jika mereka memberikan nilai fitness yang lebih baik dibandingkan dengan solusi sebelumnya.



### 3.2.2 Fase Komensalisme

Fase komensalisme, suatu organisme  $X_j$  dipilih secara acak dari ekosistem yang dibuat untuk berinteraksi dengan organisme  $X_i$ . Sekarang, organisme  $X_i$  mencoba untuk mendapatkan manfaat dari interaksi sementara itu tidak menguntungkan atau membahayakan organisme. Solusi kandidat organisme baru  $X_{new}$ , dihasilkan oleh interaksi komensal ditunjukkan pada persamaan (16). Di mana ( $X_{best} - X_j$ ) mengartikan manfaat yang diberikan oleh organisme  $X_j$  untuk membantu organisme  $X_i$  meningkatkan derajat adaptasi sehingga dapat bertahan hidup di ekosistem.

### 3.2.3 Fase Parasitisme

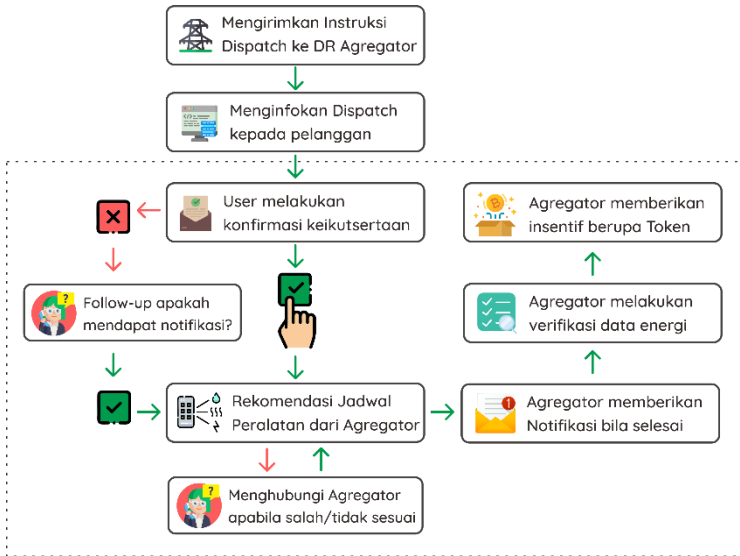
Pada fase parasitisme, sebuah organisme  $X_i$  dipilih, dan ia menciptakan parasit buatan bernama *Parasite\_Vector*. *Parasite\_Vector* ini dibuat dengan menduplikasi  $X_i$  dan kemudian dimensi yang dipilih secara acak dimodifikasi menggunakan angka acak. Sekarang, organisme  $X_j$  dipilih secara acak dari ekosistem yang diperlakukan sebagai inang parasit. Jika nilai fitness dari *Parasite\_Vector* lebih baik daripada  $X_j$ , maka ia akan menggantikan waktu *delay* dari organisme  $X_j$  dan mengambil alih posisinya dalam ekosistem. Di sisi lain, jika nilai fitness organisme  $X_j$  lebih baik, maka ia membangun kekebalan terhadap *Vektor\_Parasite* dan parasit tidak akan lagi ada di ekosistem.

## 3.5 Pemodelan Demand Response Berbasis Aplikasi Digital

Skema permainan harga dinamik untuk sistem kelistrikan di Indonesia belum diresmikan dan belum ada regulasi yang mengatur skema ini karena infrastruktur jaringan internet yang belum memadai. Namun, skema permainan harga listrik dinamik telah dilakukan di berbagai negara maju seperti di Jerman, Singapura, Jepang, Australia, Inggris, dan Amerika Serikat. Skema ini bertujuan untuk merubah pola konsumsi energi listrik agar tidak terpusat pada jam-jam sibuk saja. Komponen utama dalam program *demand response* adalah *demand response agregator*, *distribution system operator*, dan rumah tangga yang berlangganan demand response.

Sistem *demand response* yang diadopsi pada penelitian tugas akhir ini diadopsi dari negara singapura dan australia yang telah menerapkan program ini sejak 2015 dan 2018. Skema ini disesuaikan

dengan kondisi kelistrikan di Indonesia. Adapun partisipan *demand response* dapat perseorangan ataupun sekelompok organisasi yang sepakat serentak bersama-sama berlanggan *demand response* dan tetap mendapatkan insentif. Adapun skema partisipasi pelanggan mengikuti program demand response dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Skema demand response

Penjelasan skema partisipasi dan insentif program demand response:

1. Pertama, operator jaringan atau utilitas mengeluarkan instruksi dispatch ke agregator demand response berupa harga listrik dinamik.
2. Kedua, kemudian aggregator akan mengirimkan pesan berupa email, teks sms, atau telepon dan akan meminta user untuk mengkonfirmasi tanda terima.
3. Dari aggregator memastikan kepada user apakah mendapatkan notifikasi/pemberitahuan, apabila user tidak mendapatkan pemberitahuan maka operator akan melakukan follow up kepada user apakah tetap ikut program demand response apa tidak.

4. Kemudian, user memilih program demand response dikendalikan langsung oleh aggregator atau dikendalikan secara manual oleh partisipan DR.
5. Agregator akan memberikan rekomendasi penjadwalan yang optimal, namun apabila target pengurangan tidak sesuai dengan keinginan pelanggan, dapat dirubah dengan menghubungi aggregator.
6. Apabila program demand response telah sesuai dengan yang diinginkan oleh partisipan, maka program demand response dilakukan selama 24 jam.
7. Setelah 24 jam, aggregator akan melakukan verifikasi energy yang telah dikonsumsi oleh partisipan.
8. Setelah daya listrik telah diverifikasi dan pengguna akan diberikan besar insentif sesuai dengan perhitungan penghematan tagihan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

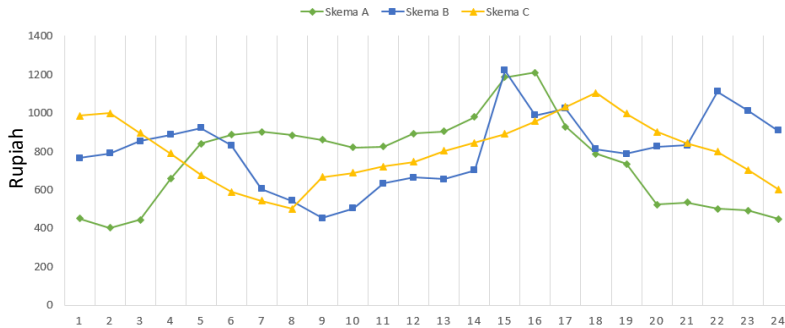
Pada bab ini akan dilakukan simulasi pemindahan beban menggunakan harga dinamik yang berbeda. Adapun parameter yang akan dianalisa pada penelitian ini adalah besar penghematan dan hasil tampilan untuk software demand response. Simulasi dilakukan pada 6 beban rumah tangga dan simulasi dilakukan menggunakan aplikasi Matlab. Hasil simulasi kemudian diterapkan pada aplikasi *demand response*.

### 4.1 Simulasi 3 harga dinamik dengan Beban

Pada bab ini disimulasikan 3 harga skenario harga dinamik yang berbeda. Harga dinamik dikeluarkan oleh perusahaan utilitas yang disesuaikan dengan biaya pembangkitan listrik tiap jam selama 24 jam. Detail harga dinamik masing-masing skenario ditampilkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Data harga listrik dinamik A, B, & C

Jam	Price A	Price B	Price C	Jam	Price A	Price B	Price C
6	450	765	984	18	904	654	802
7	402	789	999	19	978	702	845
8	444	854	894	20	1184	1221	890
9	657	885	789	21	1209	987	956
10	840	921	678	22	928	1023	1032
11	885	832	590	23	787	812	1103
12	901	604	542	24	735	786	995
13	883	543	500	1	522	824	901
14	860	452	665	2	533	832	842
15	821	503	689	3	500	1111	798
16	824	632	721	4	492	1012	703
17	892	663	745	5	449	908	603



**Gambar 4. 1** Grafik 3 Skema Harga Dynamic

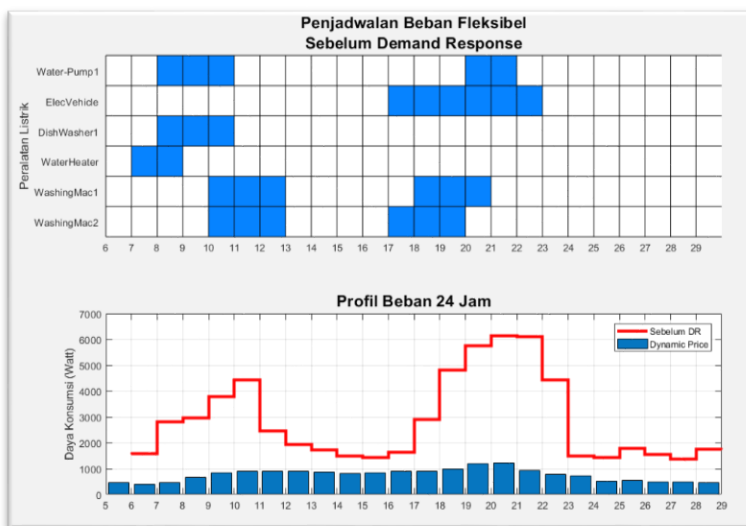
Pada tugas akhir ini diasumsikan sistem adalah konsumen rumah tangga yang berlangganan 10,6 kVA dengan beban rumah tangga yang terdiri dari beban fleksibel, beban storage, dan beban inelastis (base load). Adapun parameter beban yang ditampilkan pada tugas akhir ini hanya beban yang dipindahkan menggunakan program demand response. Beban yang bersifat inelastis tidak ditampilkan pada data konsumsi beban karena data beban base load telah menjadi satu dengan beban fleksibel melalui data yang diukur oleh smart meter utama setiap jam nya. Beban yang bersifat inelastis tersebut terdiri dari 6 beban diantaranya pompa air, baterai mobil listrik, pencuci piring, pemanas air, dan dua buah mesin cuci. Pengukuran beban fleksibel secara detail ditampilkan dalam watt/jam dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4. 2** Data input konsumsi tiap beban dalam watt/jam

Jam ke -	1	2	3	4	5	6
Pompa Air	302	484	222	530	523	0
Electric Vehicle	97	881	3513	3533	3525	2876
Dish Washer	188	508	269	0	0	0
Water Heater	196	198	0	0	0	0
Washing Machine 1	644	376	103	519	110	75
Washing Machine 2	455	189	67	475	200	76

Data konsumsi energy listrik tiap beban pada tabel 4.2 tidak disertai dengan spesifik waktu penjadwalan beban. Data yang ditampilkan hanya konsumsi energi listrik tiap jam dan besar daya

konsumsi yang diserap oleh beban. Pada penjadwalan beban berdasarkan kebiasaan penggunaan konsumsi energi listrik pada jam-jam yang biasa dilakukan user. Adapaun aktifitas penjadwalan beban fleksibel sebelum ada *demand response* selama 24 jam dan kurva konsumsi energi listrik selama 24 jam serta grafik plot harga dinamik selama 24 jam dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada tampilan atas terdapat penjadwalan peralatan beban fleksibel yang dijadwalkan sebelum adanya program demand response. Sedangkan pada gambar grafik bagian bawah merupakan kurva konsumsi energi listrik tiap jam dengan konsumsi energi terbesar terjadi pada pukul 19:00 – 23:00 dan konsumsi energy terendah terjadi pada pukul 12:00 - 17:00 dan 23:00 - 06:00.



**Gambar 4.2** Penjadwalan beban fleksibel sebelum demand response

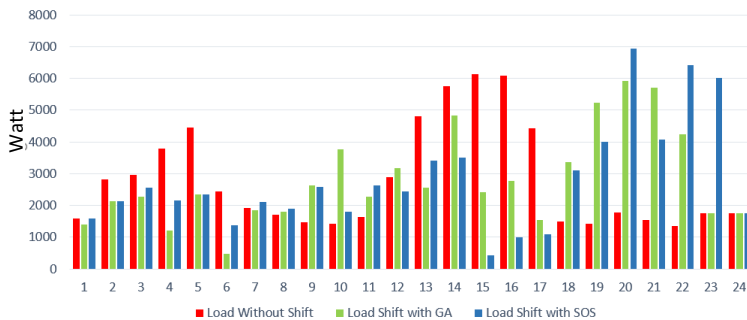
Sedangkan harga dinamik yang terlihat pada Gambar 4.2 bagian bawah menggunakan harga dinamik skema A yang merupakan harga puncak terjadi pada pukul 19:00 – 21:00 dan harga terendah terjadi pada pukul 24:00 – 08:00. Harapannya dengan adanya permainan harga dinamik ini, pola konsumsi energi listrik dirumah tangga dapat

dirubah atau dialikan ke jam-jam yang tidak sibuk untuk membantu utilitas menurunkan kapasitas pembangkit pada jam-jam sibuk.

## 4.2 Analisa Pemindahan Beban Setelah Demand Response

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pemindahan beban setelah demand response. Pemindahan beban ditentukan dari hasil pemindahan dengan penghematan paling maksimal setelah 20 kali iterasi sehingga akan didapatkan penjadwalan dengan penhematan yang optimal. Penjadwalan dilakukan dengan tiga skema, untuk skema yang pertama menggunakan harga dinamik skema A, kemudian untuk skema yang kedua menggunakan harga dinamik dengan skema B, sedangkan yang terakhir menggunakan harga dinamik dengan skema C.

### 4.2.1 Simulasi Pemindahan dengan Harga Dinamik Skema A



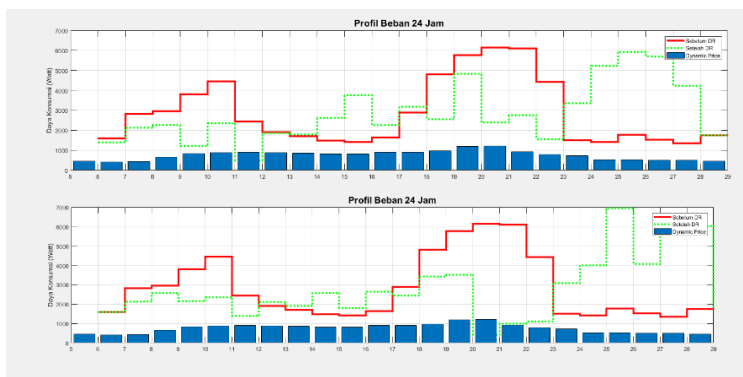
**Gambar 4.3** Simulasi Load Shift Skema Harga Dinamik A

Pada simulasi skema ini, dapat dilihat bahwa beban pada beban puncak jam 09:00 – 10:00 berpindah menuju jam 14:00-15:00. Sedangkan pada beban pada pukul 18:00 – 22:00 berpindah menuju jam 23:00 – 04:00. Pemindahan beban ini berdasarkan harga dinamik yang paling murah sehingga tagihan listrik akan semakin rendah. Adapun pemindahan beban menggunakan program algoritma *Genetic Algorithm* tidak sebanyak pemindahan menggunakan program algoritma *Symbiotic Organism Search*. Pemindahan beban dimulai pada jam 06:00 dan berakhir pada jam 06:00. Penjadwalan beban berpindah menjadi di pagi hari karena harga dinamik di pagi hari lebih murah dibandingkan dengan harga dinamik pada jam-jam lainnya.



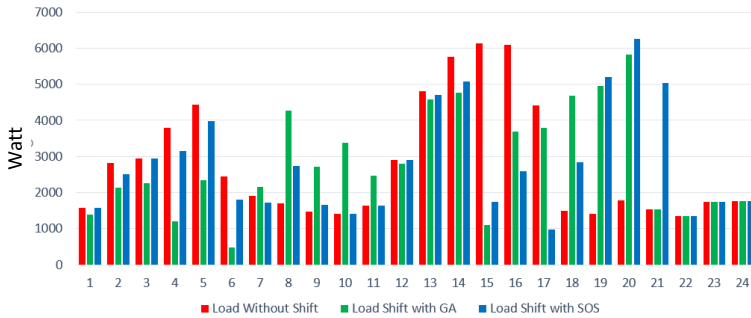
**Tabel 4. 3** Data Simulasi Pemindahan skema harga dinamik A

Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
6	1585	1389	1585	18	4807	2553	3422
7	2815	2129	2129	19	5759	4823	3505
8	2952	2264	2566	20	6138	2406	421
9	3794	1213	2152	21	6096	2764	990
10	4441	2350	2350	22	4419	1553	1101
11	2442	475	1386	23	1499	3356	3097
12	1915	1858	2111	24	1412	5226	4001
13	1706	1805	1904	1	1781	5927	6946
14	1477	2619	2576	2	1531	5705	4065
15	1416	3762	1793	3	1356	4232	6418
16	1634	2273	2632	4	1749	1746	6026
17	2892	3185	2437	5	1761	1761	1761

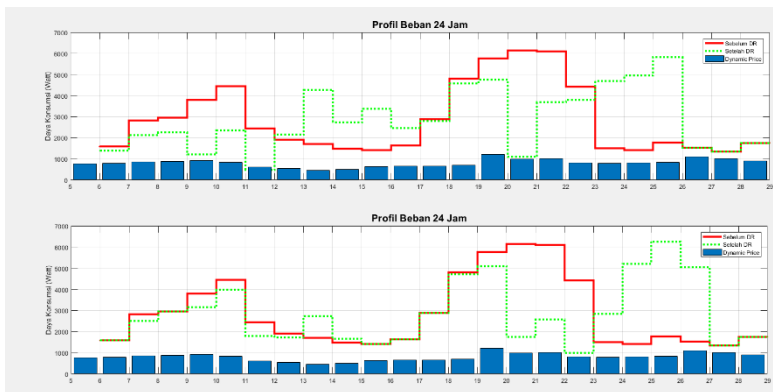


**Gambar 4. 4** Plot Profil Beban DR dengan GA (atas) dan SOS (bawah)

## 4.2.2 Simulasi Pemindahan dengan Harga Dinamik Skema B



Gambar 4. 5 Simulasi Load Shift Skema Harga Dinamik B



Gambar 4. 6 Plot Profil Beban DR dengan GA (atas) dan SOS (bawah)

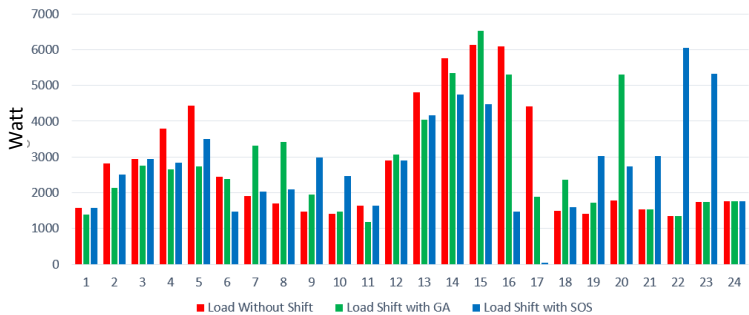
Pada simulasi skema ini, dapat dilihat bahwa beban pada beban puncak jam 09:00 – 10:00 berpindah menuju jam 13:00-15:00. Sedangkan pada beban pada pukul 20:00 – 22:00 berpindah menuju jam 23:00 – 01:00. Pemindahan beban ini berdasarkan harga dinamik yang paling murah sehingga tagihan listrik akan semakin rendah. Adapun pemindahan beban menggunakan program algoritma *Genetic Algorithm* lebih merata apabila dibandingkan dengan program algoritma *Symbiotic Organism Search*. Pemindahan beban dimulai pada jam 06:00 dan berakhir pada jam 06:00. Penjadwalan beban

berpindah menjadi di pagi hari karena harga dinamik di pagi hari lebih murah dibandingkan dengan harga dinamik pada jam-jam lainnya.

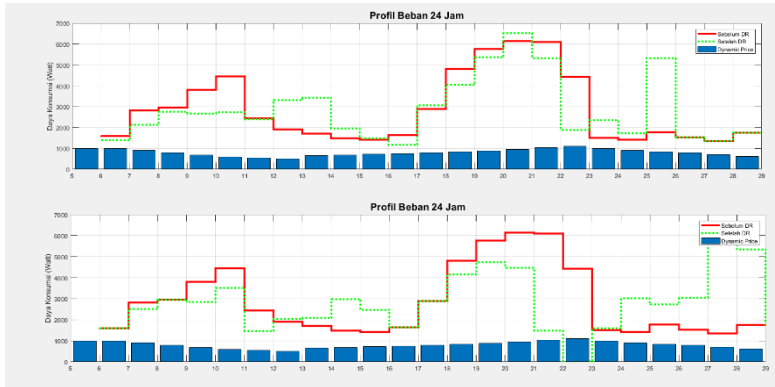
**Tabel 4. 4** Data Simulasi Pemandahan dengan skema A

Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
6	1585	1389	1585	18	4807	4582	4710
7	2815	2129	2513	19	5759	4768	5083
8	2952	2264	2952	20	6138	1093	1744
9	3794	1213	3150	21	6096	3686	2583
10	4441	2350	3986	22	4419	3791	983
11	2442	475	1798	23	1499	4684	2835
12	1915	2160	1726	24	1412	4960	5211
13	1706	4261	2738	1	1781	5829	6262
14	1477	2724	1666	2	1531	1531	5044
15	1416	3376	1416	3	1356	1356	1356
16	1634	2457	1634	4	1749	1746	1746
17	2892	2789	2892	5	1761	1761	1761

### 4.2.3 Simulasi Pemandahan Beban Skema Harga Dinamik C



**Gambar 4. 7** Simulasi Load Shift Skema Harga Dinamik C



**Gambar 4. 8** Plot Profil Beban DR dengan GA (atas) dan SOS (bawah)

Pada simulasi skema ini, dapat dilihat bahwa beban pada beban puncak jam 09:00 – 10:00 berpindah menuju jam 12:00-15:00. Sedangkan pada beban pada pukul 19:00 – 22:00 berpindah menuju jam 03:00 – 04:00. Pemindahan beban ini berdasarkan harga dinamik yang paling murah sehingga tagihan listrik akan semakin rendah. Adapun pemindahan beban menggunakan dengan program algoritma *Symbiotic Organism Search* lebih terpusat pada jam 02:00 – 03:00. Pemindahan beban dimulai pada jam 06:00 dan berakhir pada jam 06:00. Penjadwalan beban berpindah menjadi di pagi hari karena harga dinamik di pagi hari bervariasi dibandingkan dengan harga dinamik pada jam-jam lainnya.

**Tabel 4. 5** Data Simulasi Pemindahan dengan skema A

Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
6	1585	1389	1585	18	4807	4048	4163
7	2815	2129	2513	19	5759	5351	4739
8	2952	2754	2952	20	6138	6516	4476
9	3794	2660	2848	21	6096	5312	1477
10	4441	2734	3502	22	4419	1884	35
11	2442	2394	1466	23	1499	2360	1600
12	1915	3312	2030	24	1412	1722	3017

Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
13	1706	3429	2087	1	1781	5306	2732
14	1477	1957	2987	2	1531	1531	3032
15	1416	1483	2470	3	1356	1356	6040
16	1634	1179	1640	4	1749	1746	5330
17	2892	3061	2892	5	1761	1761	1761

### 4.3 Analisa Ekonomi Tagihan Listrik Skema A, B, C

Pada analisa ini akan dilakukan perhitungan perbandingan tagihan listrik setelah dilakukan demand response menggunakan GA atau SOS dengan tagihan listrik sebelum dilakukan demand response. Penentuan tagihan listrik berdasarkan pemindahan beban yang dilakukan sebanyak 20 kali iterasi dengan memilih tagihan listrik yang paling rendah dengan penjadwalan yang paling optimal. Analisa dilakukan dengan tiga skema harga dinamik yang berbeda untuk memastikan simulasi berjalan dengan baik. Dari ketiga simulasi dipilih tagihan tertinggi.

#### 4.3.1 Analisa Tagihan Listrik DR dengan Skema A

**Tabel 4. 6** Data Tagihan Listrik Respon Beban dengan skema A

Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
6	713	625	713	18	4346	2308	3093
7	1132	856	856	19	5632	4717	3428
8	1311	1005	1139	20	7267	2849	498
9	2493	797	1414	21	7370	3342	1197
10	3730	1974	1974	22	4101	1441	1022
11	2161	420	1227	23	1180	2641	2437
12	1725	1674	1902	24	1038	3841	2941
13	1506	1594	1681	1	930	3094	3626
14	1270	2252	2215	2	816	3041	2167
15	1163	3089	1472	3	678	2116	3209

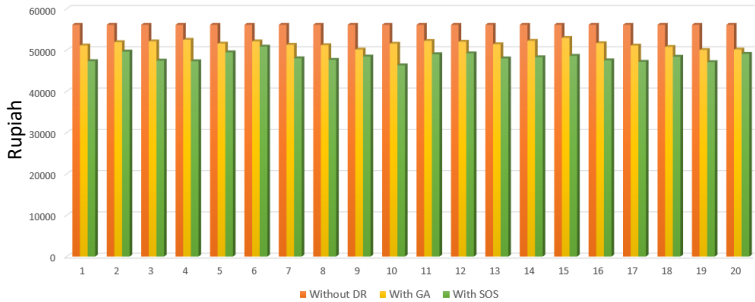
Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
16	1346	1873	2169	4	861	859	2965
17	2580	2841	2174	5	791	791	791

Pada analisa tagihan listrik pada skema A akan dicari perbandingan tagihan dari konsumsi energi listrik tiap jam. Pada kurva plot Gambar 4.9 terlihat bahwa pada beban yang tidak diberikan perlakuan program demand response pada jam sibuk memiliki tagihan listrik yang sangat tinggi dan mahal. Sedangkan pada beban yang telah diberi perlakuan demand response menggunakan program GA ataupun SOS terlihat bahwa tagihan tiap jam mengalami pemerataan tiap jam dan mendapat tagihan listrik yang murah pada jam-jam tidak sibuk.

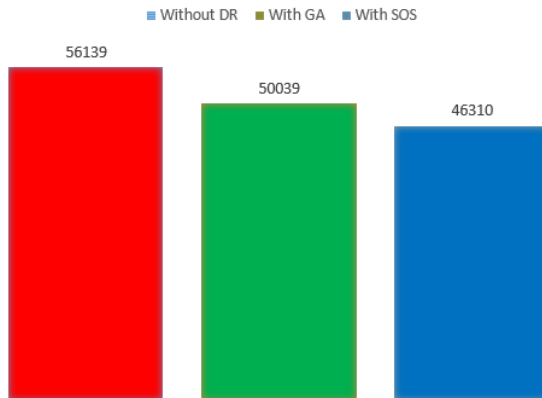


**Gambar 4. 9** Plot Tagihan Tanpa DR, DR with GA, dan DR with SOS

Adapun hasil dari pemindahan dilakukan sebanyak 20 kali untuk mendapatkan hasil penjadwalan yang paling optimal dengan tagihan listrik terendah. Pada skema A penghematan terjadi sangat signifikan yang terjadi tiap iterasi. Adapun demand response yang menggunakan program SOS memiliki tagihan lebih rendah dibandingkan dengan tagihan dari Demand Response program GA. Sedangkan tagihan dari demand response menggunakan program GA lebih rendah apabila dibandingkan dengan penjadwalan tanpa program demand response. Dari hasil penjadwalan yang dilakukan sebanyak 20 iterasi, didapatkan penghematan tagihan yang stabil.



**Gambar 4. 10** Perbandingan Tagihan Tanpa DR, with GA, dan with SOS



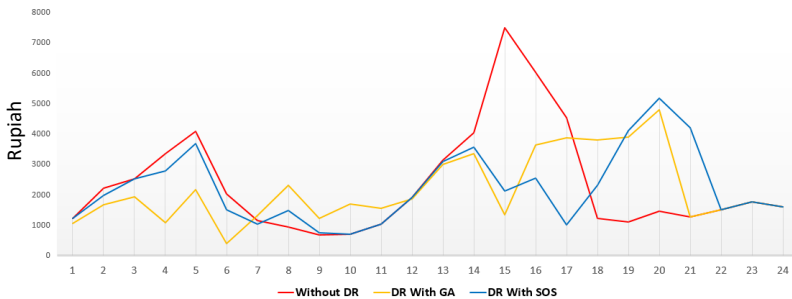
**Gambar 4. 11** Perbandingan Tagihan Akhir Tanpa DR, with GA, dan with SOS Skema A

Pada perbandingan tagihan akhir pada Gambar 4.11 terlihat bahwa tagihan listrik setelah demand response menggunakan program SOS lebih rendah apabila dibandingkan dengan program Demand Response program GA. Dari hasil analisa dapat dilihat bahwa tagihan dengan program *Genetic Algorithm* dapat berkurang hingga 10.9% atau penghematan sebesar Rp 6.100,-. Sedangkan hasil analisa menggunakan program *Symbiotic Organism Search* dapat berkurang hingga 17.5% atau menghemat sebesar Rp 9.829,-.

### 4.3.2 Analisa Tagihan Listrik Demand Response dengan Skema B

**Tabel 4. 7** Data Tagihan Listrik Respon Beban dengan skema B

Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
6	1213	1063	1213	18	3144	2997	3080
7	2221	1680	1983	19	4043	3347	3568
8	2521	1933	2521	20	7494	1335	2129
9	3358	1074	2788	21	6017	3638	2549
10	4090	2164	3671	22	4521	3878	1006
11	2032	395	1496	23	1217	3803	2302
12	1157	1305	1043	24	1110	3899	4096
13	926	2314	1487	1	1468	4803	5160
14	668	1231	753	2	1274	1274	4197
15	712	1698	712	3	1507	1507	1507
16	1033	1553	1033	4	1770	1767	1767
17	1917	1849	1917	5	1599	1599	1599

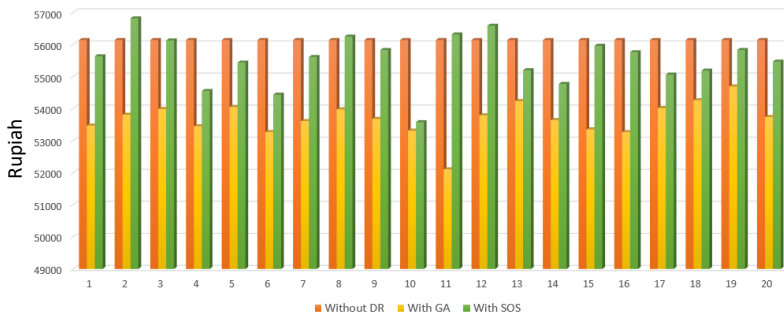


**Gambar 4. 12** Plot Tagihan Tanpa DR, DR with GA, dan DR with SOS

Pada analisa tagihan listrik pada skema B akan dicari perbandingan tagihan dari konsumsi energi listrik tiap jam. Pada kurva

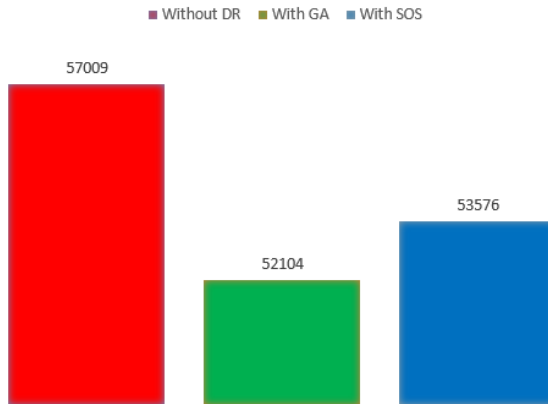


plot Gambar 4.12 terlihat bahwa pada beban yang tidak diberikan perlakuan program demand response pada jam sibuk memiliki tagihan listrik yang sangat tinggi dan mahal. Sedangkan pada beban yang telah diberi perlakuan demand response menggunakan program GA ataupun SOS terlihat bahwa tagihan tiap jam mengalami pemerataan tiap jam dan mendapat tagihan listrik yang murah pada jam-jam tidak sibuk.



**Gambar 4. 13** Perbandingan Tagihan Tanpa DR, with GA, dan with SOS

Adapun hasil dari pemindahan dilakukan sebanyak 20 kali untuk mendapatkan hasil penjadwalan yang paling optimal dengan tagihan listrik terendah. Pada skema B penghematan terjadi sangat signifikan yang terjadi tiap iterasi. Adapun demand response yang menggunakan program GA memiliki tagihan lebih rendah dibandingkan dengan tagihan dari Demand Response program SOS. Sedangkan tagihan dari demand response menggunakan program SOS lebih rendah apabila dibandingkan dengan penjadwalan tanpa program demand response. Dari hasil penjadwalan yang dilakukan sebanyak 20 iterasi, didapatkan penghematan tagihan dari program GA lebih stabil dibandingkan dengan program SOS. Penjadwalan pada skema ini tidak dapat maksimal karena harga listrik pada penjadwalan beban fleksibel pada waktu normal telah mendapatkan harga listrik yang murah, dan apabila dipindahkan pada jam lain akan mendapatkan tagihan listrik yang lebih mahal.



**Gambar 4. 14** Perbandingan Tagihan Akhir Tanpa DR, with GA, dan with SOS Skema B

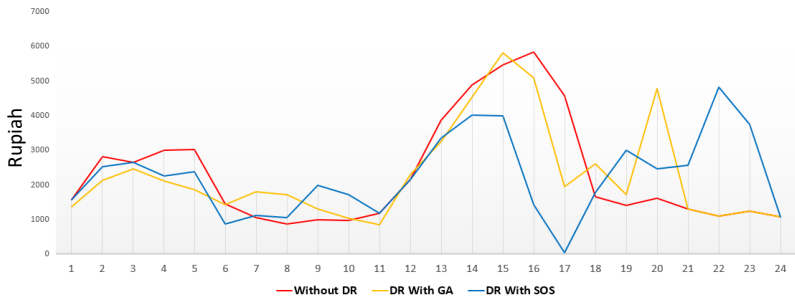
Pada perbandingan tagihan akhir pada Gambar 4.14 terlihat bahwa tagihan listrik setelah demand response menggunakan program GA lebih rendah apabila dibandingkan dengan program Demand Response program SOS. Dari hasil analisa dapat dilihat bahwa tagihan dengan program *Genetic Algorithm* dapat berkurang hingga 8.6% atau penghematan sebesar Rp 4.907,-. Sedangkan hasil analisa menggunakan program *Symbiotic Organism Search* dapat berkurang hingga 6.0% atau menghemat sebesar Rp 3.433,-.

#### 4.3.3 Analisa Tagihan Listrik Demand Response dengan Skema C

**Tabel 4. 8** Data Tagihan Listrik Respon Beban dengan skema C

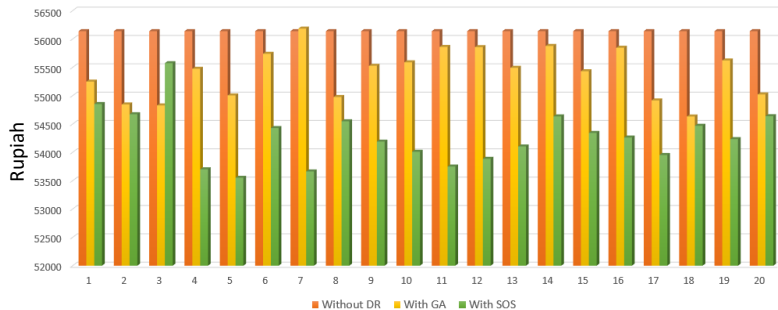
Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
6	1560	1367	1560	18	3855	3246	3339
7	2812	2127	2510	19	4866	4522	4004
8	2639	2462	2639	20	5463	5799	3984
9	2993	2099	2247	21	5828	5078	1412
10	3011	1854	2374	22	4560	1944	36

Jam	Without DR	With GA	With SOS	Jam	Without DR	With GA	With SOS
11	1441	1412	865	23	1653	2603	1765
12	1038	1795	1100	24	1405	1713	3002
13	853	1715	1044	1	1605	4781	2462
14	982	1301	1986	2	1289	1289	2553
15	976	1022	1702	3	1082	1082	4820
16	1178	850	1182	4	1230	1227	3747
17	2155	2280	2155	5	1062	1062	1062



**Gambar 4. 15** Plot Tagihan Tanpa DR, DR with GA, dan DR with SOS

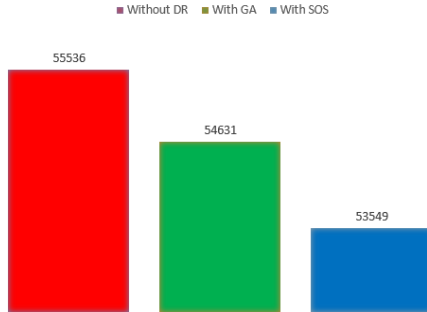
Pada analisa tagihan listrik pada skema C akan dicari perbandingan tagihan dari konsumsi energi listrik tiap jam. Pada kurva plot Gambar 4.15 terlihat bahwa pada beban yang tidak diberikan perlakuan program demand response pada jam sibuk memiliki tagihan listrik yang sangat tinggi dan mahal. Namun, pada skema ini, pemindahan tidak terlalu signifikan karena harga dinamik waktu beban puncak tidak mahal. Sedangkan pada beban yang telah diberi perlakuan demand response menggunakan program GA ataupun SOS terlihat bahwa tagihan tiap jam mengalami penurunan beban dan mendapat tagihan listrik yang murah.



**Gambar 4. 16** Perbandingan Tagihan Tanpa DR, with GA, dan with SOS

Adapun hasil dari pemindahan dilakukan sebanyak 20 kali untuk mendapatkan hasil penjadwalan yang paling optimal dengan tagihan listrik terendah. Pada skema C penghematan tidak terjadi secara signifikan yang terjadi tiap iterasi. Adapun demand response yang menggunakan program SOS memiliki tagihan lebih rendah dibandingkan dengan tagihan dari Demand Response program GA. Sedangkan tagihan dari demand response menggunakan program GA lebih rendah apabila dibandingkan dengan penjadwalan tanpa program demand response. Dari hasil penjadwalan yang dilakukan sebanyak 20 iterasi, didapatkan penghematan tagihan dari program SOS lebih stabil dibandingkan dengan program GA dan memiliki tagihan listrik yang lebih murah.

Pada perbandingan tagihan akhir pada Gambar 4.16 terlihat bahwa tagihan listrik setelah demand response menggunakan program SOS lebih rendah apabila dibandingkan dengan program Demand Response program GA. Dari hasil analisa dapat dilihat bahwa tagihan dengan program *Genetic Algorithm* dapat berkurang hingga 1.6% atau penghematan sebesar Rp 9075,-. Sedangkan hasil analisa menggunakan program *Symbiotic Organism Search* dapat berkurang hingga 3.6% atau menghemat sebesar Rp 3.433,-.



**Gambar 4. 17** Perbandingan Tagihan Akhir Tanpa DR, with GA, dan with SOS Skema Harga Dinamik C

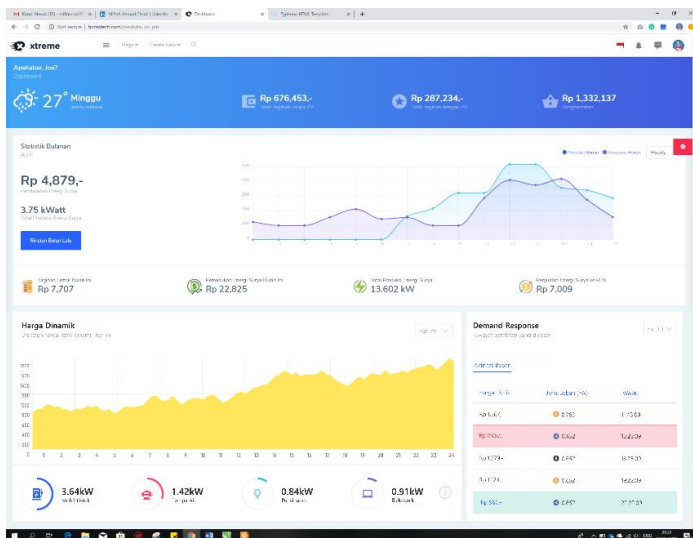
### 4.3 Penerapan Program Pada Aplikasi Demand Response

#	Nama Produksi	Daya (kW)	Incentif (Rp)	Incentif (Rp)	Produksi (kWh)	Pembayaran (Rp)
1	Tempa Air 2526-PT05, 27 May 2019	0.43 kW	Rp 6573,-	Rp 542,-	▲68.20%	▼16.48%
2	Mesin Cuci 742-8409, 31 May 2019	0.76 kW	Rp 9165,-	Rp 785,-	▲26.10%	▼11.47%
3	Pencuk Piring 743-3409, 30 May 2019	0.35 kW	Rp 4.577,-	Rp 479,-	▲17.66%	▼18.20%

**Gambar 4. 18** Tampilan Fitur Program Demand Response

Riwayat pergeseran program demand response dapat dilihat pada web dashboard yang telah dirancang untuk manajemen energi skala rumah tangga. Program ini merupakan pengembangan dari salah satu fitur aplikasi manajemen energi skala rumah tangga yang telah dirancang pada tahun sebelumnya. Adapun tampilan aplikasi program demand response dapat dilihat pada Gambar 4.18. Pada fitur aplikasi demand response ini, user dapat mengetahui riwayat insentif yang didapatkan dari program demand response. Adapun riwayat ini

didapatkan dari pengukuran yang dilakukan oleh smart meter yang telah terpasang di peralatan rumah tangga dan juga dari meteran utama dari PLN.



**Gambar 4. 19** Tampilan Fitur Harga Dinamik pada Aplikasi

Pada aplikasi manajemen energy ini juga dapat dilihat tampilan harga dinamik yang telah di keluarkan oleh utilitas dan dikirimkan ke pelanggan rumah tangga. Dari harga dinamik tersebut akan memudahkan masyarakat dalam memanagen beban ataupun melakukan manajemen penjadwalan pembangkit yang paling murah.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada tugas akhir yang telah saya lakukan, dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Algoritma *Symbiotic Organism Search* lebih optimal dan lebih maksimal melakukan pemindahan beban apabila dibandingkan dengan algoritma Genetic Algorithm.
2. Tagihan dengan program *Genetic Algorithm* dapat berkurang hingga 10.9%. Sedangkan hasil analisa menggunakan program *Symbiotic Organism Search* dapat berkurang hingga 17.5%.
3. Program Demand Response dapat digunakan untuk pemindahan peralatan pada jam-jam sibuk menuju jam-jam sibuk.
4. Dengan penjadwalan demand response dapat menguntungkan pengguna rumah tangga karena dapat digunakan untuk menghemat tagihan listrik
5. Model *real-time pricing* memiliki banyak keuntungan untuk pengguna dalam skala rumah tangga, tetapi pengguna harus siap memiliki peralatan untuk penjadwalan secara otomatis dan juga peralatan untuk meramalkan harga listrik yang akan datang

#### **5.2 Saran**

1. Menggolongkan harga listrik sesuai dengan kejadian pada hari tersebut seperti hari besar maupun kejadian besar seperti piala dunia.
2. Mencoba menerapkan program demand response pada aplikasi Home Energy Management System.
3. Menambahkan variable sistem kelistrikan dua arah seperti discharging battery atau produksi panel surya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. W. Gellings, "The Concept of Demand Side Management for Electric Utilities," in *Proceedings of the IEEE*, Vol 73, no. 10, pp. 1468-1470, 1985.
- [2] R. Cakmak and I. H. Altas, "Scheduling of domestic shiftable loads via Cuckoo search optimization algorithm," in *2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*, Istanbul, 2016.
- [3] I. Koutsopoulos and L. Tassiulas, "Optimal Control Policies for Power Demand Scheduling in the Smart Grid," in *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, no. 6, pp. 1027-1036, 2012.
- [4] H. Goudarzi, S. Hatami and M. Pedram, "Demand Side load Scheduling incentivized by dynamic energy prices," in *2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communication (Smart Grid Comm)*, Brussels, 2011.
- [5] T. Logenthiran, D. Srinivasan and T. Z. Shun, "Demand Side Management in Smart Grid Using Heuristic Optimization," *IEEE Transaction on Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1244-1252, 2012.
- [6] J. Agneessens, T. Vandoorn, B. Meersman and L. Vandevelde, "The use of binary particle swarm optimization to obtain a demand side management system," in *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)*, Edinburgh, 2011.
- [7] IEC, IEC Smart Grid Standardization Roadmap, Sao Paulo, Brazil: SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), 2010, p. 11.
- [8] A. Singhal and R. P. Saxena, "Software Models for Smart Grid," in *2012 First International Workshop on Software Engineering Challenges for the Smart Grids (SE-SmartGrids)*, Zurich, Switzerland, 2012.
- [9] J.S. Vardakas, N. Zorba and C.V. Verikoukis, "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp. 152-178, 2015.

- [10] Wahyuda and B. Santosa, "Dynamic Pricing in Electricity : Research Potential in Indonesia," in *Procedia Manufacturing 4 300-306*, -, 2015.
- [11] F. Wolak, "Residential customer response to real-time pricing: The Anaheim critical peak pricing experiment," in *Center for the Study of Energy Markets, Working Paper 151*, 2006.
- [12] W. Burke and D. Auslander, "Residential electricity auction with uniform pricing and cost constraints," in *Power Symp*, North Amer, Starkville, 2009.
- [13] S. Borenstein, "The long-run effects of real-time electricity pricing," in *Center for the Study of Energy Markets, Working Paper 133*, 2004.
- [14] P. Centolella, "The integration of price responsive demand into regional transmission organization (RTO) wholesale power markets and system operations," in *Energy*.
- [15] B. Alexander, "Smart meters, real time pricing, and demand response programs: Implications for low income electric customers Oak Ridge Natl," in *Lab., Tech. Rep.*, 2007.
- [16] OECD, *A Chain Reaction : Disruptive Innovation in the Electricity Sector*, European Union: OECD, 2018.
- [17] B. C. Hydro, "Residential Rates," 10 November 2017. [Online]. Available: <https://www.bchydro.com/accounts-billing/bill-payment/bill-details/bill-details-residential.html>.
- [18] Niharika and V. Mukherjee, "Day-ahead demand side management using symbiotic organisms search algorithm," *The Institution of Engineering and Technology*, vol. 12, no. 14, pp. 3487-3494, 2018.
- [19] M. Y. Cheng and D. Prayogo, "Symbiotic Organisms Search: a new metaheuristic optimization algorithm," *Comput. Struct*, vol. 139, pp. 98-112, 2014.
- [20] M. Stifter and e. al, "Roles and Potentials of Flexible Consumers and Prosumers Demand Flexibility in Households and Building," in *iea dsm energy efficiency*, 2016.

- [21] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu and S. Rahman, "History of Demand Side Management and Clasifications of Demand Response Control Schemes," in *Department of Electrical Engineering, Eindhoven University of Technology, Eindhoven - Netherlands*, 2018.
- [22] Z. Alliance, Zigbee smart energy profile specification, Zigbee. Doc. 075356r15, rev. 15, , Dec. 2008.
- [23] Z. P. H. J. W. Group, Smart energy profile marketing requirements document, Draft rev 1.0, 2009.
- [24] R. S. G. A. McNaughton, Enterprise integration implicaions for home-area network technologies, Geithersburg, MD: IEEE PES Conf. Innov. Smart Grid Technol., 2010.
- [25] M.-Y. Cheng and D. Prayogo, "Symbiotic Organisms Search : A new metaheuristic Optimization Algorithm," *Elseviers - Computers and Structures* , vol. 139, pp. 98-112, 2014.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Miftah Ahmad Choiri, merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Dilahirkan pada 22 Maret 1997 di Kabupaten Karanganyar oleh pasangan Bapak Rebo dengan Ibu Dwi Sukarni. Mengawali pendidikan di SDN 02 Alastuwo, Karanganyar sampai dengan 2009 kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengahnya di SMP Negeri 1 Karanganyar sampai dengan 2012 dan melanjutkan pendidikan menengah atasnya di SMA Negeri 1 Karanganyar hingga lulus pada tahun 2015. Sejak tahun 2015 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, bidang studi Teknik Sistem Tenaga, melalui jalur suci yaitu Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) 2015. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif di keorganisasian ITS yaitu HIMATEKTRO ITS dan aktif sebagai asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik (PSSL) sebagai koordinator asisten. Berbagai kepanitiaan juga diikuti penulis hingga penulis pernah menjadi Mawapres Tingkat Fakultas pada tahun 2018. Penulis juga aktif dalam kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat. Penulis dapat dihubungi melalui email [Miftahchoiri354@gmail.com](mailto:Miftahchoiri354@gmail.com).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*