



TESIS SS14-2501

**PEMODELAN BEBAN SISTEM LISTRIK DI WILAYAH
JAWA-BALI DENGAN MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *FLEXIBLE SEASONALITY*
*FORECASTING***

**FITRI AYU KUSUMAWATI
NRP 1313 201 045**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr.rel.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.**

**PROGRAM MAGISTER
JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014**



THESIS SS14-2501

**ELECTRICITY DEMAND MODELING
IN JAVA-BALI REGION USING FLEXIBLE
SEASONALITY FORECASTING APPROACH**

**FITRI AYU KUSUMAWATI
NRP 1313 201 045**

**SUPERVISOR
Dr.rel.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.**

**MAGISTER PROGRAM
STATISTICS DEPARTMENT
FACULTY OF MATEMATICS AND NATURAL SCIENCE
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**

**PEMODELAN BEBAN SISTEM LISTRIK DI WILAYAH
JAWA-BALI DENGAN MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *FLEXIBLE SEASONALITY*
*FORECASTING***

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)

Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Fitri Ayu Kusumawati
1313 201 045

Tanggal Ujian : 28 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui Oleh:

1. Dr. rel. pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.
NIP. 19820326 200312 1 004

(Pembimbing)

2. Dr. Suhartono, S.Si., M.Sc.
NIP. 19710929 199512 1 001

(Penguji)

3. Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si.
NIP. 19660125 199002 1 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana ITS,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001

Pemodelan Beban Sistem Listrik Jawa-Bali dengan Menggunakan Pendekatan *Flexible Seasonality Forecasting*

Nama Mahasiswa : Fitri Ayu Kusumawati
NRP : 1313 201 045
Pembimbing : Dr.rel.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.

ABSTRAK

Persentase penggunaan energi listrik di Indonesia mencapai 55% dari total kebutuhan energi final disusul oleh gas bumi, BBM, dan batubara, dengan kapasitas total pembangkit nasional tahun 2011 di Indonesia adalah sebesar 38,9GW, dimana sekitar 76% diantaranya berada di wilayah Jawa-Bali. Hal ini menunjukkan bahwa pembangkit listrik regional Jawa-Bali memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan kebutuhan tenaga listrik untuk menghindari krisis listrik di Jawa-Bali di masa mendatang. Pola musiman yang terdapat pada beban konsumsi listrik di Indonesia sangat kompleks karena dipengaruhi beberapa faktor seperti perbedaan kebutuhan listrik pada jam-jam tertentu setiap harinya, perbedaan pada akhir pekan setiap minggunya serta perbedaan karena adanya efek hari raya idul fitri yang dirayakan sebagian besar penduduk di Jawa-Bali. Sehingga dalam penelitian ini digunakan metode *flexible seasonality forecasting* yaitu *Trigonometric, Box-Cox transform, ARMA errors, Trend, and Seasonal components* (TBATS) yang merupakan pengembangan dari model *exponential smoothing*. Model ini dapat mengakomodasi terjadinya pola musiman yang lebih kompleks dan *non-integer*, terjadinya *trend*, kasus-kasus non-linearitas, serta pemodelan error ARMA. Selanjutnya dalam proses penelitian, dilakukan pemodelan TBATS beban sistem listrik dengan memasukkan pola musiman tahunan hijriah yang hasilnya lebih dapat menangkap pola fluktuatif tahunan pada data, namun menghasilkan residual yang lebih besar jika dibandingkan pemodelan TBATS tanpa memasukkan pola musiman tahunan hijriah jika dilihat dari kriteria AIC, RMSE, dan MAPE. Sehingga dilakukan substitusi hasil ramalan regresi dummy hari raya idul fitri untuk hari-hari di sekitar hari raya idul fitri ke dalam ramalan pemodelan TBATS dengan pola musiman tahunan hijriah. Hasil substitusi tersebut lebih dapat menangkap efek hari raya idul fitri dan dapat menghasilkan nilai ramalan yang lebih baik yang ditunjukkan dari nilai RMSE dan MAPE yang lebih kecil.

Kata Kunci: Konsumsi Listrik, Idul Fitri, Dummy, TBATS

Electricity Demand Modeling in Java-Bali Region Using Flexible Seasonality Forecasting Approach

Name : Fitri Ayu Kusumawati
NRP : 1313 201 045
Supervisor : Dr.rel.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.

ABSTRACT

Electrical energy usage in Indonesia has reached 55% of total final energy with total nation generating capacity in 2011 was approximately 38,9GW and about 76% located in Java-Bali region. This show that Java-Bali power plant require special attention in electricity demand planning to avoid power crisis in the future. One way to do for this plan is forecasting electricity demand. Electricity demand data series exhibit multiple seasonal patterns. It has daily seasonal pattern, weekly seasonal pattern, and annual seasonal pattern in Hijri calendar. Thus, in this study used flexible forecasting seasonality method, called Trigonometric, Box-Cox transform, ARMA errors, Trend, and Seasonal components (TBATS), which is the development of exponential smoothing model. This model can accommodate complex seasonal patterns, trends, non-linearity, and ARMA errors model. Furthermore, in the research process, the electrical system load is modeled by including the annual Hijri seasonal pattern in TBATS models, which can capture the pattern of annual fluctuations in the data. But it produces greater residual than TBATS models without including the annual Hijri seasonal pattern that shown by AIC, RMSE and MAPE criteria. So substitution of dummy regression forecast results of Eid is apply on the days around Eid into forecast of TBATS model with annual seasonal pattern Hijra. The forecast result of substitution is able to capture the effects of Eid and can produce better forecast value that can be seen from smaller RMSE and MAPE.

Kata Kunci: Electricity Demand, Feast of Eid, Dummy, TBATS

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas segala limpahan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul

**“PEMODELAN BEBAN SISTEM LISTRIK JAWA-BALI DENGAN
MENGUNAKAN PENDEKATAN
FLEXIBLE SEASONALITY FORECASTING”**

Penyusunan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Magister Sains (M.Si.) di Jurusan Statistika, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penyusunan Tesis ini tidak lepas dari bimbingan serta dukungan berbagai pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu serta segenap keluarga tercinta yang telah memberikan doa dan motivasi serta dukungan baik secara material maupun spiritual.
2. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T. selaku Ketua Jurusan Statistika ITS.
3. Bapak Dr. rel. pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, motivasi dan masukan yang diberikan.
4. Bapak Dr. Suhartono, S.Si., M.Sc. dan Bapak Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran.
5. Bapak Dr. Sutikno, M.Si selaku dosen wali, yang telah mendampingi penulis selama proses perkuliahan di Jurusan Statistika.
6. Seluruh dosen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu-ilmu yang tiada ternilai harganya dan segenap karyawan jurusan Statistika ITS.
7. Dwi J. Fachrur Rozi yang telah memberikan semangat, motivasi, dan dukungan selama pengerjaan dan penyusunan Tesis.
8. Puspita Kartikasari, Novri Suhermi dan rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Magister Statistika ITS angkatan 2013 atas persahabatan dan kebersamaan selama perkuliahan dan penyusunan Tesis.



9. Keluarga besar ARH 104 yang telah memberikan kehangatan serta kenyamanan dalam kebersamaan kepada penulis selama ini.

10. Pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu penyusunan tugas tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun akan senantiasa penulis harapkan demi kesempurnaan di masa mendatang. Harapan penulis semoga laporan tugas akhir ini menjadi wacana yang bermanfaat kepada penulis, pembaca, dan peneliti selanjutnya. *Amin.*

Surabaya, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.5 Batasan Masalah	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep <i>Time Series</i>	9
2.2 Transformasi Box-Cox	9
2.3 Model ARMA (p,q)	10
2.4 Komponen <i>Time Series</i>	11
2.5 Model Double-Seasonal Holt-Winters	12
2.6 Model TBATS	13
2.7 Formulasi <i>State-space</i> pada Model TBATS	17
2.8 Estimasi Model	19
2.9 Regresi Dummy	22
2.10 Pemilihan Model Terbaik	24
2.11 Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa Timur Dan Bali	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data dan Variabel Penelitian	29
3.2 Langkah Penelitian.....	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa-Bali.....	37
4.2 Regresi Dummy Beban Sistem Listrik Regional Jawa-Bali.....	48
4.3 Model TBATS pada Beban Sistem Listrik Jawa-Bali	56
4.4 Peramalan Jangka Panjang Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa dan Bali.....	64
4.5 Perbandingan Hasil Ramalan Model TBATS pada Beban Sistem Listrik Jawa-Bali.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	81
BIODATA PENULIS	99

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 3.1	Langkah-langkah Pemodelan TBATS	31
Gambar 3.2	Diagram Alir Langkah Analisis	36
Gambar 4.1	Pola Musiman pada Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa-Bali.....	37
Gambar 4.2	Jumlah Pelanggan Per Jenis Pelanggan Tahun 2009	38
Gambar 4.3	Energi Terjual Per Kelompok Pelanggan Tahun 2009	39
Gambar 4.4	<i>Time Series Plot</i> Beban Sistem Listrik Pada Bulan Terjadinya Hari Raya Nyepi.....	39
Gambar 4.5	Beban Sistem Listrik Tahun 2008	42
Gambar 4.6	Efek Hari Raya Idul Fitri Tahun 2008	43
Gambar 4.7	Beban Sistem Listrik Tahun 2009	46
Gambar 4.8	Efek Hari Raya Idul Fitri Tahun 2009	47
Gambar 4.9	Selisih Beban Sistem Listrik pada Hari Raya Idul Fitri terhadap Rata-rata Beban Sistem Listrik Tahun 2008-2009	47
Gambar 4.10	Koefisien Regresi Dummy H-3 hingga H+4 Hari Raya Idul Fitri	54
Gambar 4.11	Dekomposisi Trigonometri Model TBATS (0, 2, 1, 0.996, {48, 13}, {336, 6}) Pada Data Beban Sistem Listrik Jawa-Bali	58
Gambar 4.12	Dekomposisi Trigonometri Model TBATS (0, 3, 4, 0.997, {48, 6}, {336, 6}, {17099.76, 5}) Pada Data Beban Sistem Listrik Jawa-Bali.....	62
Gambar 4.13	Hasil Ramalan Jangka Panjang Beban Sistem Listrik Regional Jawa dan Bali	65
Gambar 4.14	Hasil Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Hasil Ramalan Model TBATS Beban Sistem Listrik Regional Jawa dan Bali	69
Gambar 4.15	Nilai MAPE per Bulan Hasil Peramalan	72
Gambar 4.16	Perbandingan Hasil Ramalan Jangka Panjang dengan Data <i>Out- sample</i> Beban Sistem Listrik Regional Jawa dan Bali	74
Gambar 4.17	Plot ACF Model TBATS	74

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Persamaan Transformasi <i>Box-Cox</i>	10
Tabel 2.2	Energi Terjual per Kelompok Pelanggan (GWh) 2001-2009	26
Tabel 2.3	Energi Terjual per Kelompok Pelanggan (GWh) di Jawa-Bali 2001-2009	27
Tabel 3.1	Hari Raya Idul Fitri	30
Tabel 3.2	Substitusi Ramalan Regresi Dummy Dalam Ramalan Model TBATS.....	35
Tabel 4.1	Indikasi Hari yang Digunakan sebagai Dummy Hari Raya Idul Fitri Tahun 2008.....	40
Tabel 4.2	Indikasi Hari yang Digunakan sebagai Dummy Hari Raya Idul Fitri Tahun 2009.....	44
Tabel 4.3	Struktur Data Variabel Regresi Dummy Hari Raya Idul Fitri	49
Tabel 4.4	Level Beban Sistem Listrik Berdasarkan Hasil Regresi Dummy untuk Hari Biasa	50
Tabel 4.5	Persamaan Regresi Dummy Beban Sistem Listrik	55
Tabel 4.6	Koefisien Model TBATS dengan Periode Musiman Harian dan Mingguan	57
Tabel 4.7	Koefisien Model TBATS dengan Periode Musiman Harian, Mingguan dan Tahun Hiriyah	60
Tabel 4.8	Evaluasi Pemodelan TBATS untuk Data <i>In-sample</i>	67
Tabel 4.9	Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Model TBATS Musiman 48, 336	68
Tabel 4.10	Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Model TBATS Musiman 48, 336, 17099.76.....	69
Tabel 4.11	Kriteria Pemilihan Model Terbaik Pada Peramalan Beban Sistem Listrik Jawa-Bali	71



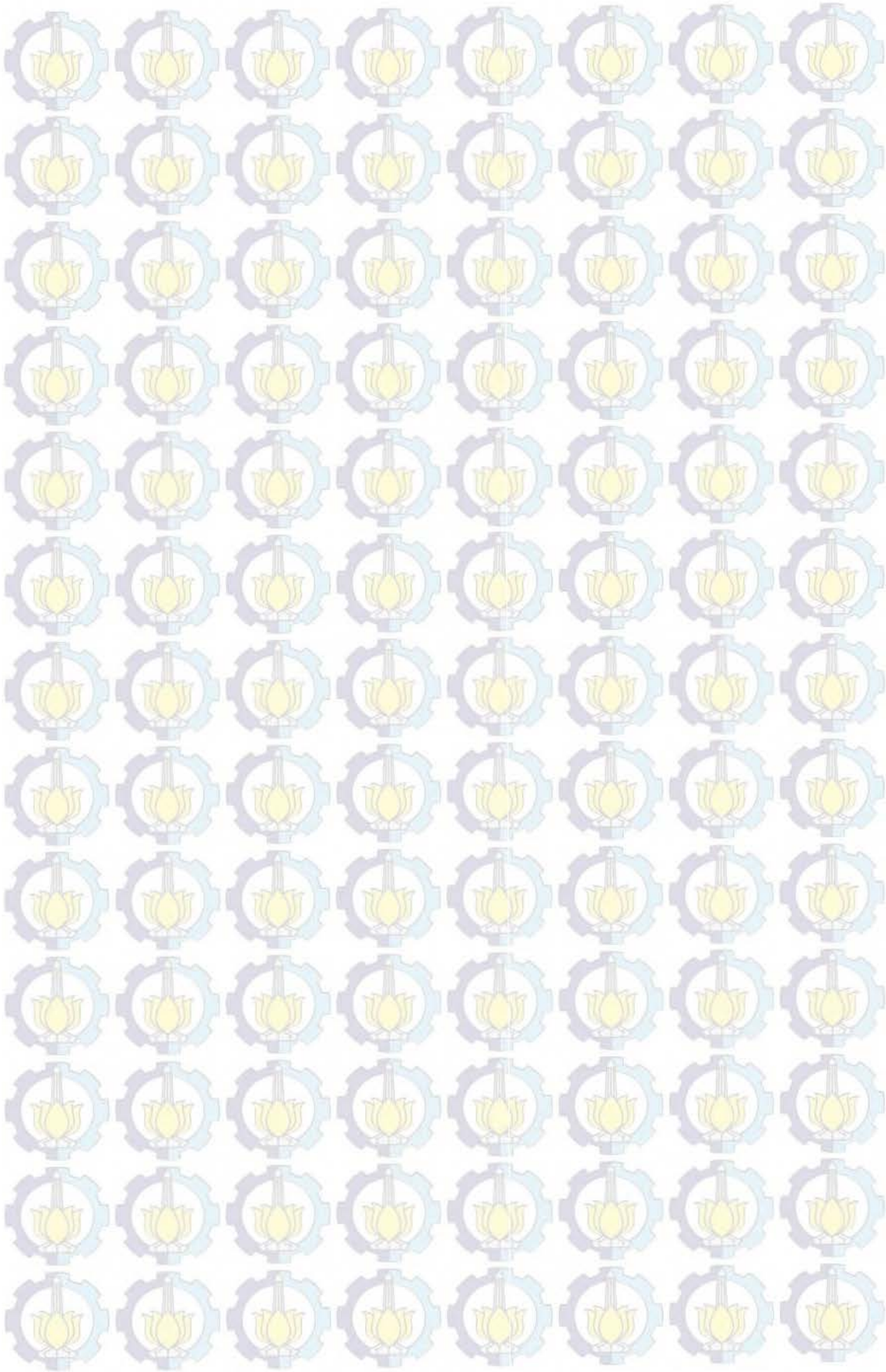
DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Regresi Dummy dengan Program R.....	81
Lampiran B Output Regresi Dummy	82
Lampiran C Syntax Program R dan Output Model TBATS dengan Periode Musiman 48, 336, dan 17099.76	92
Lampiran D Syntax Program R dan Output Model TBATS dengan Periode Musiman 48 dan 336	94

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
y_t	: Data original pada waktu ke- t
ω	: Nilai estimasi transformasi Box-Cox
n	: Jumlah pengamatan
$\varphi_p(B)$	: $1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p$ (Koefisien komponen AR orde p)
$\theta_q(B)$	: $1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$ (Koefisien komponen MA orde q)
ε_t	: <i>residual white noise</i> dengan <i>mean</i> 0 dan varians σ_ε^2
m_1	: Periode musiman ke-1
m_2	: Periode musiman ke-2
d_t	: Proses ARMA(p, q)
l_t	: Level dari y data series pada waktu ke- t
b_t	: Tren dari y data series pada waktu ke- t
$s_t^{(i)}$	: Komponen musiman ke- i pada waktu t
$\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2$	: Parameter penghalus
$l_0, b_0, \{s_{1-m_1}^{(1)}, \dots, s_{1-m_1}^{(2)}\}$	: Variabel inisial
\mathbf{w}'	: Vektor baris
\mathbf{g}	: Vektor kolom
\mathbf{F}	: Matriks
\mathbf{x}_t	: Vektor yang tidak teramati pada waktu ke- t $(\ell_t, b_t, \mathbf{s}_t^{(1)}, \dots, \mathbf{s}_t^{(T)}, d_t, d_{t-1}, \dots, d_{t-p+1}, \varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q+1})$
$\mathbf{s}_t^{(i)}$	: vektor baris $(\mathbf{s}_{1,t}^{(i)}, \mathbf{s}_{2,t}^{(i)}, \dots, \mathbf{s}_{k_i,t}^{(i)}, \mathbf{s}_{1,t}^{*(i)}, \mathbf{s}_{2,t}^{*(i)}, \dots, \mathbf{s}_{k_i,t}^{*(i)})$
$\mathbf{1}_r$	: $(1, 1, \dots, 1)$ vektor baris berukuran r
$\mathbf{0}_r$	: $(0, 0, \dots, 0)$ vektor baris berukuran r
$\gamma_1^{(i)}$	: $\gamma_1^{(i)} \mathbf{1}_{k_i}$
$\gamma_2^{(i)}$	: $\gamma_2^{(i)} \mathbf{1}_{k_i}$

$\gamma^{(i)}$	:	$(\gamma_2^{(i)}, \gamma_2^{(i)})$
γ	:	$(\gamma^{(1)}, \dots, \gamma^{(T)})$
φ	:	$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$
θ	:	$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$
$\mathbf{O}_{u,v}$	:	Matriks dengan elemen 0 yang berukuran $u \times v$
$\mathbf{I}_{u,v}$	:	Matriks diagonal segiempat dengan elemen 1 pada diagonal
$\mathbf{a}^{(i)}$	:	$(\mathbf{1}_{k_i}, \mathbf{0}_{k_i})$
\mathbf{a}	:	$(\mathbf{a}^{(1)}, \dots, \mathbf{a}^{(T)})$
\mathbf{B}	:	$\gamma' \varphi$
\mathbf{C}	:	$\gamma' \theta$
\mathbf{A}_i	:	$\begin{bmatrix} \mathbf{C}^{(i)} & \mathbf{S}^{(i)} \\ -\mathbf{S}^{(i)} & \mathbf{C}^{(i)} \end{bmatrix}$
$\bar{\mathbf{A}}_i$	:	$\begin{bmatrix} \mathbf{0}_{m_i-1} & \mathbf{1} \\ \mathbf{I}_{m_i-1} & \mathbf{0}'_{m_i-1} \end{bmatrix}$
\mathbf{A}	:	$\bigoplus_{i=1}^T \mathbf{A}_i$
	:	Matriks diagonal berukuran $k_i \times k_i$ dengan elemen
$\mathbf{C}^{(i)}, \mathbf{S}^{(i)}$	:	$\cos(\lambda_j^{(i)})$ dan $\sin(\lambda_j^{(i)})$, untuk $j = 1, 2, \dots, k_i$ dan $i = 1, \dots, T$
L	:	operator lag
$\eta(L)$	:	$\det(\mathbf{I} - \mathbf{F}^*L)$
$\delta(L)$	:	$\mathbf{w}^* \text{adj}(\mathbf{I} - \mathbf{F}^*L) \mathbf{g}^* L + \det(\mathbf{I} - \mathbf{F}^*L)$
$\varphi_p(L), \theta_q(L)$	:	polinomial berukuran p dan q
\mathbf{w}^*	:	$(1, \phi, \mathbf{a})$
\mathbf{g}^*	:	$(\alpha, \beta, \gamma)'$
\mathbf{F}^*	:	$\begin{bmatrix} 1 & \phi & \mathbf{0} \\ 0 & \phi & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}' & \mathbf{0}' & \mathbf{A} \end{bmatrix}$



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang tidak lepas dari pendayagunaan energi yang salah satunya adalah energi listrik. Persentase penggunaan energi listrik ini mencapai 55% dari total kebutuhan energi final, disusul oleh gas bumi, BBM, dan batubara. Selama kurun waktu tahun 2000-2011 pemanfaatan energi listrik di Indonesia meningkat cukup tinggi dengan laju pertumbuhan 8,4% per tahun. Peningkatan dalam penggunaan energi listrik ini dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain pertambahan jumlah penduduk, pertumbuhan perekonomian yang signifikan, perkembangan industri, serta kemajuan teknologi berbasis listrik yang berkembang pesat pada hampir setiap sektor, terutama di sektor rumah tangga, industri dan komersial. Bagi negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, peramalan kebutuhan tenaga listrik yang baik dan tepat sangat dibutuhkan. Dalam hal ini peramalan yang dimaksud adalah peramalan yang mendekati kebutuhan yang sebenarnya serta dapat disajikan sesuai waktu yang diperlukan sehingga dapat dipergunakan untuk membuat rencana kebutuhan maupun pengembangan penyediaan tenaga listrik.

Kapasitas total pembangkit nasional (PLN, IPP dan PPU) tahun 2011 di Indonesia adalah sebesar 38,9GW, dimana sekitar 76% diantaranya berada di wilayah Jawa Bali, 13% di wilayah Sumatera, sisanya di wilayah Kalimantan dan pulau lainnya (Sulawesi, Maluku, NTB-NTT, Papua) (BPPT, 2013). Hingga September 2013 kapasitas terpasang pembangkit PLN dan IPP di Indonesia meningkat sampai dengan 40,53GW yang terdiri dari 31,81GW di Jawa-Bali dan 8,71GW di Sumatera dan Indonesia Timur, tidak termasuk pembangkit sewa sebanyak 2,93GW. Pada saat ini daya mampu netto pembangkit di sistem Jawa Bali yang merupakan regional penyedia tenaga listrik paling besar mencapai 31,42GW, sementara beban puncak tertinggi 23.22GW (PLN, 2014). Kondisi tersebut berpotensi memicu krisis listrik di Jawa-Bali ditambah lagi dengan terjadinya keterlambatan pembangunan sejumlah proyek pembangkit listrik yang

menyebabkan cadangan pasokan listrik menjadi berkurang. Terhambatnya pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan selama ini terjadi karena banyak kendala yang dihadapi mulai dari masalah keterbatasan pendanaan dan kemampuan berinvestasi, kesulitan pengadaan lahan dan perijinan untuk pembangunan (dari instansi atau pemilik lahan), keterbatasan energi primer non BBM (gas) yang memadai di lokasi pembangkit, keterbatasan lahan yang siap untuk penyelesaian jangka pendek, dan sampai masalah ketersediaan kontraktor yang mampu dan kompeten (PLN, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa pembangkit listrik regional Jawa-Bali memerlukan perhatian khusus dalam mengatasi permasalahan keterlambatan pembangunan proyek pembangkit listrik serta dalam perencanaan kebutuhan tenaga listrik untuk menghindari krisis listrik di Jawa-Bali di masa mendatang.

Perencanaan kebutuhan listrik ini dapat dilakukan salah satunya dengan meramalkan kebutuhan listrik di masa mendatang berdasarkan data historis tahun-tahun sebelumnya, sehingga dapat diketahui pola permintaan listrik pada setiap kurun waktu untuk memperkirakan besarnya listrik yang harus disediakan dalam mencukupi permintaan dan kebutuhan tenaga listrik. Penelitian Livera dan Hyndman (2009) menyebutkan bahwa pada data harian permintaan listrik terdapat tiga pola musiman yang terjadi. Pola musiman pada data series tersebut meliputi pola musim harian, pola musiman mingguan dan pola musim tahunan, dimana pada pola musim tahunan ini terbagi menjadi dua jenis yaitu 354,37 yang mengikuti kalender hijriyah dan 365,25 yang mengikuti kalender masehi. Kedua pola musiman tahunan ini diperlukan dalam perhitungan peramalan karena pada kedua pola tersebut menimbulkan efek pada besarnya kebutuhan tenaga listrik. Pada pola musiman kalender hijriyah efek kebutuhan tenaga listrik dipengaruhi oleh peristiwa keagamaan yaitu hari raya idul fitri dan hari raya kurban, sedangkan pada pola musiman kalender masehi dipengaruhi karena adanya hari libur nasional. Pada pola musiman mingguan efek terhadap besarnya permintaan listrik terjadi pada akhir pekan yaitu sabtu dan minggu dengan permintaan listrik yang lebih sedikit daripada hari-hari kerja. Tidak seperti pada pola periode harian

dan mingguan, kedua kalender hijriyah dan masehi ini merupakan periode musiman yang *non-nested*.

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam memodelkan dan meramalkan beban sistem listrik, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan Baik (2010). Baik (2010) menggunakan metode yang dikembangkan oleh Taylor (2003) yaitu *double seasonal Holt-Winters exponential smoothing* dalam meramalkan beban listrik per jam di Korea Selatan dan membandingkannya dengan model *single seasonal*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil model *double seasonal Holt-Winters* lebih baik jika dibandingkan dengan model *single seasonal*. Pada tahun 2014, Yasmeen dan Sharif juga melakukan penelitian tentang konsumsi listrik di Pakistan. Dalam meramalkan konsumsi listrik, Yasmeen dan Sharif menggunakan teknik pemodelan yang berbeda yaitu pemodelan linear dan non linear yang meliputi ARIMA, SARIMA, dan ARCH/GARCH. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pada data konsumsi listrik di Pakistan, model yang paling sesuai digunakan adalah model ARIMA.

Penelitian tentang permintaan beban listrik lainnya salah satunya juga dilakukan oleh Hassan, Ahmad, Suhartono, dan Mohamed (2012). Penelitian ini ditujukan untuk meningkatkan akurasi dari peramalan jangka pendek permintaan beban listrik di Malaysia dengan membandingkan antara hasil peramalan model *double seasonal ARIMA* dan *double seasonal ARFIMA*. Kedua metode digunakan berdasarkan dari hasil identifikasi data yang menunjukkan terdapat dua pola musiman pada data yaitu pola musiman harian dan pola musiman mingguan. Penggunaan dua metode tersebut pada data permintaan beban listrik di Malaysia menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan metode ARFIMA dibandingkan dengan ARIMA dapat mengurangi *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* sebesar 0,04%. Di Indonesia, penelitian yang memperhatikan efek musiman pada permintaan beban listrik pernah dilakukan oleh Suhartono dan Endarta (2009) dan juga Suhartono, Puspitasari, Akbar, dan Lee (2012). Suhartono dan Endarta (2009) menggunakan ARIMA subset dengan periode musiman 24 dan 168 yang terdeteksi adanya 14 outlier dari model yang dihasilkan. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan pemodelan Elman-Recurrent Neural Network (RNN)

dengan unit input serupa dengan prediksi model ARIMA yang menunjukkan pada data yang digunakan model RNN merupakan model terbaik karena menghasilkan MAPE lebih kecil dari model ARIMA. Sedangkan, pada penelitian Suhartono *et al.* (2012) yang meramalkan data beban listrik setiap setengah jam di Jawa-Bali digunakan model musiman dua tingkat hibrida ARIMA-ANFIS. Pemodelan ini menghasilkan MAPE 1.78% yang memberikan kesimpulan bahwa model dua tingkat hibrida ARIMA-ANFIS lebih akurat dari pendekatan individual dari model ARIMA dan model ANFIS untuk memprediksi beban listrik.

Model yang dikembangkan Livera, Hyndman dan Snyder (2011) merupakan suatu inovasi kerangka pemodelan baru yang didasarkan pada formulasi trigonometri dalam menangani kasus kompleksitas pada data musiman. Hal ini dikarenakan beberapa metode yang sebelumnya telah dikembangkan dalam memodelkan dan meramalkan data musiman masih memiliki kelemahan-kelemahan. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan Padegral dan Young (2006) dengan menggunakan pemodelan *double seasonal*, dimana model tersebut tidak dapat dikembangkan untuk data *time series* dengan lebih dari dua pola musiman dan juga tidak mampu dalam mengakomodasi terjadinya non-linearitas yang biasa terjadi pada banyak kasus *time series*. Sehingga dalam penelitiannya, Livera, Hyndman dan Snyder (2011) menerapkan sebuah pendekatan hasil inovasi dari metode-metode yang telah ada dalam menangani kasus kompleksitas musiman yang didasarkan pada temuan Hyndman, Koehler, Ord, dan Snyder (2008) yang menyebutkan bahwa pemodelan *state space* yang berbasis pada formulasi trigonometri sesuai untuk mengatasi terjadinya pola musiman ganda baik *nested* maupun *non-nested*, periode musiman *non-integer*, serta mampu menangani kemungkinan terjadinya kasus non-linearitas. Selanjutnya, formulasi trigonometri dari parameter yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperoleh hasil ramalan yang lebih baik.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa umumnya terjadi kompleksitas pola musiman pada data konsumsi listrik. Sehingga dalam penelitian yang ditujukan untuk melakukan pemodelan dan peramalan pada data konsumsi listrik di regional Jawa dan Bali ini mengadopsi penelitian dari Livera, Hyndman

dan Snyder (2011). Metode yang digunakan disebut dengan TBATS yang merupakan akronim dari *Trigonometric, Box-Cox transform, ARMA errors, Trend, and Seasonal components*. Metode ini merupakan pengembangan dari model *exponential smoothing* yang secara luas digunakan dalam peramalan data musiman. Model *exponential smoothing* hanya dapat mengakomodasi pola *single* atau *double seasonal*, sehingga pengembangan metode ini ditujukan untuk dapat mengakomodasi terjadinya pola musiman yang lebih kompleks seperti pola musiman non integer, efek dual kalender, dan pola musiman *non-nested*. Selain itu model *exponential smoothing* untuk kasus-kasus non-linearitas memiliki beberapa kelemahan antara lain hasil peramalan memiliki varians tak hingga serta distribusi prediksi tidak diketahui (Akram, Hyndman, & Ord, 2009). Oleh karena itu untuk menghindari hal tersebut, pemodelan TBATS dapat diterapkan dalam beberapa tipe data non-linear dengan menggunakan transformasi Box-Cox, namun transformasi ini hanya dapat digunakan pada data positif. Selanjutnya, model yang digunakan dalam *exponential smoothing* mengasumsikan bahwa error proses tidak memiliki autokorelasi, akan tetapi secara empiris pada pola musiman multiplikatif error proses berkorelasi dan dapat dijelaskan dengan model AR(1). Sehingga pada metode TBATS direpresentasikan juga pemodelan error ARMA dalam menangani kasus tersebut. Model TBATS juga memperhatikan terjadinya efek trend pada data.

Pemodelan beban sistem listrik dengan memperhatikan efek musiman telah banyak dilakukan. Dua penelitian diantaranya adalah penelitian yang dilakukan Hasan *et al.* (2012) dan Ezennaya, Isaac, Okolie, dan Ezeanyim (2014). Berbeda dengan penelitian Hasan *et al.* (2012) yang menggunakan pola musiman harian (periode musiman 48) dan mingguan (periode musiman 336) dengan peramalan jangka pendek, pada penelitian Ezennaya *et al.* (2014) dengan peramalan jangka panjang ditambahkan pula pola musiman tahunan. Pola musiman tahunan pada penelitian Ezennaya *et al.* (2014) didasarkan pada perbedaan penggunaan listrik yang disebabkan oleh iklim di Nigeria. Di Indonesia sendiri, kebutuhan beban listrik juga mengikuti pola musiman harian dan mingguan. Sementara itu, menurut kelompok pelanggan sebesar 39,49% energi listrik yang terjual pada tahun 2009

dilakukan oleh industri, disusul kemudian sebesar 37,45% dilakukan oleh rumah tangga (PLN, 2010). Pada pelanggan rumah tangga itu sendiri, sebesar 97,39% berasal dari Jawa yang mayoritas menganut agama Islam sehingga karena terjadinya hari raya idul Fitri konsumsi energi listrik di Jawa-Bali juga mengalami pola musiman tahunan. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini digunakan pula pola musiman harian, mingguan, dan tahunan hijriyah untuk menangkap efek hari raya idul fitri pada data beban sistem listrik dengan menggunakan metode *flexible seasonality* yaitu model TBATS yang dikembangkan oleh Livera, Hyndman dan Snyder (2011). Pemodelan dengan hanya memasukkan pola musiman harian dan mingguan juga dilakukan untuk membandingkan hasilnya dengan model yang mengikutsertakan pola musiman tahunan hijriyah. Peramalan jangka panjang untuk satu tahun ke depan diperoleh dengan menggunakan kedua model yang dihasilkan tersebut. Selanjutnya untuk mendapatkan hasil peramalan yang lebih baik, dilakukan substitusi hasil ramalan dengan regresi dummy pada hari-hari dengan efek hari raya idul fitri ke dalam model TBATS dengan idul fitri sebagai efek musiman tetap.

1.2 Rumusan Masalah

Pola musiman yang terdapat pada beban konsumsi listrik di Indonesia sangat kompleks karena dipengaruhi berbagai faktor yaitu perbedaan kebutuhan listrik pada jam-jam tertentu setiap harinya, perbedaan pada akhir pekan setiap minggunya serta perbedaan karena adanya efek hari raya idul fitri yang dirayakan sebagian besar penduduk di Jawa-Bali yang merupakan periode musiman *non-integer* yaitu periode $354 \times 48 \times 336 \approx 1709976$. Selain terdapatnya kompleksitas musiman yaitu memiliki tiga pola musiman dimana salah satunya *non-integer*, terdapat pula kemungkinan kompleksitas lainnya pada data beban konsumsi listrik yang disebabkan karena non-linearitas, error ARMA, dan lain-lain. Sehingga untuk menangani permasalahan-permasalahan pada data beban konsumsi listrik tersebut diperlukan metode yang dapat mengatasi kompleksitas data yaitu dengan metode TBATS. Pada penelitian ini pemodelan dan peramalan dilakukan dalam dua prosedur yaitu pemodelan dengan memasukkan pola musiman tahun hijriyah

untuk menangkap efek hari raya idul fitri dan pemodelan tanpa memasukkan pola musiman tahun hijriyah. Hal ini untuk mengetahui apakah efek hari raya idul fitri merupakan efek musiman tetap. Namun, pada pemodelan TBATS digunakan model musiman harmoni dengan persamaan trigonometri, dimana model musiman ini menghasilkan estimasi dan peramalan yang halus (*smooth*). Sehingga untuk mendapatkan hasil peramalan yang dapat menggambarkan efek hari raya idul fitri dimana terjadi penurunan beban sistem listrik yang signifikan, maka dilakukan substitusi hasil ramalan dengan regresi dummy pada hari-hari di sekitar hari raya idul fitri ke dalam ramalan model TBATS dengan idul fitri sebagai efek musiman tetap. Hasil peramalan-peramalan tersebut selanjutnya dibandingkan untuk mengetahui hasil ramalan yang paling baik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai berdasarkan perumusan masalah yang telah dikemukakan adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik data beban konsumsi listrik di regional Jawa dan Bali tahun 2008-2009.
2. Mendapatkan model regresi dummy beban konsumsi listrik di regional Jawa dan Bali tahun 2008-2009.
3. Mendapatkan model peramalan TBATS pada data konsumsi listrik regional Jawa dan Bali tanpa memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap dan dengan memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap.
4. Mendapatkan hasil peramalan jangka panjang konsumsi listrik regional Jawa dan Bali untuk 1 tahun ke depan dengan kedua model dan melakukan substitusi hasil ramalan dengan regresi dummy pada hari-hari dengan efek hari raya idul fitri ke dalam ramalan model TBATS.
5. Membandingkan hasil peramalan yang diperoleh sehingga didapatkan metode peramalan yang paling sesuai untuk data beban konsumsi listrik di regional Jawa dan Bali.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan keilmuan penerapan metode time series khususnya pendekatan *flexible seasonality*.
2. Mengetahui prediksi beban konsumsi listrik di regional Jawa Timur dan Bali sehingga dapat digunakan bagi pemerintah khususnya PT. PLN (Persero) P3B Regional Jawa Timur dan Bali sebagai bahan membuat rencana kebutuhan maupun pengembangan penyediaan tenaga listrik.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yang digunakan yaitu sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dalam penelitian terdiri dari data *in-sample* (1 Januari 2008-31 Desember 2009) dan data *out-sample* (1 Januari 2010-31 Desember 2010) beban sistem listrik regional Jawa-Bali.
2. Pola musiman tetap yang digunakan adalah harian, mingguan dan tahunan hijriyah menangkap fenomena hari raya idul fitri.
3. Efek dummy hanya diterapkan untuk fenomena hari raya idul fitri tanpa memperhatikan fenomena lainnya seperti hari libur nasional dan hari libur keagamaan yang lain.
4. Peramalan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah jangka panjang, yaitu pada periode satu tahun ke depan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini terdapat beberapa hal yang dibahas meliputi uraian teori dan konsep yang berkaitan dengan analisis yang digunakan dalam penelitian. Hal-hal tersebut antara lain mengenai konsep *time series*, transformasi Box-Cox, model ARMA, model seasonal, *exponential smoothing*, model TBATS dan informasi terkait beban konsumsi listrik di regional Jawa dan Bali.

2.1 Konsep *Time Series*

Analisis *time series* ditujukan untuk memperoleh hubungan dinamis dari y_t . Hubungan dinamis ini sendiri merupakan hubungan antara pengamatan y pada waktu ke- t terhadap waktu-waktu sebelumnya ($t-1$, $t-2$, dan seterusnya) (Wei, 2006). Pengamatan pada analisis *time series* berupa barisan data dengan interval waktu yang sama yang bernilai kontinyu atau diskrit, dimana diasumsikan bahwa setiap waktu pengamatan merupakan variabel random (Cryer & Chan, 2008). Analisis *time series* dilakukan untuk mendapatkan karakteristik data dari waktu ke waktu, meramalkan nilai pengamatan di masa mendatang dan sebagai optimalisasi sistem kontrol dalam suatu mekanisme.

2.2 Transformasi Box-Cox

Pada analisis *time-series*, non-linearitas pengamatan dalam pemodelan dapat menimbulkan hasil peramalan memiliki varians tak hingga dan distribusi prediksi tidak diketahui (Livera & Hyndman, 2009). Sehingga untuk menghindari masalah pemodelan yang ditimbulkan karena non-linearitas data dapat digunakan transformasi Box-Cox pada analisis *time series*. Transformasi Box-Cox hanya dapat diaplikasikan pada pengamatan yang bernilai positif. Namun apabila nilai dari pengamatan negatif atau nol, maka nilai konstan positif ditambahkan pada semua pengamatan untuk membuat pengamatan bernilai positif sebelum melakukan transformasi Box-Cox (Cryer & Chan, 2008). Transformasi Box-Cox mengestimasi nilai ω yang meminimumkan standar deviasi dari pengamatan (y_t)

atau dapat disebut juga dengan transformasi standarisasi. Hasil dari transformasi ini adalah $y_t^{(\omega)}$ ketika ω tidak sama dengan nol dan $\ln(y_t)$ ketika ω sama dengan nol. Sehingga untuk mencari nilai ω yang optimal, transformasi Box-Cox memodifikasi data original dengan menggunakan formula sebagai berikut

$$y_t^{(\omega)} = \begin{cases} y_t^{\omega} - 1; & \omega \neq 0 \\ \ln(y_t); & \omega = 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

dimana

y_t : data original dengan $t=1,2,\dots,n$

ω : nilai estimasi transformasi Box-Cox

n : jumlah pengamatan.

Beberapa hasil transformasi Box-Cox, dimana $y_t^{(\omega)}$ adalah transformasi dari data y_t ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Persamaan Transformasi *Box-Cox*

Nilai estimasi ω	Transformasi
-1	$y_t^{(\omega)} = 1/y_t$
-0,5	$y_t^{(\omega)} = 1/\sqrt{y_t}$
0	$y_t^{(\omega)} = \ln(y_t)$
0,5	$y_t^{(\omega)} = \sqrt{y_t}$
1	$y_t^{(\omega)} = y_t$
	(tidak dilakukan transformasi)
2	$y_t^{(\omega)} = y_t^2$

2.3 Model ARMA (p,q)

Model ARMA (p,q) merupakan model peramalan yang termasuk dalam kelompok linear. Model ARMA (p,q) diaplikasikan pada data *time series* dengan mean dan varians konstan. Model ARMA pada analisis *time series* mencakup dua proses yaitu proses *moving average* (MA) dan proses *autoregressive* (AR). Terminologi dari proses MA dibangun berdasarkan fakta bahwa pengamatan diperoleh dengan menentukan pembobot $1, -\theta_1, -\theta_2, \dots, -\theta_q$ pada variabel $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ kemudian memindahkan pembobot tersebut dan

menerapkannya pada $\varepsilon_{t+1}, \varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{q+1}$ untuk menentukan y_{t+1} dan seterusnya.

Proses AR dapat diartikan sebagai adanya hubungan regresi di dalam pengamatan.

Nilai sekarang pada pengamatan (y_t) adalah kombinasi linear dari p pengamatan waktu sebelumnya ditambahkan dengan ε_t yang merupakan informasi dari deret waktu ke- t yang tidak dapat dijelaskan dari pengamatan sebelumnya. Secara statistik model ARMA (p, q) dapat ditulis sebagai berikut

$$y_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.2)$$

dimana

$$\varphi_p(B) = 1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p \quad (2.3)$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q \quad (2.4)$$

$\varphi_p(B)$: koefisien komponen AR dengan orde p

$\theta_q(B)$: koefisien komponen MA dengan orde q

ε_t : *residual white noise* dengan *mean* 0 dan varians σ_ε^2 atau

$$\varepsilon_t \sim WN(0, \sigma_\varepsilon^2).$$

Bila data mengandung *differencing* orde d maka model pada persamaan 2.2 menjadi model ARIMA (p, d, q) seperti berikut.

$$\varphi_p(B)(1-B)^d y_t = \delta_0 + \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (2.5)$$

dimana $(1-B)^d =$ *differencing* non musiman dengan orde d .

2.4 Komponen *Time Series*

Pada analisis *time series*, terdapat kombinasi dari beberapa macam komponen seperti *trendd* (T), siklus atau *cycle* (C), musiman atau *seasonal* (S) dan *error* (E) (Hyndman, Koehler, Ord, & Snyder, 2008). Definisi dari komponen-komponen tersebut antara lain sebagai berikut.

1. *Trendd* (T) adalah arah data series yang secara kontinu naik atau turun. Salah satu jenis dari komponen *trendd* adalah *damped trendd* yaitu pola berawal seperti linear namun perlahan secara eksponensial menuju ke titik konstan.
2. *Seasonal* (S) merupakan pola pengulangan dengan periode yang diketahui (contoh : 12 bulan per tahun, atau 7 hari per minggu). Terdapat dua jenis pola

seasonal yaitu *additive seasonal* dan *multiplicative seasonal*. *Additive seasonal* dapat berarti bahwa pada suatu periode dengan periode lainnya memiliki pola yang sama artinya setiap periode dalam kurun waktu tertentu memiliki kisaran nilai pengamatan yang hampir sama. *Multiplicative seasonal* yaitu apabila antara periode satu dan periode berikutnya memiliki pola yang sama, namun musiman tersebut memiliki trendd.

3. *Cycle (C)* adalah pola pengulangan yang teratur namun dengan periode yang tidak diketahui dan berubah-ubah (contoh : siklus bisnis).
4. *Error (E)* komponen *time series* yang tidak diketahui.

2.5 Model Double-Seasonal Holt-Winters

Model seasonal dalam *time series* yang sering digunakan karena akurasinya adalah metode *exponential smoothing* Holt-Winters. Taylor (2003) memperluas formulasi *exponential smoothing* Holt-Winters untuk mengakomodasi adanya musim kedua. Sehingga, jika m_1 dan m_2 adalah periode musiman dan e_t adalah variabel random *white noise* yang merepresentasikan prediksi error, sementara l_t dan b_t adalah level dan trend dari y data series pada waktu ke- t maka komponen musiman $s_t^{(i)}$ menjadi :

$$s_t^{(1)} = s_{t-m_1}^{(1)} + \gamma_1 e_t \quad (2.6)$$

$$s_t^{(2)} = s_{t-m_2}^{(2)} + \gamma_2 e_t \quad (2.7)$$

dan

$$y_t = l_{t-1} + b_{t-1} + s_t^{(1)} + s_t^{(2)} + e_t \quad (2.8)$$

$$l_t = l_{t-1} + b_{t-1} + \alpha e_t \quad (2.9)$$

$$b_t = b_{t-1} + \beta e_t \quad (2.10)$$

dimana koefisien α , β , γ_1 , dan γ_2 merupakan parameter penghalus dan $l_0, b_0, \{s_{1-m_1}^{(1)}, \dots, s_0^{(2)}\}$ dan $\{s_{1-m_1}^{(2)}, \dots, s_0^{(2)}\}$ adalah variabel inisial.

Maka persamaan musiman diberikan sebagai berikut :

$$s_t^{(1)} + r_t = (s_{t-m_1}^{(1)} + r_t) + \gamma_1 e_t \quad (2.11)$$

$$s_t^{(2)} - r_t = (s_{t-m_1}^{(2)} - r_t) + \gamma_2 e_t \quad (2.12)$$

dengan r_t adalah time series yang terdiri dari pengulangan urutan untuk setiap musim dalam siklus yang lebih kecil.

2.6 Model TBATS

Livera, Hyndman dan Snyder (2011) menemukan serangkaian masalah yang berkaitan dengan *exponential smoothing*, seperti sejumlah besar nilai musiman awal yang masih harus diperkirakan ketika beberapa pola musiman memiliki jangka waktu yang lama. Selain itu, model yang digunakan untuk *exponential smoothing* mengasumsikan bahwa error proses $\{d_t\}$ secara series tidak berkorelasi, namun secara empiris seperti pada pola musiman multiplikatif error proses berkorelasi. Sehingga dilakukan perluasan model Taylor (2003) dengan memasukkan transformasi Box-Cox, error ARMA, trendd, dan T pola musiman yang disebut dengan model BATS. Notasi $y_t^{(\omega)}$ ini digunakan untuk mewakili transformasi Box-Cox pada observasi dengan parameter ω sebagai berikut

$$y_t^{(\omega)} = \begin{cases} \frac{y_t^\omega - 1}{\omega}; & \omega \neq 0 \\ \ln y_t; & \omega = 0 \end{cases} \quad (2.13)$$

$$y_t^{(\omega)} = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + \sum_{i=1}^T s_{t-m_i}^{(i)} + d_t \quad (2.14)$$

$$l_t = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + \alpha d_t \quad (2.15)$$

$$b_t = (1 - \phi)b + \phi b_{t-1} + \beta d_t \quad (2.16)$$

$$s_t^i = s_{t-m_i}^{(i)} + \gamma d_t \quad (2.17)$$

$$d_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i d_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

dimana m_1, \dots, m_T menunjukkan periode musiman; l_t adalah level lokal pada periode t ; b adalah trendd jangka panjang; b_t adalah trend jangka pendek pada periode t ; $s_t^{(i)}$ adalah komponen musiman ke- i pada waktu t ; d_t merupakan proses ARMA(p, q); ε_t menunjukkan proses *white noise*-Gaussian dengan mean

nol dan varians konstan; dan α , β , dan γ_i merupakan *smoothing* parameter. Model BATS didenotasikan dengan $BATS(\omega, \phi, p, q, m_1, m_2, \dots, m_T)$ dimana ω menunjukkan transformasi Box-Cox, ϕ menunjukkan parameter dari *damping trend*, p dan q menunjukkan parameter ARMA, dan m_1, m_2, \dots, m_T menunjukkan periode musiman.

Koefisien ϕ dari parameter *damping* merupakan ukuran persistensi dari trend linear. Apabila koefisien ϕ mendekati 1, maka trend linear sangat persisten. Namun koefisien ϕ yang berjalan dari 1 menuju 0 mengindikasikan persistensi trend linear yang lebih lemah. Sehingga dapat dipastikan bahwa jika nilai koefisien ϕ tepat 0 maka mengindikasikan tidak terdapat trend linear lain dalam model (McKenzie & Gardner, 2010).

Representasi dari model trigonometri pada komponen musiman berdasarkan deret Fourier untuk menggantikan persamaan $s_t^{(i)}$ pada model BATS ditunjukkan sebagai berikut (Livera & Hyndman, 2009)

$$s_t^{(i)} = \sum_{j=1}^{k_i} \alpha_{j,t}^{(i)} \cos(\lambda_j^{(i)} t) + \beta_{j,t}^{(i)} \sin(\lambda_j^{(i)} t) \quad (2.19)$$

dengan

$$\alpha_{j,t}^{(i)} = \alpha_{j,t-1}^{(i)} + \kappa_1^{(i)} d_t \quad (2.20)$$

$$\beta_{j,t}^{(i)} = \beta_{j,t-1}^{(i)} + \kappa_2^{(i)} d_t \quad (2.21)$$

dimana $\kappa_1^{(i)}$ dan $\kappa_2^{(i)}$ merupakan *smoothing parameter* dan $\lambda_j^{(i)} = \frac{2\pi j}{m_i}$.

Model ini merepresentasikan *single seasonal multiple source of error* yang ekuivalen dengan pendekatan indeks musiman ketika $k_i = m_i / 2$ untuk nilai m_i genap dan $k_i = (m_i - 1) / 2$ untuk nilai m_i ganjil. Namun sebagian besar dari model musiman memerlukan nilai yang lebih kecil dari k_i sehingga mengurangi jumlah parameter yang diestimasi.

Parameter dari alternatif *single seasonal multiple source of error* yang ekuivalen dengan persamaan 2.20 dan 2.21 didefinisikan sebagai berikut.

$$\alpha_{j,t}^{(i)} = s_{j,t}^{(i)} \cos(\lambda_j^{(i)} t) - s_{j,t}^{*(i)} \sin(\lambda_j^{(i)} t) \quad (2.22)$$

$$\beta_{j,t}^{(i)} = s_{j,t}^{(i)} \sin(\lambda_j^{(i)} t) + s_{j,t}^{*(i)} \cos(\lambda_j^{(i)} t) \quad (2.23)$$

Sehingga persamaan 2.19 dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut

$$s_t = \sum_{j=1}^{k_i} \left(\cos(\lambda_j^{(i)} t), \sin(\lambda_j^{(i)} t) \right)^T \mathbf{x}_{j,t} \quad (2.24)$$

$$\mathbf{x}_{j,t} = \mathbf{x}_{j,t-1} + \kappa_t \quad (2.25)$$

dimana $\mathbf{x}_{j,t} = (\alpha_{j,t}, \beta_{j,t})^T$ dan $\kappa_t = (k_1 \varepsilon_t, k_2 \varepsilon_t)$ yang selanjutnya dilakukan re-parameter dengan menggunakan persamaan 2.26

$$\mathbf{x}_{j,t} = \mathbf{A}_{j,t} s_{j,t} \quad (2.26)$$

dengan

$$s_{j,t} = (s_{j,t}, s_{j,t}^*)$$

$$\mathbf{A}_{j,t} = \begin{bmatrix} \cos(\lambda_j t) & -\sin(\lambda_j t) \\ \sin(\lambda_j t) & \cos(\lambda_j t) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}_{j,t}^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\lambda_j t) & \sin(\lambda_j t) \\ -\sin(\lambda_j t) & \cos(\lambda_j t) \end{bmatrix}.$$

Kemudian dengan mensubstitusikan persamaan 2.26 dalam persamaan 2.25 diperoleh persamaan berikut

$$\mathbf{A}_{j,t} s_{j,t} = \mathbf{A}_{j,t-1} s_{j,t-1} + \kappa_t \quad (2.27)$$

$$s_{j,t} = \mathbf{A}_{j,t}^{-1} \mathbf{A}_{j,t-1} s_{j,t-1} + \kappa_t. \quad (2.28)$$

Penggunaan identitas trigonometri yaitu $\mathbf{A}_{j,t}^{-1} \mathbf{A}_{j,t-1} = \begin{bmatrix} \cos(\lambda_j) & \sin(\lambda_j) \\ -\sin(\lambda_j) & \cos(\lambda_j) \end{bmatrix}$ pada persamaan 2.28 menghasilkan komponen musiman yang ditunjukkan sebagai berikut.

$$s_t^{(i)} = \sum_{j=1}^{k_i} s_{j,t}^{(i)} \quad (2.29)$$

$$s_t^{(i)} = s_{j,t-1}^{(i)} \cos \lambda_j^{(i)} + s_{j,t-1}^{*(i)} \sin \lambda_j^{(i)} + [\kappa_1^{(i)} \cos(\lambda_j^{(i)}) + \kappa_2^{(i)} \sin(\lambda_j^{(i)})] d_t \quad (2.30)$$

$$s_t^{*(i)} = -s_{j,t-1}^{(i)} \sin \lambda_j^{(i)} + s_{j,t-1}^{*(i)} \cos \lambda_j^{(i)} + [\kappa_2^{(i)} \cos(\lambda_j^{(i)}) - \kappa_1^{(i)} \sin(\lambda_j^{(i)})] d_t \quad (2.31)$$

Model ini akan meningkatkan heteroskedastisitas dari error. Sehingga agar tetap konsisten dengan homoskedastisitas pada model inovasi *state-space additive*

tradisional, komponen model musiman direpresentasikan dengan persamaan berikut (Livera & Hyndman, 2009).

$$s_t^{(i)} = \sum_{j=1}^{k_i} s_{j,t}^{(i)} \quad (2.32)$$

$$s_{j,t}^{(i)} = s_{j,t-1}^{(i)} \cos \lambda_j^{(i)} + s_{j,t-1}^{*(i)} \sin \lambda_j^{(i)} + \gamma_1^{(i)} d_t \quad (2.33)$$

$$s_{j,t}^{*(i)} = -s_{j,t-1}^{(i)} \sin \lambda_j^{(i)} + s_{j,t-1}^{*(i)} \cos \lambda_j^{(i)} + \gamma_2^{(i)} d_t \quad (2.34)$$

Single seasonal multiple source of error pada persamaan 2.19 ekuivalen dengan persamaan 2.32. Namun pada *multiple seasonal multiple source of error*, representasi musiman pada 2.19 dan 2.32 ketika parameter *smoothing* sama dengan nol. Hal ini akan mengurangi representasi deret Fourier ketika nilai inisial $s_{j,0}^{(i)}$ dan $s_{j,0}^{*(i)}$ dipasangkan pada koefisien deret Fourier untuk komponen musiman ke- i .

Sehingga $s_{j,t}^{*(i)}$ proporsional sebagai tingkat pertumbuhan dari $s_{j,t}^{(i)}$ untuk masing-masing komponen musiman. Pada model musiman tersebut, *stochastic level* dari komponen musiman ke- i ditunjukkan oleh $s_{j,t}^{(i)}$, dan *stochastic growth* dalam *level* dari komponen musiman ke- i ditunjukkan oleh $s_{j,t}^{*(i)}$. Jumlah harmoni yang dibutuhkan untuk komponen musiman ke- i didenotasikan dengan k_i .

Sehingga dengan mengganti komponen musiman 2.17 dengan 2.32 dihasilkan model musiman trigonometri yang diusulkan oleh Livera, Hyndman dan Snyder (2011) dan berasal dari model BATS disebut dengan model TBATS. Model ini didenotasikan dengan $TBATS(\omega, \phi, p, q, \{m_1, k_1\}, \{m_2, k_2\}, \dots, \{m_T, k_T\})$. Model TBATS membutuhkan estimasi nilai musiman awal $2(k_1 + k_2 + \dots + k_T)$, yang mungkin jauh lebih kecil dari jumlah parameter musiman dalam model BATS.

. Kerangka pemodelan TBATS memiliki beberapa kelebihan antara lain sebagai berikut.

- 1) Merupakan sebuah inovasi pemodelan *state-space* yang dapat menghasilkan ruang parameter lebih besar dengan hasil peramalan yang lebih baik.

- 2) Model TBATS dapat mengakomodasi komponen *mutiple seasonal* baik *nested* maupun *non-nested*.
- 3) Dapat menangani kasus non-linear yang sering terjadi pada data-data *time series*.
- 4) Pemodelan ini memungkinkan terjadinya autokorelasi pada residual, yang diperhitungkan dalam pemodelan.
- 5) Menggunakan prosedur estimasi yang lebih sederhana dan efisien.

2.7 Formulasi *State-space* pada Model TBATS

Inovasi pemodelan *state-space* yang diadaptasi dengan menggabungkan transformasi Box-Cox untuk mengatasi nonlinearitas ditunjukkan pada formulasi berikut (Livera, Hyndman dan Snyder, 2011)

$$y_t^{(\omega)} = \mathbf{w}' \mathbf{x}_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.35)$$

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{F} \mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{g} \varepsilon_t \quad (2.36)$$

dimana \mathbf{w}' merupakan vektor baris, \mathbf{g} adalah vektor kolom, \mathbf{F} adalah matriks, dan \mathbf{x}_t adalah vektor yang tidak teramati pada waktu ke- t .

Vektor pada model TBATS dengan pola pertumbuhan yang non-stasioner dapat didefinisikan sebagai

$$\mathbf{x}_t = \left(\ell_t, b_t, \mathbf{s}_t^{(1)}, \dots, \mathbf{s}_t^{(T)}, d_t, d_{t-1}, \dots, d_{t-p+1}, \varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q+1} \right) \quad (2.37)$$

dimana :

$\mathbf{s}_t^{(i)}$ adalah vektor baris $\left(\mathbf{s}_{1,t}^{(i)}, \mathbf{s}_{2,t}^{(i)}, \dots, \mathbf{s}_{k_i,t}^{(i)}, \mathbf{s}_{1,t}^{*(i)}, \mathbf{s}_{2,t}^{*(i)}, \dots, \mathbf{s}_{k_i,t}^{*(i)} \right)$

Jika diketahui :

- 1) $\mathbf{1}_r = (1,1,\dots,1)$ dan $\mathbf{0}_r = (0,0,\dots,0)$ merupakan vektor baris berukuran r
- 2) $\gamma_1^{(i)} = \gamma_1^{(i)} \mathbf{1}_{k_i}$; $\gamma_2^{(i)} = \gamma_2^{(i)} \mathbf{1}_{k_i}$; $\boldsymbol{\gamma}^{(i)} = \left(\gamma_2^{(i)}, \gamma_2^{(i)} \right)$; $\boldsymbol{\gamma} = \left(\boldsymbol{\gamma}^{(1)}, \dots, \boldsymbol{\gamma}^{(T)} \right)$;
 $\varphi = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$; dan $\boldsymbol{\theta} = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$
- 3) $\mathbf{O}_{u,v}$ merupakan matriks dengan elemen 0 yang berukuran $u \times v$
- 4) $\mathbf{I}_{u,v}$ merupakan matriks diagonal segiempat dengan elemen 1 pada diagonal

$$5) \mathbf{a}^{(i)} = (\mathbf{1}_{k_i}, \mathbf{0}_{k_i}) \text{ dan } \mathbf{a} = (\mathbf{a}^{(1)}, \dots, \mathbf{a}^{(T)})$$

$$6) \mathbf{B} = \gamma' \boldsymbol{\varphi}; \mathbf{C} = \gamma' \boldsymbol{\theta}$$

$$7) \mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{C}^{(i)} & \mathbf{S}^{(i)} \\ -\mathbf{S}^{(i)} & \mathbf{C}^{(i)} \end{bmatrix}; \bar{\mathbf{A}}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{m_i-1} & 1 \\ \mathbf{I}_{m_i-1} & \mathbf{0}'_{m_i-1} \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{A} = \bigoplus_{i=1}^T \mathbf{A}_i$$

dimana :

a. $\mathbf{C}^{(i)}$ dan $\mathbf{S}^{(i)}$ adalah matriks diagonal berukuran $k_i \times k_i$ dengan elemen $\cos(\lambda_j^{(i)})$ dan $\sin(\lambda_j^{(i)})$, untuk $j=1,2,\dots,k_i$ dan $i=1,2,\dots,T$.

b. \bigoplus mendenotasikan penjumlahan langsung matriks dimana $\tau = 2 \sum_{i=1}^T k_i$

Maka matriks untuk model TBATS dapat dituliskan sebagai $\mathbf{w} = (1, \phi, \mathbf{a}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\theta})'$,

$$\mathbf{g} = (\alpha, \beta, \gamma, \mathbf{1}_0, \mathbf{1}_{p-1}, \mathbf{1}_0, \mathbf{1}_{q-1}), \text{ dan } \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & \phi & \mathbf{0}_{\tau} & \alpha\boldsymbol{\varphi} & \alpha\boldsymbol{\theta} \\ 0 & \phi & \mathbf{0}_{\tau} & \beta\boldsymbol{\varphi} & \beta\boldsymbol{\theta} \\ \mathbf{0}'_{\tau} & \mathbf{0}'_{\tau} & \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{C} \\ 0 & 0 & \mathbf{0}_{\tau} & \boldsymbol{\varphi} & \boldsymbol{\theta} \\ \mathbf{0}'_{p-1} & \mathbf{0}'_{p-1} & \mathbf{O}'_{p-1,\tau} & \mathbf{I}'_{p-1,p} & \mathbf{O}'_{p-1,q} \\ 0 & 0 & \mathbf{0}_{\tau} & \mathbf{0}_p & \mathbf{0}_q \\ \mathbf{0}'_{q-1} & \mathbf{0}'_{q-1} & \mathbf{O}'_{q-1,\tau} & \mathbf{O}'_{q-1,p} & \mathbf{I}'_{p-1,\tau} \end{bmatrix}$$

Matriks-matriks tersebut diterapkan ketika semua komponen masuk ke dalam model. Ketika sebuah komponen dihilangkan maka komponen yang bersesuaian dalam matriks juga harus dihilangkan.

Selain itu, sistem peramalan linear mempunyai bentuk penurunan ARIMA yang ekuivalen, dan peramalan dari beberapa *exponential smoothing* identik dalam meramal model ARIMA. Penurunan model TBATS memungkinkan untuk melakukan derivasi pada estimasi likelihood tanpa menambahkan parameter *initial state*, derivasi untuk meramalkan error varians, komputasi interval peramalan, dan analisis residual (Livera, Hyndman dan Snyder, 2011). Penurunan model tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut

$$\varphi_p(L)\eta(L)y_t^{(\omega)} = \theta_q(L)\delta(L)\varepsilon_t \quad (2.38)$$

dimana

L adalah operator lag

$$\eta(L) = \det(\mathbf{I} - \mathbf{F}^* L)$$

$$\delta(L) = \mathbf{w}^* \text{adj}(\mathbf{I} - \mathbf{F}^* L) \mathbf{g}^* L + \det(\mathbf{I} - \mathbf{F}^* L)$$

$\varphi_p(L)$ dan $\theta_q(L)$ adalah polinomial berukuran p dan q

$$\mathbf{w}^* = (1, \phi, \mathbf{a})$$

$$\mathbf{g}^* = (\alpha, \beta, \gamma)'$$

$$\mathbf{F}^* = \begin{bmatrix} 1 & \phi & \mathbf{0} \\ 0 & \phi & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}' & \mathbf{0}' & \mathbf{A} \end{bmatrix}$$

Bentuk penurunan pada model TBATS berdasarkan persamaan 2.38 adalah sebagai berikut.

$$\eta(L) = (1-L)(1-\phi) \prod_{i=1}^T \prod_{j=1}^{k_i} (1 - 2 \cos \lambda_j^{(i)} L + L^2) \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} \delta(L) &= \left[L^2 \phi (1-\alpha) + L(\alpha + \phi \beta - \phi - 1) + 1 \right] \\ &\times \prod_{i=1}^T \prod_{j=1}^{k_i} (1 - 2 \cos \lambda_j^{(i)} L + L^2) + (1-L)(1-\phi L) \\ &\times \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{k_i} \prod_{i=1}^T \prod_{j=1}^{k_i} (1 - 2 \cos \lambda_j^{(i)} L + L^2) \\ &\times \left[\cos \lambda_j^{(i)} \gamma_{1i} + \sin \lambda_j^{(i)} \gamma_{2i} \right] L^2 - \gamma_{1i} L^3 \Big] + (1-L)(1-\phi L)L \\ &\times \prod_{i=1}^T \prod_{j=1}^{k_i} (1 - 2 \cos \lambda_j^{(i)} L + L^2) \sum_{i=1}^T k_i \gamma_{1i} . \end{aligned} \quad (2.40)$$

2.8 Estimasi Model

Pada pemodelan ini selain dilakukan estimasi parameter *smoothing* dan *damping* dengan menggunakan jumlah kuadrat error atau likelihood Gaussian, diperlukan juga estimasi parameter transformasi Box-cox dan koefisien ARMA.

Estimasi ini dilakukan dengan menggunakan fungsi likelihood *conditional* pada data $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$ dengan asumsi bahwa $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ sehingga fungsi kepadatan distribusi dari data transformasi $y_t^{(\omega)} \sim N(\mathbf{w}' \mathbf{x}_{t-1}, \sigma^2)$ adalah sebagai berikut.

$$p(\mathbf{y}^{(\omega)} | \mathbf{x}_0, \vartheta, \sigma^2) = \prod_{t=1}^n p(y_t^{(\omega)} | \mathbf{x}_{t-1}, \vartheta, \sigma^2)$$

$$= \prod_{t=1}^n p(\varepsilon_t) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{n/2}} \exp\left(\frac{-1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2\right) \quad (2.41)$$

dimana ϑ adalah vektor yang berisi parameter Box-cox, parameter *smoothing*, dan koefisien ARMA. Sehingga fungsi kepadatan pada data original dengan menggunakan Jacobian dari transformasi Box-Cox adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} p(y_t | \mathbf{x}_0, \vartheta, \sigma^2) &= p(y_t^{(\omega)} | \mathbf{x}_0, \vartheta, \sigma^2) \left| \det\left(\frac{\partial y_t^{(\omega)}}{\partial y_t}\right) \right| \\ &= p(y_t^{(\omega)} | \mathbf{x}_0, \vartheta, \sigma^2) \prod_{t=1}^n y_t^{\omega-1} \\ &= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{n/2}} \exp\left(\frac{-1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2\right) \prod_{t=1}^n y_t^{\omega-1} \end{aligned} \quad (2.42)$$

dengan varians pada estimasi maksimum likelihood

$$\hat{\sigma}^2 = n^{-1} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2 \quad (2.43)$$

Fungsi log-likelihood diformulasikan sebagai berikut.

$$L(\mathbf{x}_0, \vartheta, \sigma^2) = \frac{-n}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2 + (\omega-1) \sum_{t=1}^n \log y_t \quad (2.44)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan 2.43 dalam persamaan 2.44, mengalikan dengan -2, dan menghilangkan konstanta maka diperoleh persamaan log-likelihood sebagai berikut.

$$L^*(\mathbf{x}_0, \vartheta) = n \log\left(\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2\right) - 2(\omega-1) \sum_{t=1}^n \log y_t \quad (2.45)$$

Dalam memulai optimasi pada persamaan 2.32, diperlukan nilai inisial dari \mathbf{x}_0 dan ϑ (Livera & Hyndman, 2009).

1. Jika transformasi diperlukan pada data, maka nilai inisial dari parameter transformasi Box-Cox (ω) harus diaproksimasi terlebih dahulu. Hal ini dapat dilakukan dengan memeriksa data dengan besar transformasi yang berbeda atau sederhananya memulai dengan $\omega=0$. Cara ini dapat membawa pada pilihan model dan peramalan yang lebih baik daripada nilai inisial yang lain untuk ω .

2. Dimisalkan $m^* = [\max(m_1, \dots, m_r)]$, dan kemudian dihitung *moving average* $2 \times m^*$ untuk seluruh data transformasi pada periode musiman yang pertama yang ditunjukkan dengan $\{f_t\} (t = m^*/2 + 1, m^*/2 + 2, \dots)$ dan selanjutnya dilakukan *de-trendd* $z_t = y_t^{(w)} - f_t$. Sehingga untuk model TBATS diaproksimasi dengan persamaan berikut.

$$z_t \approx \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{k_i} a_j^{(i)} \cos(\lambda_j^{(i)} t) + b_j^{(i)} \sin(\lambda_j^{(i)} t) \quad (2.46)$$

dimana nilai $\hat{a}_j^{(i)}$ dan $\hat{b}_j^{(i)}$ diestimasi dengan meregresikan z_t terhadap persamaan trigonometri. Nilai inisial dari musiman pada komponen musiman ke- i dapat dipasangkan dalam nilai $\hat{a}_j^{(i)}$ dan $\hat{b}_j^{(i)}$. Pada tahap regresi ini, nilai k_i yang digunakan didasarkan pada model BATS, yaitu mengganti nilai k_i dengan $m_i/2$ untuk m_i genap dan $(m_i - 1)/2$ untuk m_i ganjil pada persamaan 2.33 dengan tujuan untuk menghasilkan $\hat{a}_j^{(i)}$ dan $\hat{b}_j^{(i)}$. Dengan menggunakan

nilai ini, didefinisikan nilai inisial untuk estimasi dengan

$$z_t^{(i)} = \sum_{j=1}^{k_i} [a_j^{(i)} \cos(\lambda_j^{(i)} t) + b_j^{(i)} \sin(\lambda_j^{(i)} t)].$$

3. Nilai inisial untuk komponen level dan trendd diaproksimasi dengan melakukan regresi pada nilai seasonal m^* terhadap variabel waktu $t = 1, 2, \dots, m^*$. Sehingga nilai inisial untuk level merupakan *intercept* sedangkan nilai inisial untuk trendd merupakan *slope* dari regresi.

Nilai-nilai inisial tersebut dioptimasi bersama dengan parameter Box-Cox dan parameter *smoothing*. Dalam prakteknya, nilai inisial musiman hanya dapat dioptimasi ketika hanya nilai yang diduga kecil. Oleh karena itu, ketika menangani data dengan nilai yang tinggi, nilai inisial musiman tidak dapat diestimasi dengan model BATS. Salah satu keuntungan dari model TBATS adalah memiliki nilai inisial musiman yang lebih kecil sehingga nilai inisial musiman dapat dioptimasi.

2.9 Regresi Dummy

Pada analisis regresi, variabel respon atau variabel dependen tidak hanya dipengaruhi oleh variabel-variabel dengan skala rasio, tetapi juga variabel-variabel dengan data kualitatif atau berskala nominal. Oleh karena variabel-variabel tersebut mengindikasikan adanya keberadaan atau ketiadaan suatu kualitas atau atribut, maka salah satu cara untuk mengukur atribut ini adalah dengan mengkonstruksi variabel artifisial yang menggunakan nilai 0 atau 1 dimana 1 mengindikasikan keberadaan dari atribut dan 0 mengindikasikan ketiadaan atribut (Gujarati, 2003). Variabel yang didalamnya menggunakan 0 dan 1 untuk mengukur suatu atribut disebut dengan variabel dummy. Variabel dummy dapat dimasukkan dalam analisis regresi seperti halnya variabel kuantitatif.

Pada regresi dummy, jika atribut memiliki m kategori maka variabel dummy yang terbentuk berjumlah $m-1$. Kategori yang tidak menjadi variabel dummy disebut dengan pembanding atau kontrol. Nilai *intercept* yang dihasilkan dari regresi dummy merepresentasikan nilai rata-rata dari kategori pembanding. Sementara itu nilai koefisien untuk masing-masing merepresentasikan selisih terhadap nilai *intercept* (Gujarati, 2003). Model regresi dummy dengan m kategori dengan kategori pertama sebagai pembanding ditunjukkan pada persamaan 2.47 berikut

$$y_i = \delta_0 + \delta_1 D_{2i} + \delta_2 D_{3i} + \dots + \delta_{m-1} D_{mi} + u_i \quad (2.47)$$

dimana :

y_i : variabel respon

δ_0 : *intercept* regresi dummy

δ_j : koefisien regresi variabel dummy dimana $j = 1, 2, \dots, m-1$

D_{ji} : variabel dummy ke- j dimana $j = 2, 3, \dots, m$

u_i : error.

Pada analisis regresi, pengujian signifikansi parameter terbagi menjadi dua yaitu pengujian secara serentak dan pengujian secara parsial (individu). Pengujian signifikansi parameter pada analisis regresi dijelaskan sebagai berikut.

a. Pengujian Signifikasi Parameter Secara Serentak

Pengujian secara serentak dilakukan untuk mengetahui minimal terdapat satu dari variabel prediktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon. Pengujian ini dilakukan menggunakan uji F dengan taraf signifikansi sebesar α . Hipotesis dan statistik uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_{m-1} = 0$$

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu dari } \delta_j \neq 0, \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, m-1$$

Statistik uji :

$$F = \frac{MSR}{MSE} \quad (2.48)$$

dengan

$$MSR = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{p} \quad \text{dan} \quad MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p - 1} \quad (2.49)$$

dimana :

y_i : nilai observasi variabel respon

\bar{y} : rata-rata nilai observasi variabel respon

\hat{y}_i : nilai prediksi variabel respon

p : jumlah variabel prediktor

n : jumlah observasi.

Hipotesis nol pada pengujian serentak ditolak atau dapat dikatakan minimal terdapat 1 dari δ_j yang signifikan berpengaruh terhadap variabel respon, jika nilai F yang dihasilkan lebih besar dari $F_{\alpha, (p, n-(p+1))}$.

b. Pengujian Signifikasi Parameter Secara Parsial

Pengujian signifikasi parameter secara parsial dimaksudkan untuk mengetahui apakah secara individu terdapat pengaruh variabel prediktor terhadap variabel respon dengan menggunakan taraf signifikansi sebesar α . Hipotesis dan statistik uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \delta_j = 0$$

$$H_1 : \delta_j \neq 0, \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, m-1$$

Statistik uji :

$$t = \frac{\hat{\delta}_j}{SE(\hat{\delta}_j)} \quad (2.50)$$

dengan

$$SE(\hat{\delta}_j) = \sqrt{g_{jj}} \quad (2.51)$$

dimana :

$\hat{\delta}_j$: nilai estimasi parameter

$SE(\hat{\delta}_j)$: standar error parameter $\hat{\delta}_j$

g_{jj} : elemen diagonal ke- $j+1$ dari matriks $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$ MSE dengan \mathbf{X} adalah matriks yang berisi variabel prediktor

Hipotesis nol pada pengujian parsial ditolak atau dapat dikatakan secara individu δ_j signifikan berpengaruh terhadap variabel respon, jika nilai $|t|$ yang dihasilkan lebih besar dari $t_{\frac{\alpha}{2}, n-(p+1)}$.

2.10 Pemilihan Model Terbaik

Model terbaik dapat dilihat berdasarkan pada residual yang dihasilkan. Terdapat beberapa kriteria yang dapat digunakan dalam pemilihan model terbaik, dua diantaranya adalah *Akaike's Information Criterion* (AIC), *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). AIC adalah suatu kriteria pemilihan model terbaik yang diperkenalkan oleh Akaike (1973) dengan mempertimbangkan banyaknya parameter dalam model yang digunakan pada data *in-sample*. Model terbaik adalah model yang memiliki nilai AIC terendah. Perhitungan nilai AIC dapat diperoleh melalui persamaan berikut (Wei, 2006),

$$AIC = L^*(\mathbf{x}_0, \theta) + 2K \quad (2.38)$$

dimana K adalah jumlah parameter yang ditaksir

Sedangkan pada data *out-sample* kriteria pemilihan model terbaik adalah RMSE dan MAPE. Model terbaik dinyatakan dengan nilai RMSE dan MAPE terkecil yang menunjukkan kesalahan peramalan dari model yang dihasilkan juga semakin kecil. Nilai RMSE dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (2.39)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (2.40)$$

dimana n adalah banyaknya pengamatan yang dilakukan.

Nilai MAPE menunjukkan akurasi dari nilai prediksi data series dalam bentuk persentase yang diformulasikan dengan persamaan berikut.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |(y_t - \hat{y}_t) / y_t|}{n} \times 100, y_t \neq 0 \quad (2.41)$$

2.11 Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa dan Bali

Beban sistem tenaga listrik merupakan pemakaian tenaga listrik dari pelanggan (konsumsi listrik). Sehingga besar kecilnya konsumsi listrik beserta perubahannya tergantung sepenuhnya pada kebutuhan para pelanggan. Umumnya, menurut kegiatan konsumen listrik pengelompokkan konsumsi listrik terbagi menjadi enam kelompok pelanggan yang dikelompokkan menurut golongan tarif sebagai berikut (PLN, 2010).

1. Kelompok rumah tangga, adalah penjumlahan golongan tarif S-1, R-1, R-2, dan R-3.
2. Kelompok bisnis, adalah penjumlahan golongan tarif B-1, B-2, B-3, T, C dan tarif Multiguna.
3. Kelompok industri, adalah penjumlahan golongan tarif I-1, I-2, I-3, dan I-4.
4. Kelompok sosial, adalah penjumlahan golongan tarif S-2, dan S-3.
5. Kelompok gedung kantor pemerintah, adalah penjumlahan golongan tarif P-1 dan P-2.

6. Kelompok penerangan jalan umum, adalah golongan tarif P-3.

Konsumen-konsumen ini mempunyai karakteristik-karakteristik beban yang berbeda, sebab hal ini berhubungan dengan pola konsumsi energi listrik pada masing-masing konsumen tersebut. Pola pembebanan konsumen rumah tangga ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi listrik yang cukup besar. Pada konsumen industri fluktuasi konsumsi energi listrik sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban rata-rata terhadap beban puncak hampir mendekati satu. Sedangkan pada konsumen komersil akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada malam hari.

Tabel 2.2 Energi Terjual per Kelompok Pelanggan (GWh) 2001-2009

Tahun	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gd. Kantor Pemerintahan	Penerangan		Jumlah (%)
						Jalan Umum		
2001	33.339,78	35.593,25	11.395,35	1.781,55	1.281,63	1.128,82	84.520,38	6,77
2002	33.993,56	36.831,30	11.845,04	1.842,89	1.281,49	1.294,47	87.088,74	3,04
2003	35.753,05	36.497,25	13.223,84	2.021,60	1.433,19	1.512,02	90.440,95	3,85
2004	38.588,28	40.324,26	15.257,73	2.237,86	1.644,74	2.044,59	100.097,47	10,68
2005	41.184,29	42.448,36	17.022,84	2.429,84	1.725,66	2.221,24	107.032,23	6,93
2006	43.753,17	43.615,45	18.415,52	2.603,63	1.807,93	2.414,13	112.609,83	5,21
2007	47.324,91	45.802,51	20.608,47	2.908,70	2.016,36	2.585,86	121.246,81	7,67
2008	50.184,17	47.968,85	22.926,29	3.082,42	2.095,80	2.761,28	129.018,81	6,41
2009	54.945,41	46.204,21	24.825,24	3.384,36	2.334,66	2.888,11	134.581,98	4,31

Sumber : PLN (2010)

Energi listrik terjual di Indonesia untuk setiap kelompok pelanggan secara umum mengalami peningkatan setiap tahunnya dari tahun 2001 hingga tahun 2009 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2, dimana peningkatan terbesar terjadi pada tahun 2004 yang mencapai 10,68% dari tahun sebelumnya. Sementara itu jika dilihat dari jenis kelompok pelanggan, pada tahun 2001-2004 kelompok pelanggan industri merupakan kelompok pelanggan dengan energi listrik terjual yang paling besar. Namun pada tahun 2005-2009, energi listrik terjual yang paling besar berasal dari kelompok pelanggan rumah tangga. Pada tahun 2009 energi listrik terjual di Indonesia mencapai 134.581,98GW dan sekitar 77,86% atau

104.107,7 GWh merupakan energi terjual di wilayah Jawa-Bali dimana untuk wilayah Jawa-Bali energi terjual terbesar berasal dari kelompok pelanggan industri seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Energi Terjual per Kelompok Pelanggan (GWh) di Jawa-Bali 2001-2009

Distribusi	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg. Penerangan		Jumlah
					Kantor Pemerintah	Jalan Umum	
Dist. Bali	1.201,22	109,65	1.304,43	53,33	65,44	54,56	2.788,65
Dist. Jawa Timur	8.097,40	8.970,26	2.734,17	533,66	214,65	508,06	21.058,18
Dist. Jawa Tengah dan Yogyakarta	7.356,94	4.716,18	1.874,1	504,21	161,36	471,41	15.084,19
Dist. Jawa Barat dan Banten	11.642,66	19.142,62	2.968,56	545,61	226,31	263,31	34.789,07
Dist. Jakarta dan Tangerang	10.691,49	8.172,67	9.396,43	860,93	921,13	344,98	30.387,62
Jumlah Jawa-Bali	38.989,71	41.111,38	18.277,69	2.497,74	1.588,89	1.642,32	104.107,7

Sumber : PLN (2010)

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik nasional, penyediaan tenaga listrik di Indonesia tidak hanya semata-mata dilakukan oleh PT PLN (Persero) saja, tetapi juga dilakukan oleh pihak swasta. Pada tahun 2011 kapasitas total pembangkit nasional (PLN, IPP dan PPU) di wilayah Indonesia adalah sebesar 38,9 GW. Sekitar 76% diantaranya berada di wilayah Jawa Bali, 13% di wilayah Sumatera, sisanya di wilayah Kalimantan dan Pulau Lainnya (Sulawesi, Maluku, NTB-NTT, Papua). Selanjutnya, dari sisi penyediaan tenaga listrik, pada tahun 2011 pembangkit listrik PLN masih mendominasi dengan pangsa lebih dari 75% (29,3 GW), pembangkit listrik IPP dikisaran 20% (7,9 GW), serta sisanya diisi pembangkit listrik PPU dengan pangsa lebih dari 4% (1,7 GW) (BPPT, 2013).

Perkiraan beban pada sistem tenaga listrik merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan dalam membuat rencana operasi sistem tenaga listrik dimana terdapat tiga kelompok perkiraan beban, yaitu perkiraan beban jangka panjang, jangka menengah, dan jangka pendek. Perkiraan atau peramalan dari beban sistem listrik tersebut dapat dilakukan dengan berbagai pengembangan metode yang didasarkan dari data runtun waktu beban sistem listrik pada periode-periode

sebelumnya. Penelitian sebelumnya mengenai perkiraan atau peramalan beban sistem listrik di wilayah Jawa-Bali ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Penelitian Sebelumnya Mengenai Peramalan Beban Sitem Listrik di Wilayah Jawa-Bali

Peneliti	Data	Metode	Hasil
Rachmawati & Sutijo (2013)	konsumsi listrik dan jumlah pelanggan rumah tangga R-1 per bulan tahun 2006-2012 di Jawa Timur	fungsi transfer	Hasil ramalah pada TR 450VA memiliki persentase kesalahan yang ditunjukkan dari nilai MAPE sebesar 7,568%, TR 900VA sebesar 38,89%, TR 1300VA sebesar 4,22 % dan TR 2200VA sebesar 5,704%.
Widyapratwi, Mertasana, dan Arjana (2012)	beban listrik mingguan di Bali	<i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> (ANFIS) dan ANN	peramalan menggunakan metode ANFIS memiliki tingkat akurasi peramalan yang lebih baik dibandingkan dengan metode ANN
Suhartono dan Endarta (2009)	beban listrik per jam di Mengare, Gresik	ARIMA subset dengan periode musiman 24 dan 168, pemodelan Elman-Recurrent Neural Network (RNN)	model RNN menghasilkan MAPE lebih kecil
Suhartono <i>et al.</i> (2012)	beban listrik per setengah jam di Jawa-Bali	model musiman dua tingkat hibrida ARIMA-ANFIS	model dua tingkat hibrida ARIMA-ANFIS lebih akurat dari pendekatan individual ARIMA dan ANFIS
Lailiya (2013)	beban listrik per setengah jam di Jawa-Bali	<i>Double Seasonal Holt Winter</i> (DSHW) dengan pendekatan <i>Double Seasonal Block</i> (DSB) dan <i>Percentile Error</i> (PE) bootstrap	DSB bootstrap memberikan akurasi jauh lebih tinggi daripada PE bootstrap, namun memiliki interval yang sangat lebar

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan prosedur penelitian mulai dari variabel dan sumber data yang digunakan serta langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian yang telah disampaikan pada sub-bab sebelumnya.

3.1 Sumber Data dan Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder beban konsumsi listrik pada PT. PLN (Persero) P3B Regional Jawa-Bali. Data beban konsumsi listrik yang digunakan sebagai variabel adalah jumlah beban konsumsi listrik harian tiap setengah jam dalam satuan MegaWatt (MW), dimana data tersebut terbagi menjadi dua yaitu sebagai berikut.

1. Data *in-sample* untuk proses pembentukan dan pengujian model dari periode 1 Januari 2008 sampai dengan 31 Desember 2009 sebanyak 35088.
2. Data *out-sample* untuk pemilihan model terbaik dalam peramalan dari periode 1 Januari 2010 sampai dengan 31 Desember 2010 sebanyak 17520.

3.2 Langkah Penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan dalam mengaplikasikan metode *flexible seasonality* TBATS pada data beban konsumsi listrik di regional Jawa-Bali. Langkah-langkah tersebut dijelaskan sebagai berikut.

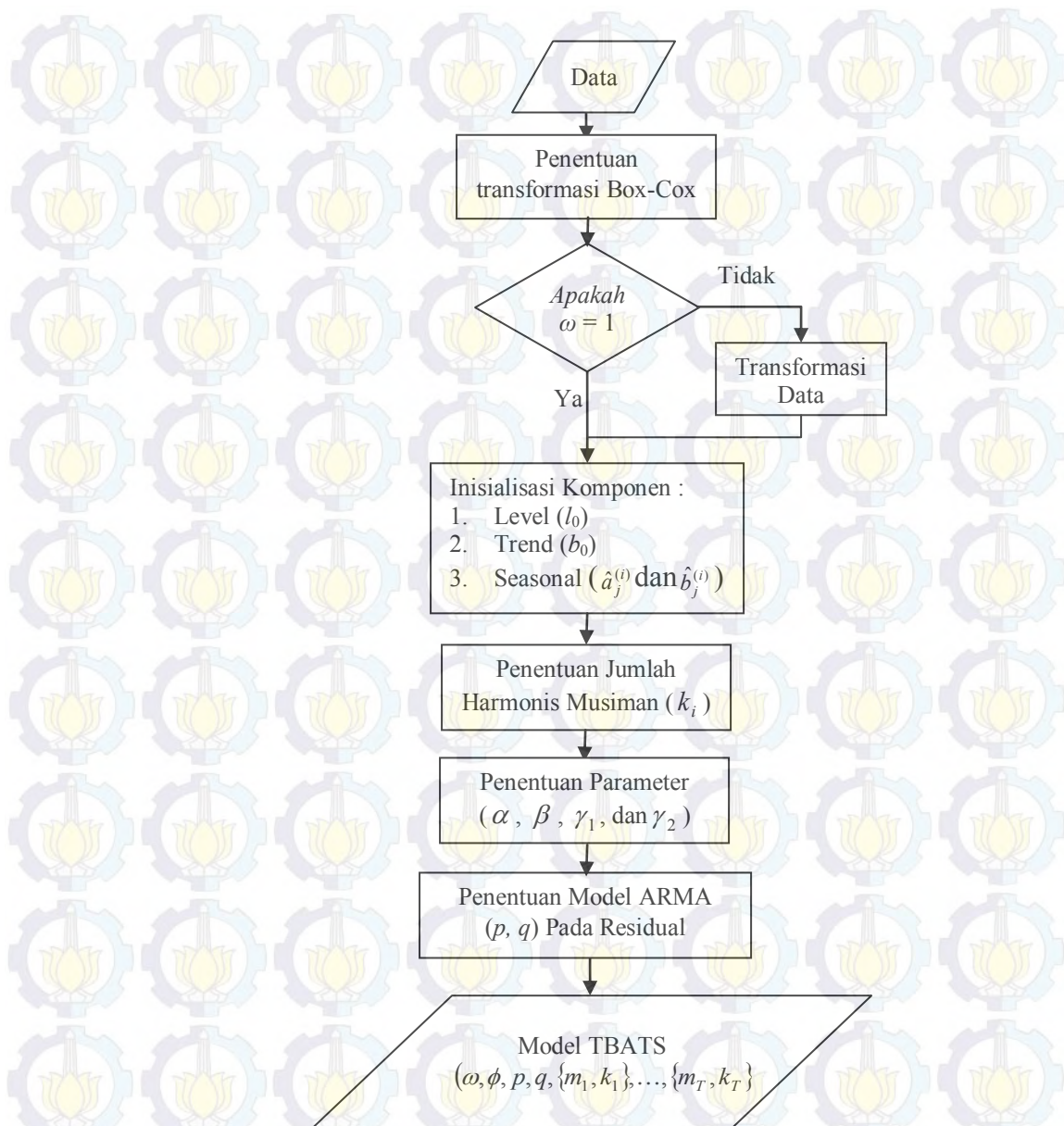
1. Membagi data menjadi 2 yaitu data *in-sample* dari periode 1 Januari 2008 sampai dengan 31 Desember 2009 dan data *out-sample* dari periode 1 Januari 2010 sampai dengan 31 Desember 2010.
2. Melakukan identifikasi karakteristik dan menentukan dummy yang digunakan untuk periode sekitar hari raya idul fitri pada data *in-sample* dengan statistika deskriptif. Penentuan dummy tersebut didasarkan pada tanggal terjadinya hari raya idul fitri yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Hari Raya Idul Fitri

Tahun	Tanggal
2008	01-02 Oktober
2009	21-22 September

Penentuan dummy meliputi r_a hari sebelum hari raya idul fitri, hari raya idul fitri, dan r_b hari sesudah hari raya idul fitri dimana beban sistem listrik memiliki penurunan signifikan dari hari biasa yang dilihat dari diagram garis untuk tahun pertama dan kedua data *in-sample*. Sehingga diperoleh r_{a1} hari sebelum hari raya idul fitri dan r_{b1} hari sesudah hari raya untuk tahun pertama (2008), serta r_{a2} hari sebelum hari raya idul fitri dan r_{b2} hari sesudah hari raya untuk tahun kedua (2009). Berdasarkan hasil yang diperoleh, dummy yang digunakan adalah minimum dari r_{a1} dan r_{a2} untuk r_a hari sebelum hari raya idul fitri dan r_{b1} dan r_{b2} untuk r_b hari sesudah hari raya idul fitri.

3. Menentukan variabel dummy berdasarkan efek hari raya idul fitri yang digunakan dan meregresikannya terhadap data *in-sample* beban sistem listrik sehingga diperoleh model regresi.
4. Melakukan pengujian linearitas pada data *in-sample* dengan menggunakan transformasi Box-cox yang hasilnya diterapkan pada pemodelan TBATS.
5. Melakukan pembentukan model *flexible seasonality* TBATS pada data *in-sample* yang terbagi menjadi dua prosedur sebagai berikut yaitu pemodelan TBATS tanpa memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap dan pemodelan TBATS dengan memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap. Pada pemodelan TBATS ini terdapat beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan, yang secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.1 Langkah-langkah Pemodelan TBATS

Langkah-langkah model TBATS pada kedua prosedur. Dijelaskan sebagai berikut.

- a. Pemodelan TBATS pada data *in-sample* tanpa memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap sehingga periode musiman yang digunakan adalah 48 dan 336.

Pemodelan ini memiliki beberapa tahapan dalam pembentukan dan penentuan parameter sebagai berikut.

- 1) Menentukan indikasi adanya transformasi Box-cox pada data sesuai dengan hasil pengujian linearitas dan memperoleh parameter Box-cox pada data.
- 2) Menentukan inisial komponen dari transformasi Box-Cox (ω), komponen musiman ($\hat{a}_j^{(i)}$ dan $\hat{b}_j^{(i)}$), komponen level (l_0), dan komponen trend (b_0).
- 3) Menentukan jumlah harmoni untuk masing-masing periode musiman dimulai dengan periode musiman terkecil dengan melakukan *de-trend* data transformasi. Prediksi data *de-trend* dilakukan dengan regresi linier $\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{k_i} a_j^{(i)} \cos(\lambda_j^{(i)} t) + b_j^{(i)} \sin(\lambda_j^{(i)} t)$ dimulai dengan jumlah harmonis $k_i = 1$ dan melakukan uji signifikansi dengan uji F. Langkah tersebut diulang dengan secara bertahap menambahkan jumlah harmoni. Jika k_i^* merupakan jumlah harmoni yang signifikan untuk periode musiman ke- i , maka selanjutnya data dimodelkan dengan $k_i = k_i^*$ dan diperoleh nilai AIC. Langkah yang sama dilakukan untuk periode musiman yang lain hingga diperoleh nilai AIC minimum.
- 4) Mengoptimasi nilai-nilai inisial tersebut bersama dengan parameter Box-Cox dan parameter *smoothing* baik level (α), trend (β), dan musiman (γ_1 dan γ_2) untuk periode musiman 48 dan 336.
- 5) Menentukan model ARMA pada residual model dengan menggunakan algoritma Hyndman dan Khandakar (2008) yaitu pemodelan auto ARIMA dimana diasumsikan residual stasioner. Langkah-langkah pemodelan auto ARIMA dengan residual stasioner adalah sebagai berikut.
 1. Nilai-nilai p dan q kemudian dipilih dengan meminimalkan AIC dengan differencing 0 karena residual diasumsikan stasioner. Selanjutnya dilakukan pencarian bertahap untuk mendapatkan ruang model dengan langkah sebagai berikut.

a) Model terbaik (dengan AIC terkecil) dipilih dari empat model berikut:

ARIMA (2, 0, 2),

ARIMA (0, 0, 0),

ARIMA (1, 0, 0),

ARIMA (0, 0, 1).

Karena $d = 0$ maka konstanta c disertakan.

b) Variasi pada model awal dilakukan dengan :

- Memvariasikan p dan/atau q dari model saat ini dengan ± 1 ; dimana nilai p dan q maksimal adalah 5.
- Mamasukkan/mengeluarkan nilai konstanta c dari model awal.

Model terbaik yang diperoleh (baik model awal, atau salah satu dari variasi ini) didefinisikan dengan model awal baru.

2. Melakukan pengulangan Langkah 1b) sampai tidak ada AIC lebih rendah yang dihasilkan.

AIC yang digunakan untuk penentuan model yang paling sesuai adalah $AIC = -2 \log(\text{Maximum Likelihood}) + 2k$ dimana k adalah jumlah parameter yang ditaksir. Ketika salah satu dari parameter *smoothing* bernilai 0, maka k berkurang 1 sehingga model lebih sederhana. Sebagai contoh jika $\beta = 0$ maka $b_t = b_0$ untuk semua t . Begitu juga ketika nilai $\phi = 1$ atau $\omega = 1$, maka k berkurang 1 untuk masing-masing contoh yang menghasilkan model menjadi lebih sederhana.

b. Pemodelan TBATS pada data *in-sample* dengan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap sehingga periode musiman yang digunakan adalah 48, 336, dan 18099.76.

Tahapan dalam pembentukan dan penentuan parameter adalah sebagai berikut.

1) Menentukan indikasi adanya transformasi Box-Cox pada data sesuai dengan hasil pengujian linearitas dan memperoleh parameter Box-Cox pada data.

- 2) Menentukan inisial komponen dari transformasi Box-Cox (ω), komponen musiman ($\hat{a}_j^{(i)}$ dan $\hat{b}_j^{(i)}$), komponen level (l_0), dan komponen trend (b_0).
- 3) Menentukan jumlah harmoni k_i untuk masing-masing periode musiman dimulai dengan periode musiman terkecil dengan melakukan *de-trend* data transformasi.
- 4) Mengoptimasi nilai-nilai inisial tersebut bersama dengan parameter Box-Cox dan parameter *smoothing* baik level (α), trend (β), dan musiman (γ_1 dan γ_2) untuk periode musiman 48, 336, dan 17099.76.
- 5) Menentukan model ARMA pada residual model dengan menggunakan algoritma Hyndman dan Khandakar (2008).
6. Melakukan peramalan berdasarkan model TBATS yang telah diperoleh, yaitu dengan memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap, dan tanpa memasukkan hari raya idul fitri sebagai dummy.
7. Mendapatkan peramalan yang lebih baik dengan melakukan mensubstitusikan hasil prediksi regresi dummy pada hari-hari yang mengandung efek hari raya idul fitri ke dalam hasil peramalan model TBATS dengan hari raya idul fitri sebagai musiman tetap.
8. Membandingkan peramalan dengan data *out-sample* beban konsumsi listrik regional Jawa-Bali untuk satu tahun kedepan dari model yang telah diperoleh serta menghitung nilai RMSE dan MAPE hasil ramalan.
9. Membandingkan model yang telah terbentuk, yaitu berdasarkan nilai AIC untuk data *in-sample* dan RMSE dan MAPE untuk data *out-sample*.

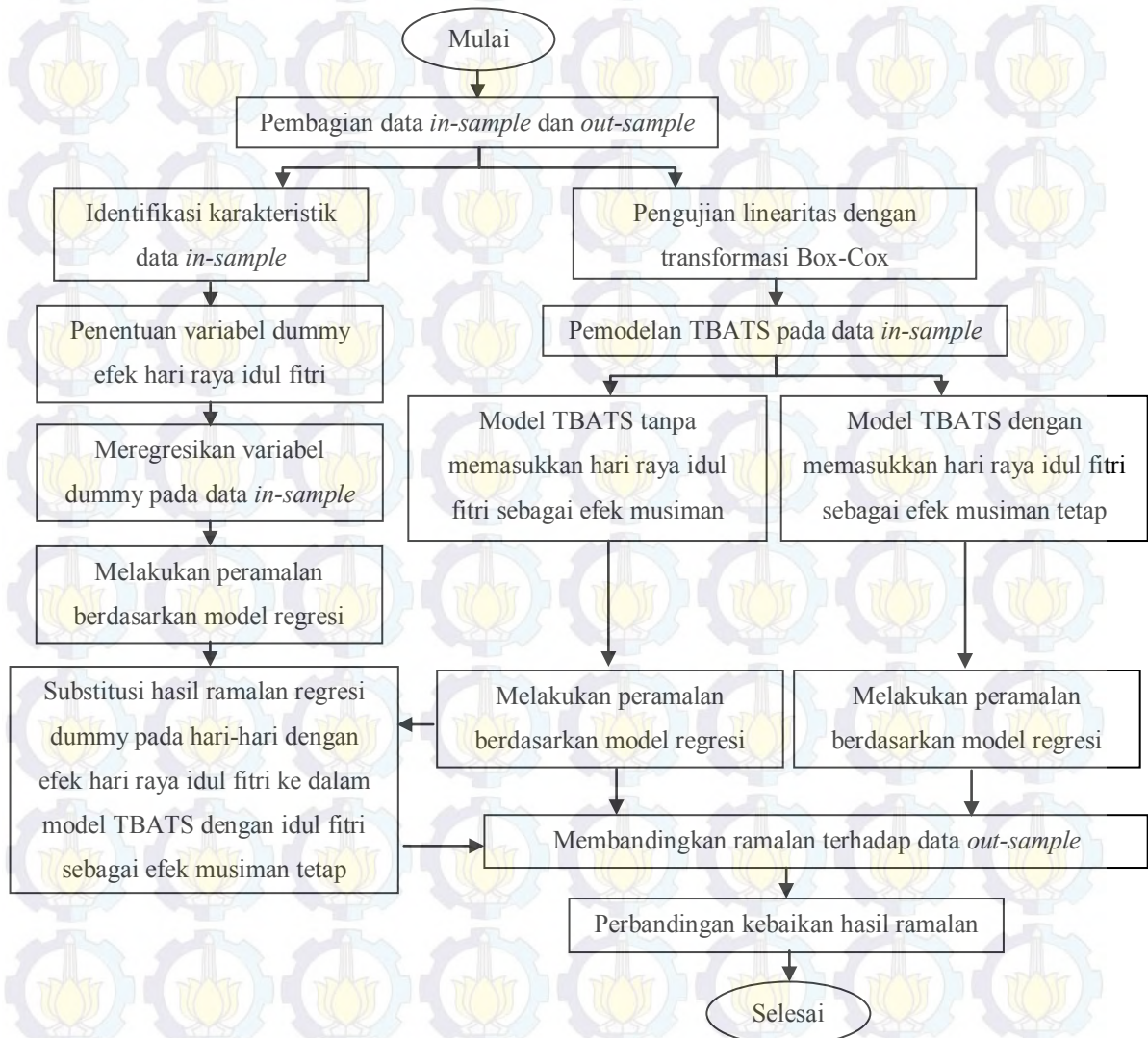
Tabel 3.2 Substitusi Ramalan Regresi Dummy Dalam Ramalan Model TBATS

Hasil Ramalan Model TBATS			Hasil Ramalan Regresi Dummy		
Tanggal	Jam	\hat{y}	Tanggal	Jam	\hat{y}
1 Januari 2010	00.30	\hat{y}_1	$H-r_a$	00.30	
1 Januari 2010	01.00	\hat{y}_2	$H-r_a$	01.00	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 Januari 2010	24.00	\hat{y}_{48}	$H-r_a$	24.00	
⋮	⋮	⋮	$H-r_a+1$	00.30	
$H-r_a$	00.30		$H-r_a+1$	01.00	
$H-r_a$	01.00		⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	$H-r_a+1$	24.00	
$H-r_a+1$	00.30		⋮	⋮	⋮
$H-r_a+1$	01.00		$H-r_a+1$	01.00	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$H-r_a+1$	24.00		$H-r_a+1$	24.00	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H1	00.30	\hat{y}_{12097}	H1	00.30	\hat{y}_{12097}
(10 September 2010)			(10 September 2010)		
H1	01.00	\hat{y}_{12098}	H1	01.00	\hat{y}_{12098}
(10 September 2010)			(10 September 2010)		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H1	24.00	\hat{y}_{12144}	H1	24.00	\hat{y}_{12144}
(10 September 2010)			(10 September 2010)		
H2	00.30	\hat{y}_{12145}	H2	00.30	\hat{y}_{12145}
(11 September 2010)			(11 September 2010)		
H2	01.00	\hat{y}_{12146}	H2	01.00	\hat{y}_{12146}
(11 September 2010)			(11 September 2010)		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H2	24.00	\hat{y}_{12192}	H2	24.00	\hat{y}_{12192}
(11 September 2010)			(11 September 2010)		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$H+r_a-1$	00.30	\hat{y}_{12241}	$H+r_a-1$	00.30	\hat{y}_{12241}
$H+r_a-1$	01.00	\hat{y}_{12242}	$H+r_a-1$	01.00	\hat{y}_{12242}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$H+r_a-1$	24.00	\hat{y}_{12288}	$H+r_a-1$	24.00	\hat{y}_{12288}
$H+r_a$	00.30	\hat{y}_{12289}	$H+r_a$	00.30	\hat{y}_{12289}
$H+r_a$	01.00	\hat{y}_{12290}	$H+r_a$	01.00	\hat{y}_{12290}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$H+r_a$	24.00	\hat{y}_{12432}	$H+r_a$	24.00	\hat{y}_{12432}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31 Desember 2010	24.00	\hat{y}_{17520}			

dikeluarkan

disubstitusikan

Berdasarkan tahapan-tahapan tersebut, diagram alir analisis dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



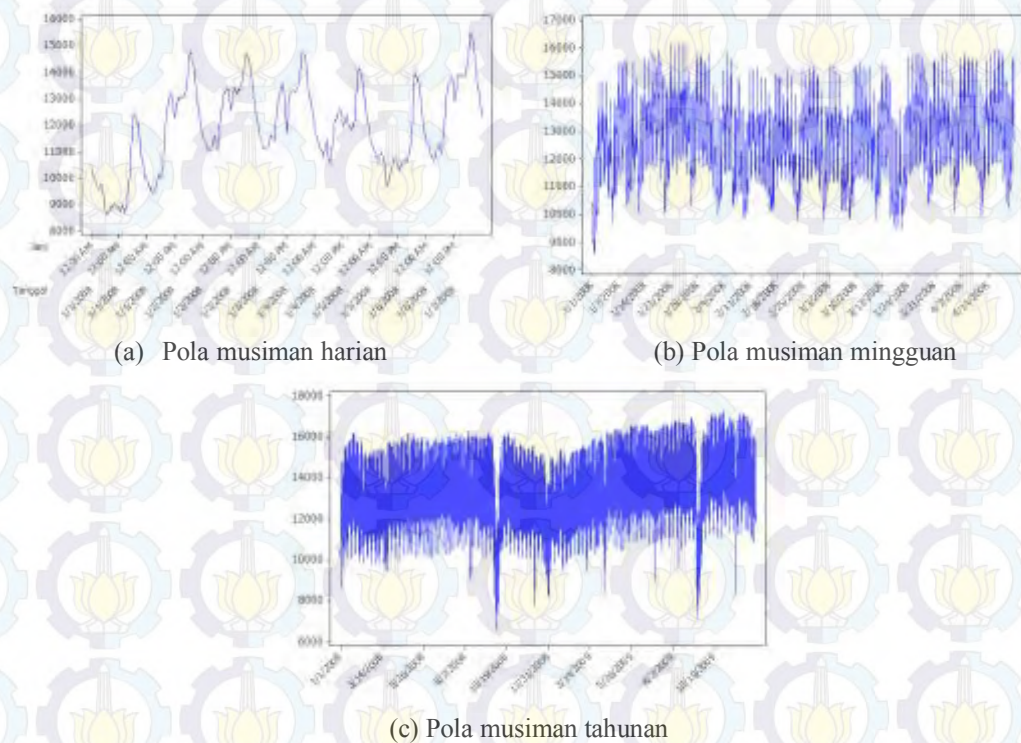
Gambar 3.2 Diagram Alir Langkah Analisis

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan pembahasan penelitian yang meliputi deskripsi karakteristik data beban konsumsi listrik regional Jawa-Bali, pemodelan dengan metode TBATS yang mencakup dua prosedur yaitu dengan memasukkan hari raya idul fitri sebagai pola musiman tetap dan tanpa memasukkan hari raya idul fitri sebagai pola musiman tetap, serta melakukan peramalan jangka panjang menggunakan kedua model dan menambahkan juga substitusi peramalan regresi dummy untuk hari-hari di sekitar hari raya idul fitri ke dalam hasil peramalan model TBATS.

4.1 Karakteristik Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa-Bali 2008-2009

Beban sistem listrik merupakan besarnya pemakaian tenaga listrik atau konsumsi listrik oleh pelanggan yang dipengaruhi oleh kebutuhan masing-masing pelanggan. Karakteristik beban sistem listrik regional Jawa-Bali tahun 2008-2009 yang diukur per setengah jam secara deskriptif ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pola Musiman pada Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa-Bali

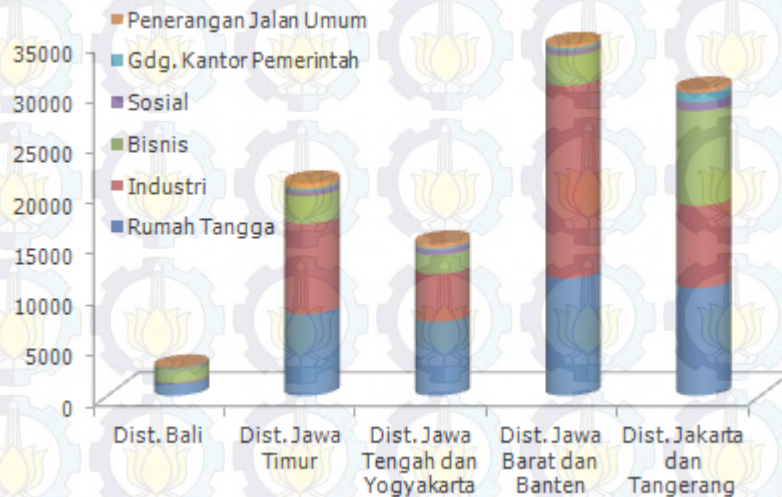
Gambar 4.1(a) menunjukkan besarnya konsumsi listrik regional Jawa-Bali dari tanggal 1 sampai 7 Januari 2008. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa setiap harinya besarnya konsumsi listrik memiliki pola yang sama yaitu konsumsi rendah pada malam hingga dini hari dan kemudian terjadi peningkatan pada pagi hingga malam hari. Sementara itu, Gambar 4.1(b) menggambarkan konsumsi listrik selama 1 Januari hingga 31 April 2008 yang memperlihatkan pola mingguan dimana pada hari sabtu dan minggu konsumsi listrik lebih rendah dibandingkan saat hari aktif. Selanjutnya, pada Gambar 4.1(c) menjelaskan pola musiman lain yaitu pola musiman tahunan yang lebih tepatnya adalah tahun hijriah. Pola tahunan ini disebabkan karena adanya efek hari raya idul fitri yang menyebabkan perbedaan penggunaan listrik yang jauh lebih rendah dari hari biasanya setiap tahunnya.



Gambar 4.2 Jumlah Pelanggan Per Jenis Pelanggan Tahun 2009

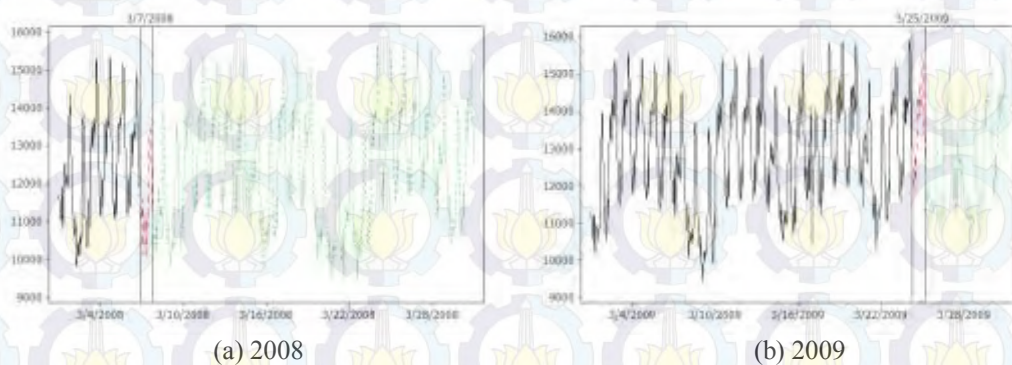
Gambar 4.2 menunjukkan jumlah pelanggan untuk setiap kelompok pelanggan sistem listrik di regional Jawa dan Bali. Pada gambar dapat dilihat bahwa jumlah pelanggan terbanyak berada di Dist. Jawa Barat dan Banten, disusul kemudian Dist. Jawa Tengah dan Yogyakarta, Dist. Jawa Timur, dan Dist. Jakarta dan Tangerang. Sementara, Dist. Bali memiliki jumlah pelanggan yang paling kecil sekitar 2,77% dari total jumlah pelanggan regional Jawa-Bali. Pada masing-masing daerah tersebut, jumlah pelanggan terbesar didominasi dari kelompok rumah tangga. Walaupun kelompok rumah tangga merupakan pelanggan yang terbanyak, namun energi yang terjual dari sektor rumah tangga

masih lebih kecil jika dibandingkan dengan kelompok pelanggan industri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Energi Terjual Per Kelompok Pelanggan Tahun 2009

Selain fenomena hari raya idul fitri, terdapat pula fenomena hari raya nyepi yang dirayakan di wilayah Dist. Bali, dimana pada hari tersebut sama sekali tidak terdapat aktivitas yang menggunakan listrik. Sehingga diduga pada hari raya nyepi tersebut terjadi penurunan pada besarnya beban sistem listrik di regional Jawa-Bali. Walaupun begitu, pada hari raya nyepi tidak membuat level beban sistem listrik jauh lebih rendah daripada hari-hari biasa. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.3 bahwa hari raya nyepi tanggal 7 Maret 2008 pada hari jumat dan 26 Maret 2009 pada hari kamis tidak terjadi penurunan beban sistem listrik yang signifikan dan relatif sama dengan besarnya beban sistem listrik pada hari-hari biasa.



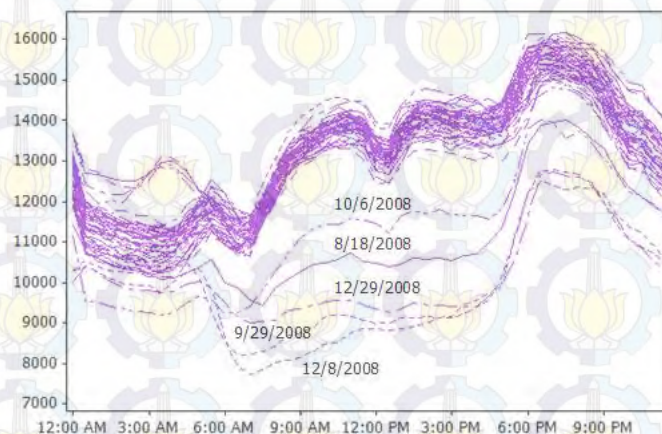
Gambar 4.4 Time Series Plot Beban Sistem Listrik Pada Bulan Terjadinya Hari Raya Nyepi

Pada tahap pemodelan, dilakukan juga prosedur dimana efek hari raya idul fitri diperlakukan sebagai dummy. Dummy yang digunakan meliputi r_a hari sebelum hari raya idul fitri, hari raya idul fitri, dan r_b hari sesudah hari raya idul fitri. Penentuan dummy tersebut dilihat dari diagram garis beban sistem listrik yang memiliki penurunan signifikan dari hari biasa untuk tahun pertama dan kedua pada data *in-sample*.

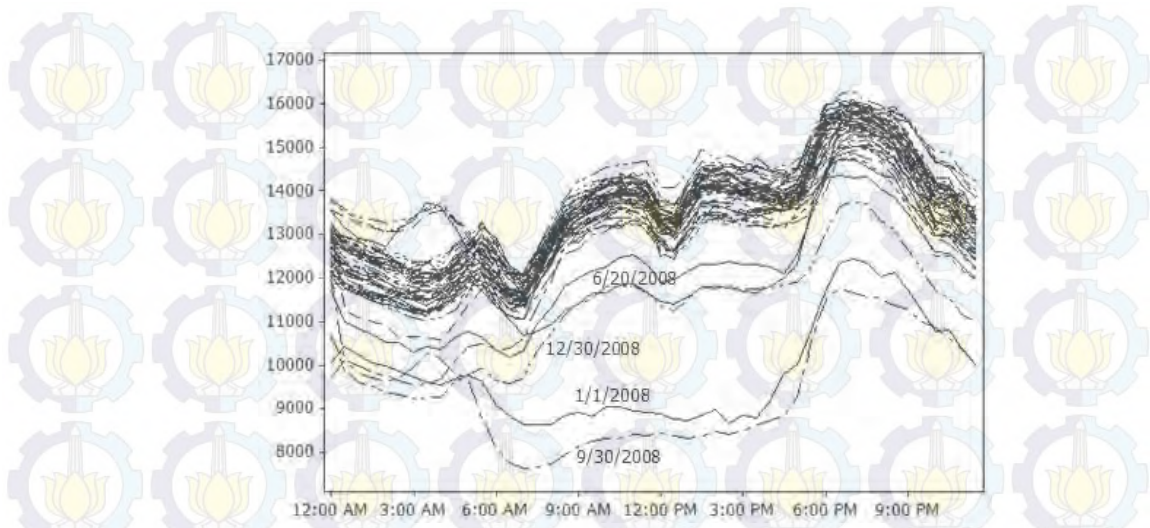
Tabel 4.1 Indikasi Hari yang Digunakan sebagai Dummy Hari Raya Idul Fitri 2008

Tanggal		Tanggal	
27 September 2008	H-4	2 Oktober 2008	Hari Raya Idul Fitri
28 September 2008	H-3	3 Oktober 2008	H+1
29 September 2008	H-2	4 Oktober 2008	H+2
30 September 2008	H-1	5 Oktober 2008	H+3
1 Oktober 2008	Hari Raya Idul Fitri	6 Oktober 2008	H+4

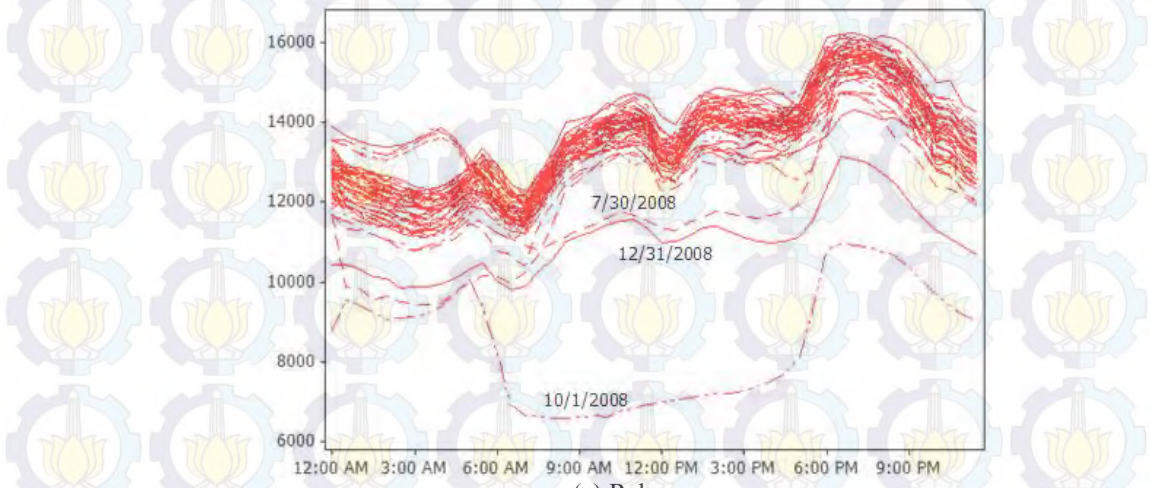
Gambar 4.5 memperlihatkan diagram garis untuk membandingkan perbedaan dari besarnya konsumsi listrik regional Jawa-Bali pada hari-hari biasa dengan hari-hari di sekitar hari raya idul fitri pada tahun 2008. Pada gambar dapat dilihat bahwa terdapat beberapa hari sebelum dan sesudah hari raya idul fitri pada tahun 2008 yang memiliki beban konsumsi listrik jauh lebih rendah dari hari-hari biasa. Penurunan beban konsumsi listrik tersebut dimulai dari 4 hari sebelum hari raya idul fitri hingga 4 hari setelah hari raya idul fitri yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.



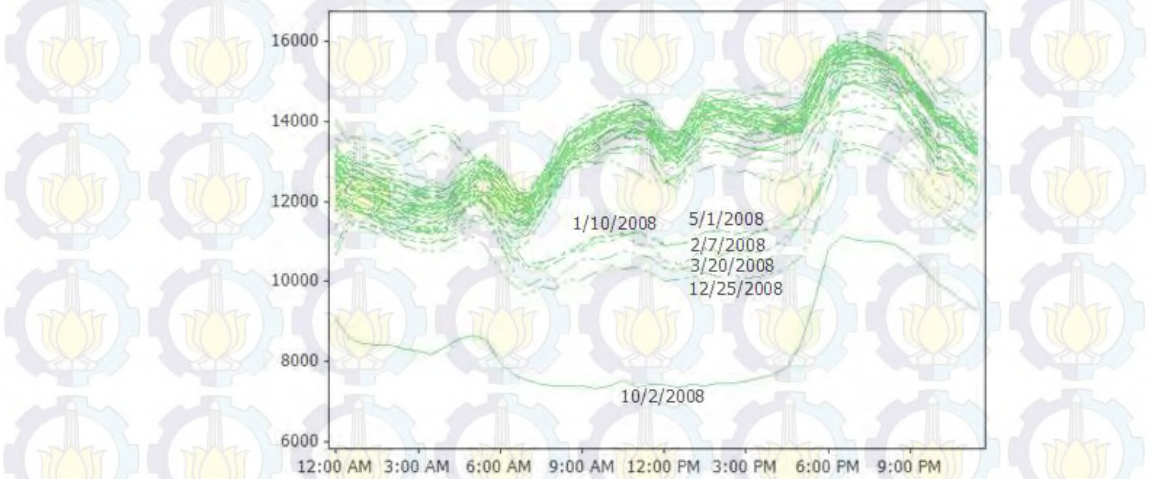
(a) Senin



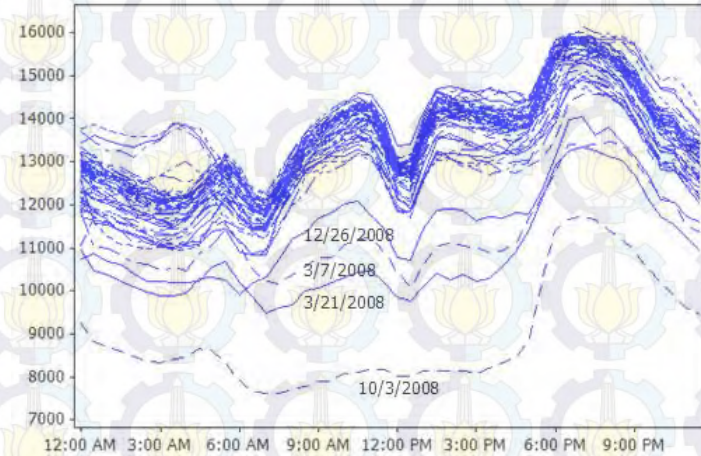
(b) Selasa



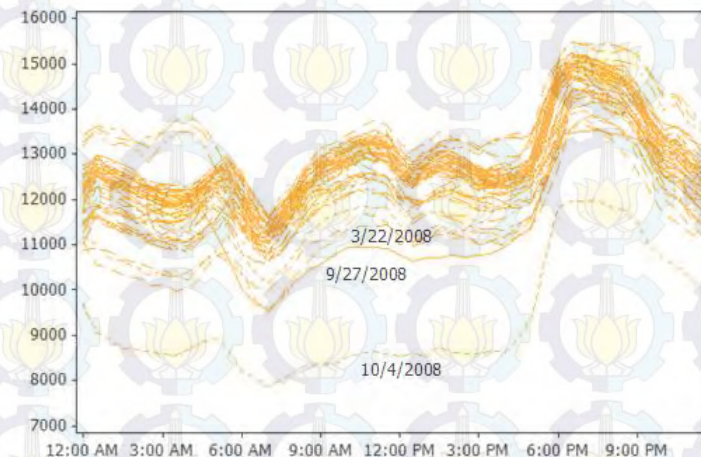
(c) Rabu



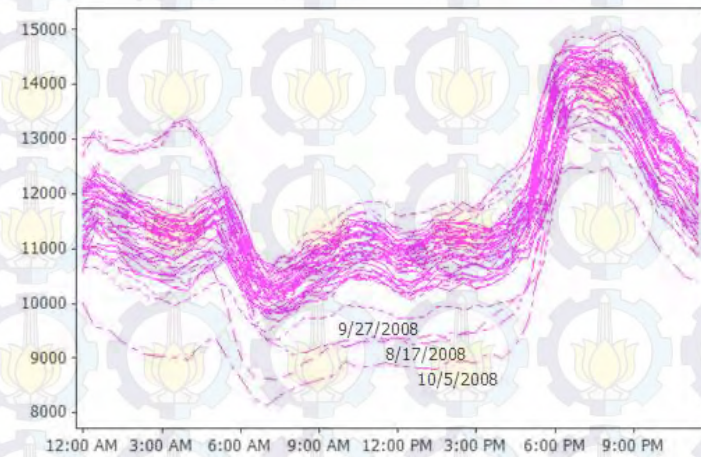
(d) Kamis



(e) Jumat



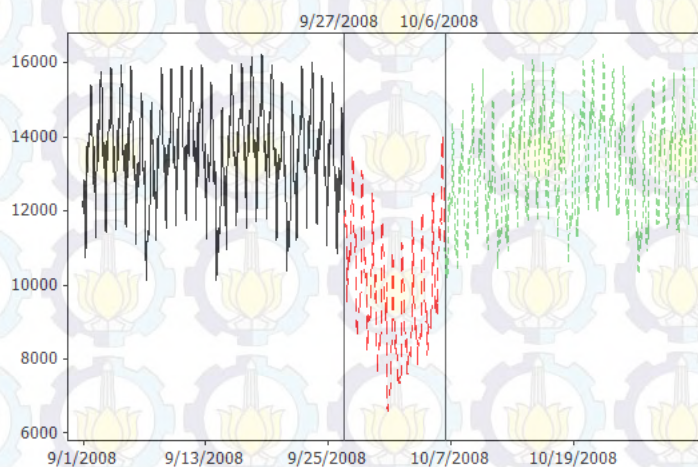
(f) Sabtu



(g) Minggu

Gambar 4.5 Beban Sistem Listrik Tahun 2008

Berdasarkan Gambar 4.5 pada tahun 2008 terdapat 10 hari yang memiliki efek penurunan beban konsumsi listrik seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Penurunan signifikan yang disebabkan efek hari raya idul fitri pada hari-hari tersebut terlihat jauh lebih rendah dibandingkan dengan hari-hari biasanya yang dimulai pada tanggal 27 September 2008 hingga 6 Oktober 2008. Penurunan beban sistem listrik ini lebih jelasnya dapat dilihat dalam *time series plot* pada Gambar 4.6. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa penurunan dimulai pada H-4 dan mencapai puncak penurunan beban sistem listrik pada hari pertama dan kedua hari raya idul fitri. Pada hari-hari berikutnya, beban sistem listrik berangsur-angsur kembali seperti pada hari-hari biasa.



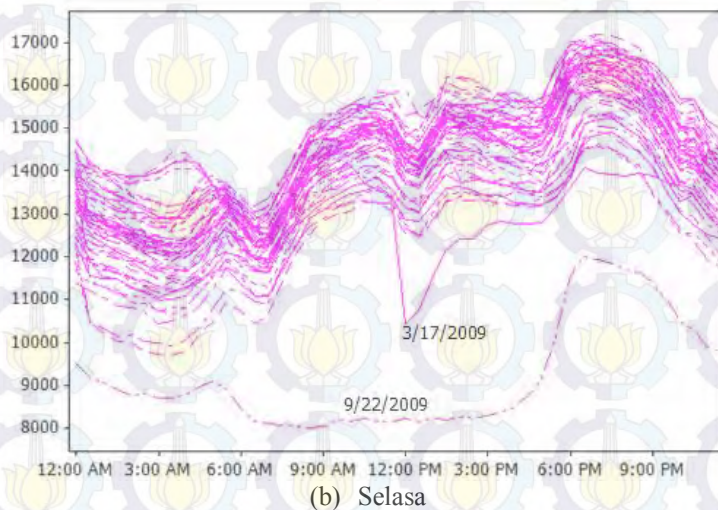
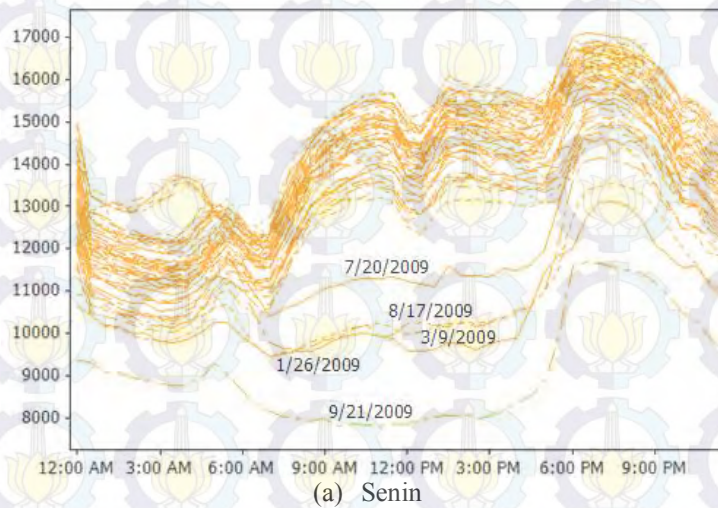
Gambar 4.6 Efek Hari Raya Idul Fitri Tahun 2008

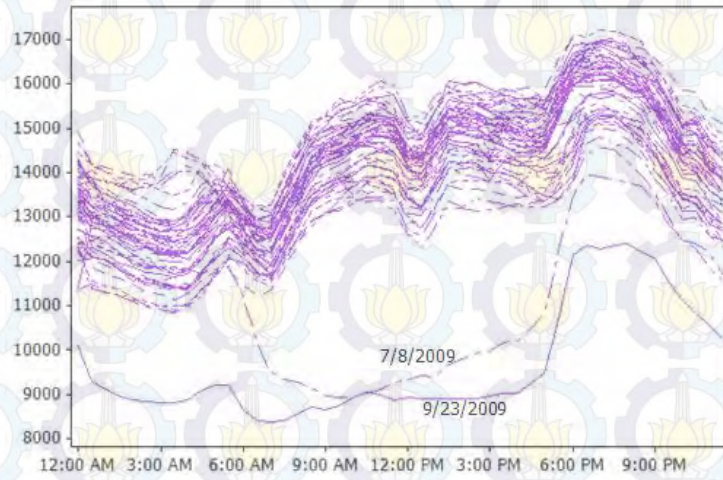
Pada tahun 2009 perbedaan dari besarnya konsumsi listrik regional Jawa-Bali pada hari-hari biasa dengan hari-hari di sekitar hari raya idul fitri ditunjukkan pada Gambar 4.7. Gambar tersebut memperlihatkan penurunan beban sistem listrik dimulai sejak 3 hari sebelum hari raya idul fitri hingga 4 hari sesudah hari raya idul fitri. Tanggal-tanggal terjadinya penurunan akibat efek hari raya idul fitri 2009 ditunjukkan pada Tabel 4.2. Berbeda dengan efek hari raya idul fitri tahun 2008 yang dimulai sejak 4 hari sebelum hari raya, pada tahun 2009 dimulai sejak 3 hari sebelum hari raya yang lebih kecil dari tahun 2008. Sehingga terdapat selisih 1 hari antara efek hari raya idul fitri pada tahun 2008 dengan tahun 2009 berdasarkan dari diagram garis besarnya konsumsi listrik pada masing-masing tahun tersebut.

Tabel 4.2 Indikasi Hari yang Digunakan sebagai Dummy Hari Raya Idul Fitri 2009

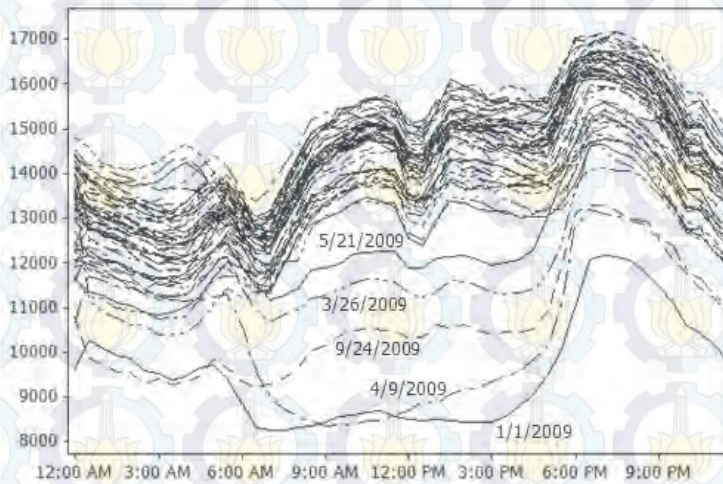
Tanggal		Tanggal	
18 September 2009	H-3	23 September 2009	H+1
19 September 2009	H-2	24 September 2009	H+2
20 September 2009	H-1	25 September 2009	H+3
21 September 2009	Hari Raya Idul Fitri	26 September 2009	H+4
22 September 2009	Hari Raya Idul Fitri		

Gambar 4.6 berikut menunjukkan penurunan beban konsumsi listrik karena hari raya idul fitri tahun 2009 dibandingkan dengan pada hari-hari biasa.

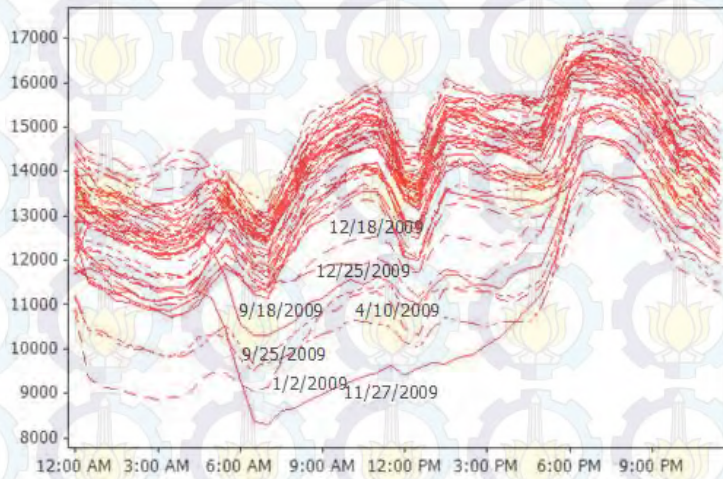




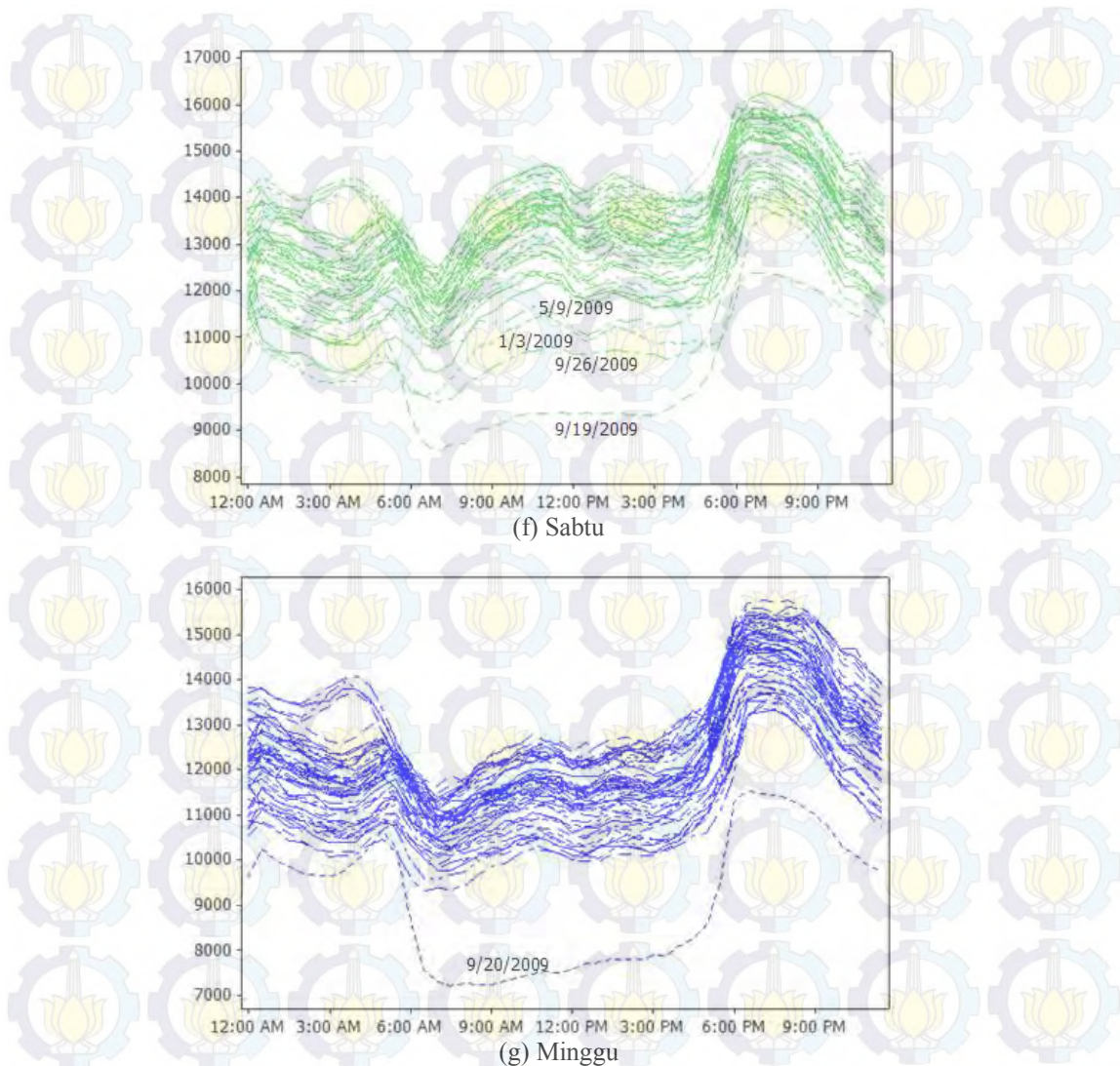
(d) Rabu



(d) Kamis

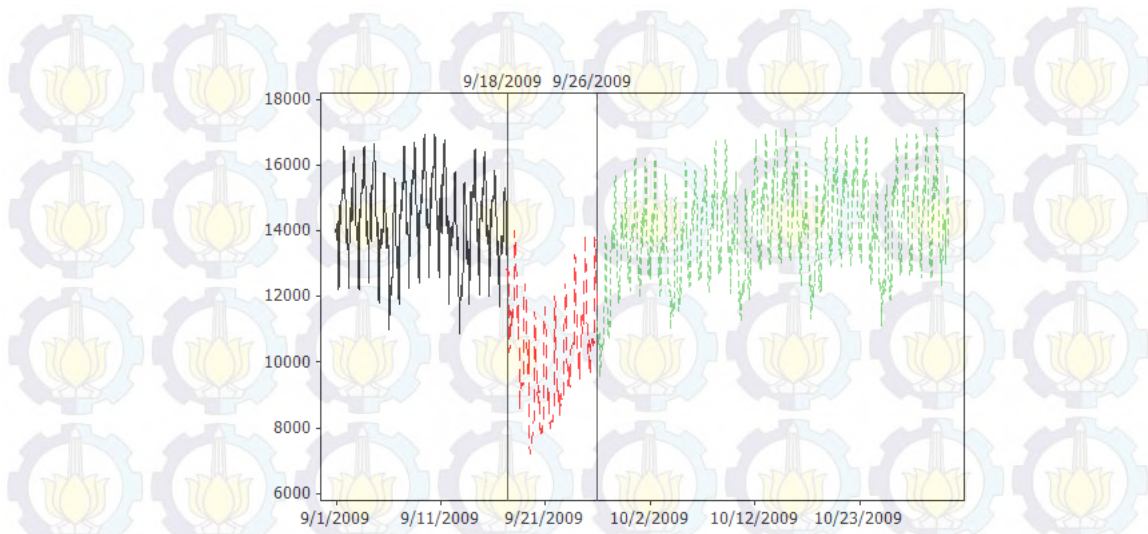


(e) Jumat



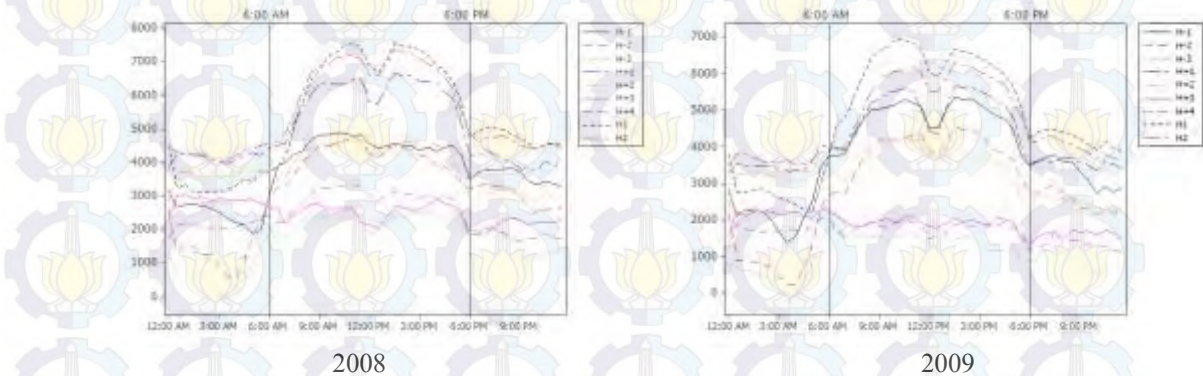
Gambar 4.7 Beban Sistem Listrik Tahun 2009

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Tabel 4.2 penurunan beban konsumsi listrik karena hari raya idul fitri tahun 2009 terjadi selama 9 hari yang dimulai dari tanggal 18 September 2009 hingga 26 September 2009. Jumlah hari yang mengalami penurunan beban sistem listrik karena efek hari raya idul fitri pada tahun 2009 ini lebih kecil daripada tahun 2008. Seperti halnya pada tahun 2008, penurunan beban sistem listrik semakin besar dan mencapai puncak pada hari pertama dan kedua hari raya idul fitri, yang kemudian berangsur-angsur kembali seperti hari biasanya seperti yang ditunjukkan dalam *time series plot* pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Efek Hari Raya Idul Fitri Tahun 2009

Berdasarkan penurunan beban konsumsi listrik regional Jawa-Bali pada hari-hari di sekitar hari raya idul fitri tahun 2008 dan 2009, dummy yang digunakan adalah jumlah hari minimum terjadinya penurunan beban konsumsi listrik pada kedua tahun tersebut. Sehingga dummy yang digunakan sejumlah 9 hari dimulai dari 3 hari sebelum hari raya idul fitri, 2 hari terjadinya hari raya idul fitri, dan 4 hari sesudah hari raya idul fitri. Selisih beban konsumsi listrik dari 9 hari tersebut terhadap rata-rata beban konsumsi listrik regional Jawa-Bali pada masing-masing tahun 2008 dan 2009 ditunjukkan pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Selisih Beban Sistem Listrik pada Hari Raya Idul Fitri terhadap Rata-rata Beban Sistem Listrik Tahun 2008-2009

Gambar 4.9 menunjukkan selisih beban konsumsi listrik tahun 2008-2009 karena efek hari raya idul fitri terhadap rata-rata beban konsumsi listrik setiap tahunnya per setengah jam. Berdasarkan gambar 4.9, dapat dilihat bahwa pada tahun 2008 dan 2009 selisih untuk 48 periode per setengah jam pada 9 hari raya tersebut menunjukkan pola yang sama. Terdapat 3 pola yang terbentuk dari selisih tersebut. Pola pertama yaitu pada pukul 00.30 hingga 06.00 dengan selisih beban konsumsi listrik rendah dikarenakan pada selang jam tersebut pada hari biasa penggunaan listrik juga relatif rendah sehingga penurunan penggunaan listrik tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan rata-rata per tahun. Berbeda dengan pola pertama, pada pola kedua yaitu pukul 06.30 hingga 17.30 terjadi peningkatan selisih beban konsumsi listrik dikarenakan pada selang jam ini penggunaan listrik relatif besar pada hari-hari biasa dan mengalami penurunan yang signifikan pada hari-hari di sekitar hari raya idul fitri sehingga menghasilkan selisih yang besar. Sedangkan pada pukul 18.00 hingga 24.00 terjadi penurunan selisih beban konsumsi listrik yang hampir serupa dengan pola pertama.

4.2 Regresi Dummy Beban Sistem Listrik Regional Jawa-Bali

Pada pemodelan regresi dummy terdapat empat variabel yang digunakan sebagai prediktor dari beban sistem listrik. Variabel pertama ditujukan untuk menangkap adanya trend yang terjadi pada besarnya beban sistem listrik Jawa-Bali. Variabel ini berupa runtun waktu dari data beban sistem listrik yang dimulai dari $1, 2, \dots, n$ dimana n adalah jumlah dari data *in-sample* beban sistem listrik. Ketiga variabel berikutnya berkaitan dengan pola musiman yang diduga terdapat pada data beban sistem listrik Jawa-Bali yaitu harian, mingguan dan tahun hijriyah dimana ketiga variabel ini berupa variabel dummy. Variabel musiman harian memiliki 48 kategori per setengah jam sehingga terdapat 47 dummy pada variabel ini yaitu dari D_{j1} (periode jam 01.00), D_{j2} (periode jam 01.30), hingga D_{j47} (periode jam 24.00), sedangkan periode jam 00.30 digunakan sebagai pembanding. Pada variabel musiman harian terdapat 6 dummy hari yang digunakan yaitu D_{h1} (hari Senin), D_{h2} (hari Selasa), D_{h3} (hari Rabu), D_{h4} (hari Kamis), D_{h5} (hari Jumat) dan D_{h6} (hari Sabtu), sedangkan hari minggu

digunakan sebagai hari pembanding. Sementara itu, variabel musiman tahun hijriah digunakan untuk menangkap penurunan besarnya beban sistem listrik pada sekitar hari raya idul fitri. Pada variabel musiman tahun hijriah ini meliputi 9 hari yang dimulai dari H-3 sebelum hari raya idul fitri hingga H+4 sesudah hari raya idul fitri. Besarnya penurunan untuk hari-hari sekitar hari raya idul fitri ini diduga berbeda pada setiap periode per setengah jamnya, sehingga jumlah dummy untuk variabel musiman tahun hijriah ini adalah 432 dummy yang dimulai dari $D_{a,j1}$ (H-3 sebelum hari raya idul fitri pada jam 00.30), $D_{a,j2}$ (H-3 sebelum hari raya idul fitri pada jam 01.00) hingga $D_{i,j48}$ (H+4 sebelum hari raya idul fitri pada jam 24.00). Dummy untuk variabel musiman tahun hijriah tersebut digunakan dengan asumsi bahwa pada ke-9 hari yang digunakan besar penurunan sama setiap tahun tanpa memperhatikan apakah ke-9 hari tersebut terjadi pada hari aktif, akhir pekan, atau berdekatan dengan hari libur lainnya. Berdasarkan empat prediktor tersebut, total variabel yang digunakan adalah 487 dimana 486 berupa dummy. Struktur data regresi dummy ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Struktur Data Variabel Regresi Dummy Hari Raya Idul Fitri

Hari	Jam	Tanggal	t	y_t	D_{j1}	...	D_{j47}	D_{h1}	...	D_{h6}	D_{aj1}	...	D_{i48}
Selasa	00.30	1/1/2008	1	10441	0	...	0	0	...	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Selasa	24.00	1/1/2008	48	11068	0	...	1	0	...	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Minggu	00.30	28/9/2008	13009	11088	0	...	0	0	...	0	1	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Minggu	24.00	28/9/2008	13057	10085	0	...	1	0	...	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Senin	00.30	6/10/2008	13393	9538	0	...	0	1	...	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Senin	24.00	6/10/2008	13440	11149	0	...	1	1	...	0	0	...	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Kamis	24.00	31/12/2009	35088	11979	0	...	1	0	...	0	0	...	0

Model yang diperoleh dari regresi dummy beban sistem listrik dengan variabel prediktor trend, dummy variabel musiman harian, dummy variabel musiman mingguan, dan dummy variabel musiman tahun hijriyah adalah sebagai berikut.

$$I_t = \delta + \alpha_0 + \alpha_1 D_{j1,t} + \alpha_2 D_{j2,t} + \dots + \alpha_{47} D_{j47,t} + \beta_1 D_{h1,t} + \beta_2 D_{h2,t} + \dots + \beta_6 D_{h6,t} + \gamma_1 D_{a,t} + \gamma_2 D_{b,t} + \dots + \gamma_9 D_{i,t}$$

Tabel 4.4 Level Beban Sistem Listrik Berdasarkan Hasil Regresi Dummy untuk Hari Biasa

<i>i</i>	Jam	Minggu	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu
0	00.30	10430,00	11775,00	12132,00	12188,00	12079,00	12033,00	11386,20
1	01.00	10277,00	11622,00	11979,00	12035,00	11926,00	11880,00	11233,20
2	01.30	10148,00	11493,00	11850,00	11906,00	11797,00	11751,00	11104,20
3	02.00	10014,00	11359,00	11716,00	11772,00	11663,00	11617,00	10970,20
4	02.30	9913,20	11258,20	11615,20	11671,20	11562,20	11516,20	10869,40
5	03.00	9825,70	11170,70	11527,70	11583,70	11474,70	11428,70	10781,90
6	03.30	9813,90	11158,90	11515,90	11571,90	11462,90	11416,90	10770,10
7	04.00	9860,70	11205,70	11562,70	11618,70	11509,70	11463,70	10816,90
8	04.30	10080,30	11425,30	11782,30	11838,30	11729,30	11683,30	11036,50
9	05.00	10312,10	11657,10	12014,10	12070,10	11961,10	11915,10	11268,30
10	05.30	10412,18	11757,18	12114,18	12170,18	12061,18	12015,18	11368,38
11	06.00	10007,80	11352,80	11709,80	11765,80	11656,80	11610,80	10964,00
12	06.30	9628,00	10973,00	11330,00	11386,00	11277,00	11231,00	10584,20
13	07.00	9529,60	10874,60	11231,60	11287,60	11178,60	11132,60	10485,80
14	07.30	9978,00	11323,00	11680,00	11736,00	11627,00	11581,00	10934,20
15	08.00	10418,34	11763,34	12120,34	12176,34	12067,34	12021,34	11374,54
16	08.30	10890,50	12235,50	12592,50	12648,50	12539,50	12493,50	11846,70
17	09.00	11121,90	12466,90	12823,90	12879,90	12770,90	12724,90	12078,10
18	09.30	11289,80	12634,80	12991,80	13047,80	12938,80	12892,80	12246,00
19	10.00	11461,00	12806,00	13163,00	13219,00	13110,00	13064,00	12417,20
20	10.30	11582,00	12927,00	13284,00	13340,00	13231,00	13185,00	12538,20
21	11.00	11601,00	12946,00	13303,00	13359,00	13250,00	13204,00	12557,20
22	11.30	11440,00	12785,00	13142,00	13198,00	13089,00	13043,00	12396,20
23	12.00	10955,10	12300,10	12657,10	12713,10	12604,10	12558,10	11911,30

<i>i</i>	Jam	Minggu	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu
24	12.30	10869,00	12214,00	12571,00	12627,00	12518,00	12472,00	11825,20
25	13.00	11276,80	12621,80	12978,80	13034,80	12925,80	12879,80	12233,00
26	13.30	11650,00	12995,00	13352,00	13408,00	13299,00	13253,00	12606,20
27	14.00	11633,00	12978,00	13335,00	13391,00	13282,00	13236,00	12589,20
28	14.30	11596,00	12941,00	13298,00	13354,00	13245,00	13199,00	12552,20
29	15.00	11493,00	12838,00	13195,00	13251,00	13142,00	13096,00	12449,20
30	15.30	11503,00	12848,00	13205,00	13261,00	13152,00	13106,00	12459,20
31	16.00	11467,00	12812,00	13169,00	13225,00	13116,00	13070,00	12423,20
32	16.30	11501,00	12846,00	13203,00	13259,00	13150,00	13104,00	12457,20
33	17.00	11633,00	12978,00	13335,00	13391,00	13282,00	13236,00	12589,20
34	17.30	12249,00	13594,00	13951,00	14007,00	13898,00	13852,00	13205,20
35	18.00	13005,00	14350,00	14707,00	14763,00	14654,00	14608,00	13961,20
36	18.30	13372,00	14717,00	15074,00	15130,00	15021,00	14975,00	14328,20
37	19.00	13413,00	14758,00	15115,00	15171,00	15062,00	15016,00	14369,20
38	19.30	13347,00	14692,00	15049,00	15105,00	14996,00	14950,00	14303,20
39	20.00	13208,00	14553,00	14910,00	14966,00	14857,00	14811,00	14164,20
40	20.30	13034,00	14379,00	14736,00	14792,00	14683,00	14637,00	13990,20
41	21.00	12666,00	14011,00	14368,00	14424,00	14315,00	14269,00	13622,20
42	21.30	12186,00	13531,00	13888,00	13944,00	13835,00	13789,00	13142,20
43	22.00	11685,00	13030,00	13387,00	13443,00	13334,00	13288,00	12641,20
44	22.30	11611,00	12956,00	13313,00	13369,00	13260,00	13214,00	12567,20
45	23.00	11232,70	12577,70	12934,70	12990,70	12881,70	12835,70	12188,90
46	23.30	10960,30	12305,30	12662,30	12718,30	12609,30	12563,30	11916,50
47	24.00	10678,80	12023,80	12380,80	12436,80	12327,80	12281,80	11635,00

Tabel 4.4 menunjukkan besarnya beban sistem listrik dari hari Minggu hingga Sabtu pada hari biasa berdasarkan hasil regresi dummy tanpa memasukkan trend didalamnya. Sehingga model untuk memperoleh hasil pada Tabel 4.4 ditunjukkan sebagai berikut.

$$\text{Minggu} : \alpha_0 + \alpha_j$$

$$\text{Senin} : \alpha_0 + \alpha_j + \beta_1$$

$$\text{Selasa} : \alpha_0 + \alpha_j + \beta_2$$

$$\text{Rabu} : \alpha_0 + \alpha_j + \beta_3$$

$$\text{Kamis} : \alpha_0 + \alpha_j + \beta_4$$

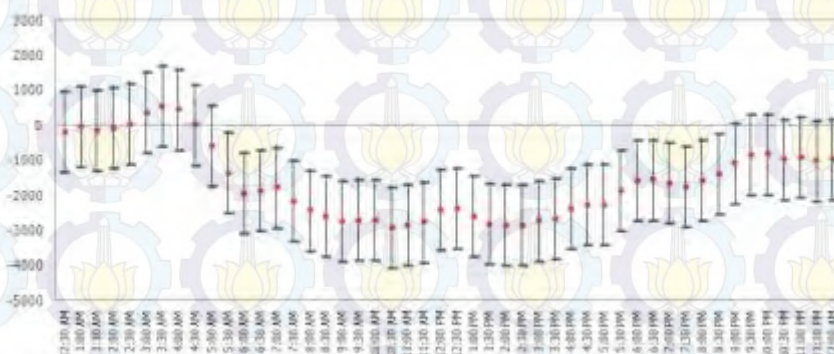
$$\text{Jumat} : \alpha_0 + \alpha_j + \beta_5$$

$$\text{Sabtu} : \alpha_0 + \alpha_j + \beta_6$$

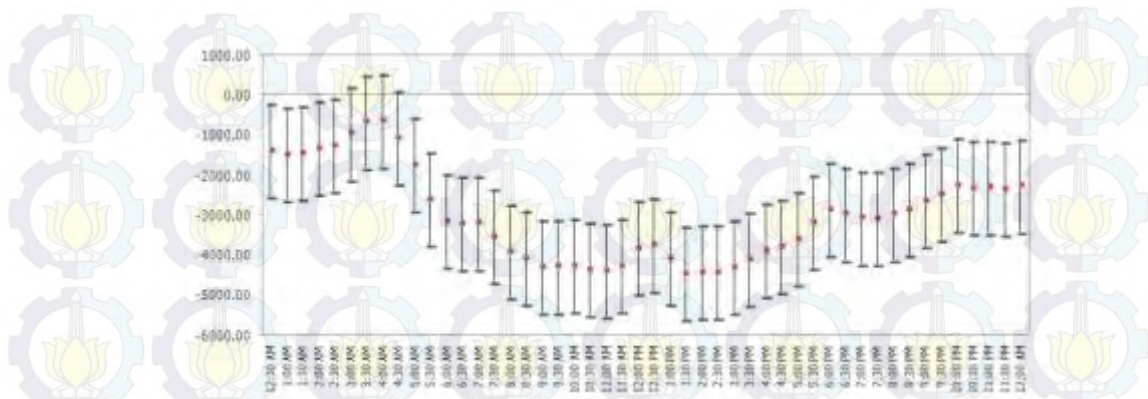
dimana $j = 1, 2, \dots, 47$ menunjukkan periode jam

Hasil prediksi yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 memperlihatkan bahwa besarnya rata-rata beban sistem listrik pada hari Minggu pada jam 01.00 hingga jam 08.00 lebih rendah dari rata-rata beban sistem listrik pada jam 00.30. Selanjutnya besarnya rata-rata beban sistem listrik terus bertambah dari jam 08.30 hingga jam 21.00, namun diantara jam-jam tersebut terdapat penurunan pada jam 11.30 hingga 12.30. Pada periode jam 21.30 hingga 24.00 besarnya beban sistem listrik kembali menurun. Pola yang sama ditunjukkan setiap jamnya pada hari Senin sampai dengan Sabtu. Walaupun setiap harinya menunjukkan pola yang sama untuk setiap periode per setengah jam, tetapi pada hari aktif yaitu Senin hingga Jumat besarnya rata-rata beban sistem listrik lebih besar jika dibandingkan dengan akhir pekan pada hari Sabtu dan Minggu dimana selisih untuk hari aktif dan akhir pekan sekitar 1000-2000MW.

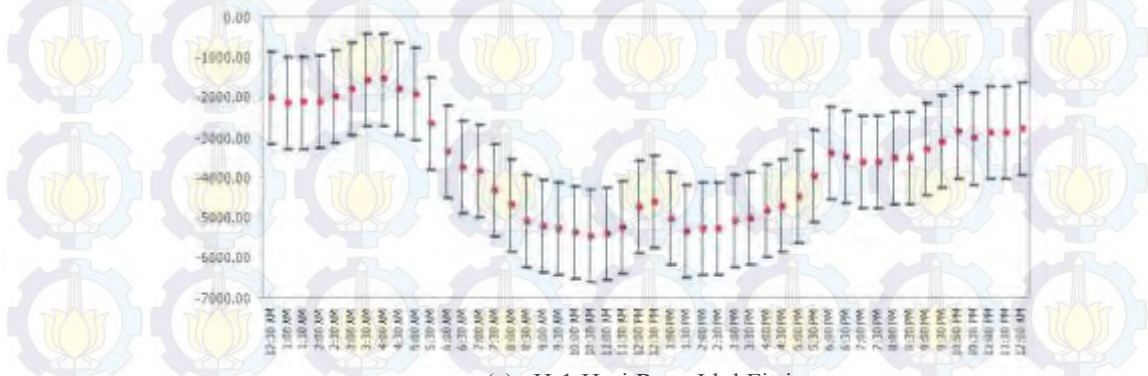
Koefisien regresi dummy untuk H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri menunjukkan besarnya penurunan beban sistem listrik dari hari-hari biasa pada setiap periode per setengah jamnya. Besarnya koefisien regresi dummy H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri beserta interval kepercayaannya ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut.



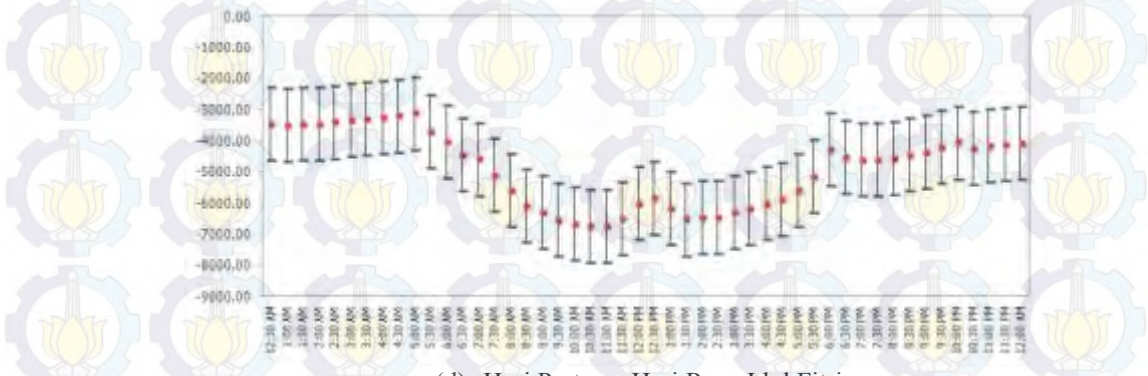
(a) H-3 Hari Raya Idul Fitri



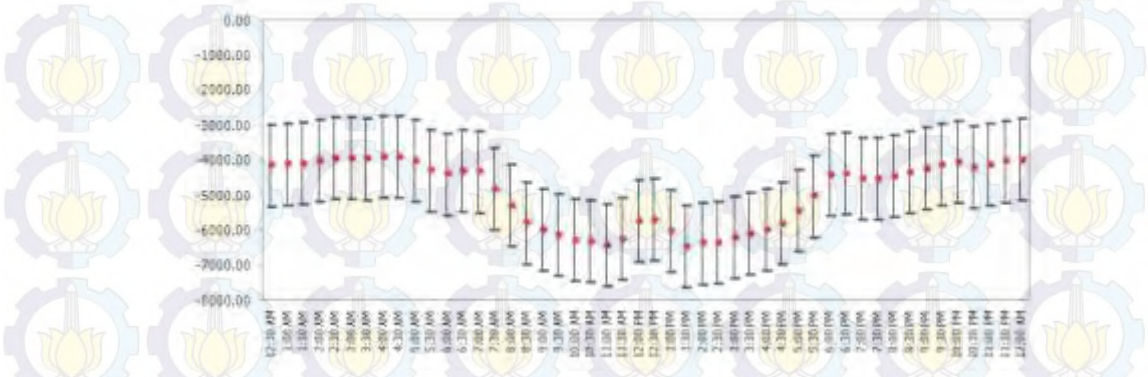
(b) H-2 Hari Raya Idul Fitri



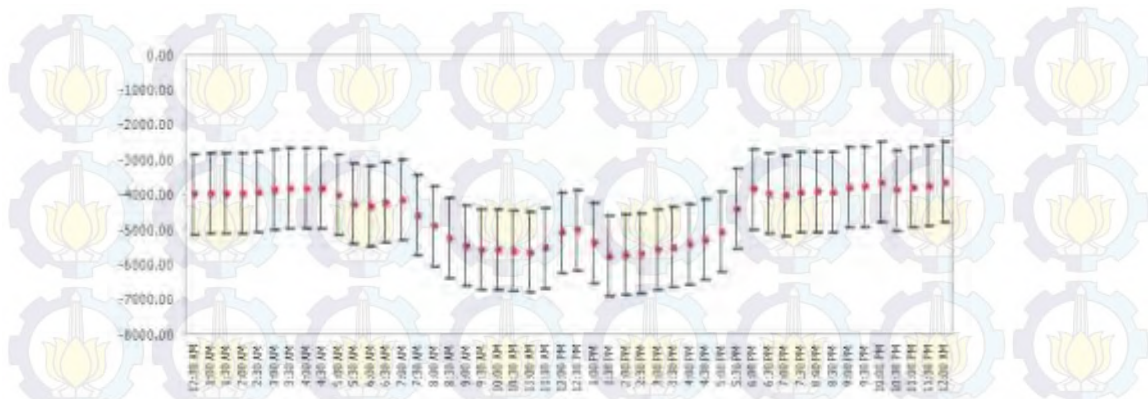
(c) H-1 Hari Raya Idul Fitri



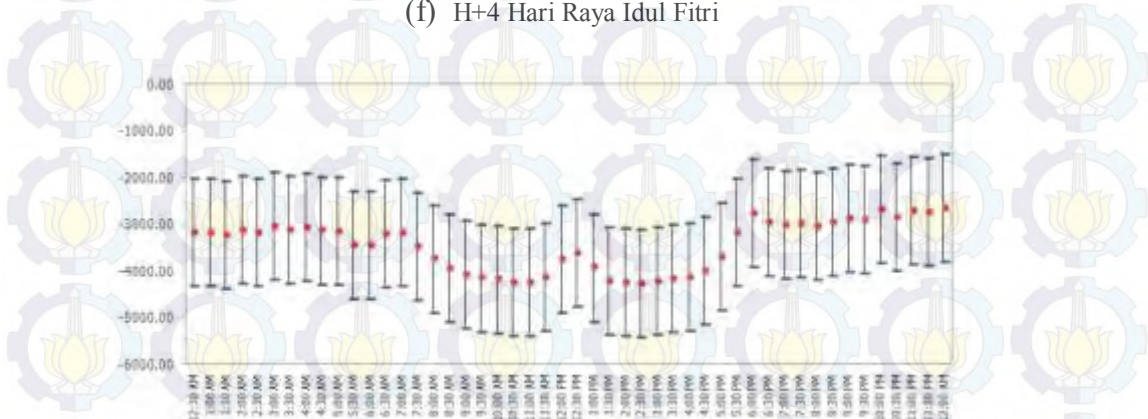
(d) Hari Pertama Hari Raya Idul Fitri



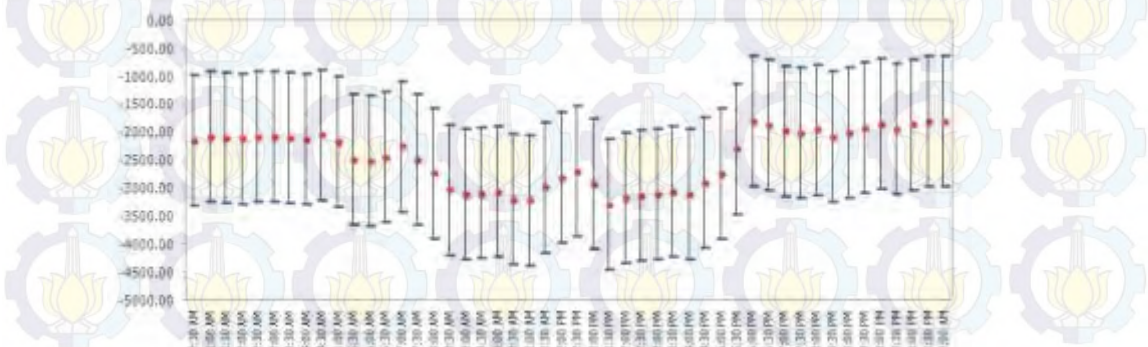
(e) Hari Kedua Hari Raya Idul Fitri



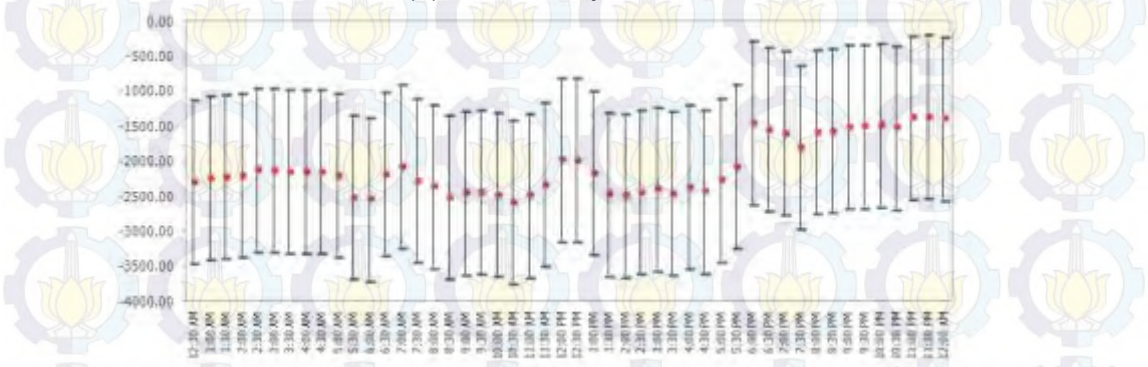
(f) H+4 Hari Raya Idul Fitri



(g) H+2 Hari Raya Idul Fitri



(h) H+3 Hari Raya Idul Fitri



(i) H+4 Hari Raya Idul Fitri

Gambar 4.10 Koefisien Regresi Dummy H-3 hingga H+4 Hari Raya Idul Fitri

Koefisien regresi dummy yang ditunjukkan Gambar 4.10 memperlihatkan bahwa secara umum terjadi penurunan level pada H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri dibandingkan dengan beban sistem listrik pada hari biasa untuk setiap periode per setengah jamnya. Pada H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri besarnya penurunan beban sistem listrik pada jam 00.30-05.30 relatif kecil. Namun terdapat perbedaan untuk H-3 hingga H-1 dimana penurunan pada jam-jam tersebut akan sangat kecil ketika jam 03.00-04.30 karena selang jam 03.00-04.30 pada H-3 hingga H-1 hari raya idul fitri masih terdapat aktifitas sahur untuk umat muslim yang menggunakan energi listrik sehingga penurunan beban sistem listrik pada selang waktu tersebut juga sangat kecil. Berdasarkan gambar tersebut juga dapat penurunan level semakin bertambah antara periode jam 06.00 hingga jam 18.00 dan selanjutnya level penurunan antara periode jam 18.00 hingga jam 24.00 kembali rendah seperti pada periode jam 00.30 hingga 06.00.

Jika dibandingkan besarnya penurunan beban sistem listrik dari H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri dari koefisien regresi dummy yang dihasilkan, dapat dikatakan bahwa penurunan beban sistem listrik dari H-3 hari raya idul fitri semakin besar dan mencapai puncak penurunan pada hari pertama dan kedua hari raya idul fitri. Penurunan beban sistem listrik berangsur-angsur berkurang dan kembali seperti hari biasa pada H+1 hingga H+4 hari raya idul fitri. Prediksi atau beban sistem listrik pada hari biasa dan sekitar hari raya idul berdasarkan hasil regresi dummy dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

Tabel 4.5 Persamaan Regresi Dummy Beban Sistem Listrik

Jam	Hari Biasa		Sekitar Hari Raya Idul Fitri	
	Minggu	Senin-Sabtu	Minggu	Senin-Sabtu
00.30	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\beta}_k$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\gamma}_{l,1}$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\beta}_k + \hat{\gamma}_{l,1}$
01.00	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 + \hat{\beta}_k$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 + \hat{\gamma}_{l,2}$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 + \hat{\beta}_k + \hat{\gamma}_{l,2}$
01.30	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_2$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_2 + \hat{\beta}_k$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_2 + \hat{\gamma}_{l,3}$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_2 + \hat{\beta}_k + \hat{\gamma}_{l,3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23.30	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{46}$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{46} + \hat{\beta}_k$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{46} + \hat{\gamma}_{l,46}$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{46} + \hat{\beta}_k + \hat{\gamma}_{l,46}$
24.00	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{47}$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{47} + \hat{\beta}_k$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{47} + \hat{\gamma}_{l,47}$	$\hat{\delta} + \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_{47} + \hat{\beta}_k + \hat{\gamma}_{l,47}$

dimana

$\hat{\beta}_k$ = koefisien regresi dummy untuk hari dengan $k=1,2,\dots,6$ (Senin, Selasa, Rabu, ..., Sabtu)

$\hat{\gamma}_{l,j}$ = koefisien regresi dummy untuk sekitar hari raya idul fitri dengan $l=1,2,\dots,9$ (H-3, H-2, H-1, ..., H+4) dan $j=1,2,\dots,47$ (jam 01.00, 01.30, ..., 24.00)

4.3 Model TBATS pada Beban Sistem Listrik Jawa-Bali

Pemodelan TBATS pada data konsumsi listrik regional Jawa dan Bali terbagi menjadi dua yaitu model TBATS dengan periode musiman harian dan mingguan dan model TBATS dengan periode musiman harian, mingguan, dan tahunan hijriyah. Kedua pemodelan TBATS tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a. Model TBATS dengan Periode Musiman Harian dan Mingguan

Pada tahap pertama ini pemodelan TBATS dilakukan tanpa memasukkan hari raya idul fitri (tahun hijriyah) sebagai efek musiman tetap. Pemodelan TBATS beban sistem listrik Jawa dan Bali dengan pola musiman harian dan mingguan yang dihasilkan yaitu TBATS (0, 2, 1, 0.996, {48, 13}, {336, 6}). Pada pemodelan ini 0 merupakan besarnya transformasi Box-Cox untuk data pada model dan korelasi residual ditunjukkan dengan orde ARMA (2, 1). Nilai 0.996 menunjukkan koefisien dari parameter *damping trend* dalam model. Selanjutnya {48,6} dan {336, 6} menunjukkan periode musiman dan jumlah harmoni untuk masing-masing periode musiman. Hasil dari pemodelan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6.

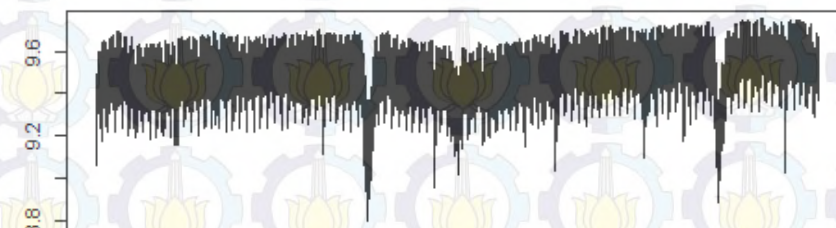
Hasil estimasi parameter TBATS menunjukkan bahwa transformasi Box-Cox untuk menangani kasus non-linieritas pada data diperlukan dalam data beban sistem listrik ini. Transformasi Box-Cox yang dilakukan adalah transformasi logaritma yang didasarkan dari nilai ω sama dengan 0. Koefisien *damping trend* yang mendekati 1 menunjukkan bahwa efek *damping trend* dalam model sangat kecil. Sementara itu, jumlah harmoni untuk menghasilkan dekomposisi musiman yang lebih halus (*smooth*) diperoleh pada $k_1=13$ dan $k_2=6$ dimana jumlah harmoni untuk kedua pola musiman tersebut menghasilkan nilai AIC yang paling

minimum. Dan selanjutnya, korelasi residual dari model ditangkap dengan model ARMA (2, 1).

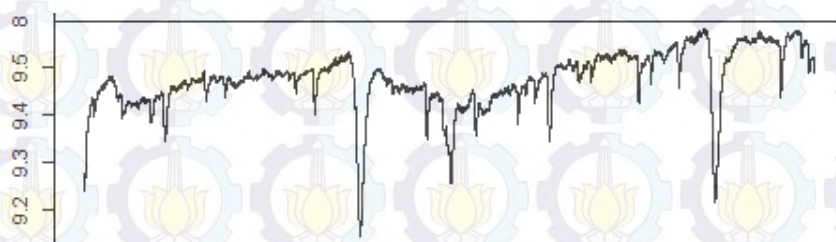
Tabel 4.6 Koefisien Model TBATS dengan Periode Musiman Harian dan Mingguan

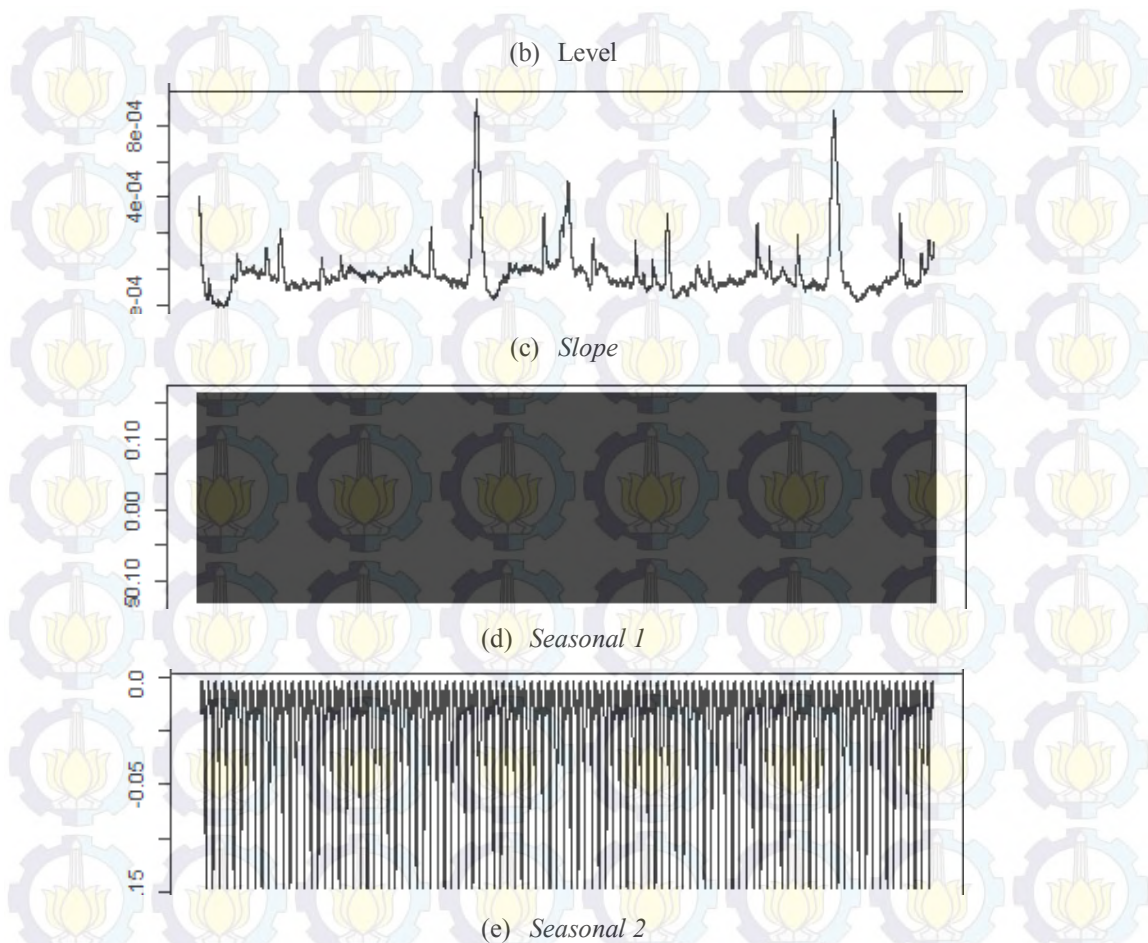
Koefisien Parameter		
ω		0
α		0,0101
β		$-2,9958 \times 10^{-5}$
ϕ		0,9964
ϕ_1		0,9662
ϕ_2		-0,0186
θ_1		0,0659
$m = 48$	γ_1	$2,4182 \times 10^{-6}$
	γ_2	$-3,0724 \times 10^{-7}$
$m = 336$	γ_1	$8,4182 \times 10^{-7}$
	γ_2	$4,2921 \times 10^{-7}$

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat dekomposisi model TBATS dengan pola musiman harian dan mingguan. Gambar 4.11(a) memperlihatkan transformasi Box-Cox dari data observasi yang menunjukkan bahwa komponen trend sangat kecil dalam model. Sedangkan dekomposisi pola musiman harian yang ditunjukkan pada Gambar 4.11(d) dan dekomposisi pola musiman mingguan yang ditunjukkan pada Gambar 4.11(e) merupakan komponen musiman yang kuat dan stabil dari waktu ke waktu.



(a) *Observed*





Gambar 4.11 Dekomposisi Trigonometri Model TBATS (0, 2, 1, 0.996, {48, 13}, {336, 6}) Pada Data Beban Sistem Listrik Jawa-Bali

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut, maka TBATS (0, 2, 1, 0.996, {48, 13}, {336, 6}) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$y_t^{(0)} = l_{t-1} + 0,99b_{t-1} + \sum_{i=1}^2 s_{t-m_i}^{(1)} + d_t$$

dimana :

1. Level : $l_t = l_{t-1} + 0.996383l_{t-1} + 0.01005618d_t$
2. Trend : $b_t = (1 - 0.996383)b + 0.996383b_{t-1} - 2.995776 \times 10^{-5} d_t$
3. Seasonal :

a) $m_1 = 48, k_1 = 13$

- $s_{1,t}^{(1)} = s_{1,t-1}^{(1)} \cos \frac{2\pi}{48} + s_{1,t-1}^{*(1)} \sin \frac{2\pi}{48} + (2,42 \times 10^{-6}) d_t$

- $s_{1,t}^{*(1)} = -s_{1,t-1}^{(1)} \sin \frac{2\pi}{48} + s_{1,t-1}^{*(1)} \cos \frac{2\pi}{48} - (3,07 \times 10^{-7}) d_t$

$$\bullet s_{2,t}^{(1)} = s_{2,t-1}^{(1)} \cos \frac{4\pi}{48} + s_{2,t-1}^{*(1)} \sin \frac{4\pi}{48} + (2,42 \times 10^{-6})d_t$$

$$s_{2,t}^{*(1)} = -s_{2,t-1}^{(1)} \sin \frac{4\pi}{48} + s_{2,t-1}^{*(1)} \cos \frac{4\pi}{48} - (3,07 \times 10^{-7})d_t$$

⋮

$$\bullet s_{13,t}^{(1)} = s_{13,t-1}^{(1)} \cos \frac{26\pi}{48} + s_{13,t-1}^{*(1)} \sin \frac{26\pi}{48} + (2,42 \times 10^{-6})d_t$$

$$s_{13,t}^{*(1)} = -s_{13,t-1}^{(1)} \sin \frac{26\pi}{48} + s_{13,t-1}^{*(1)} \cos \frac{26\pi}{48} - (3,07 \times 10^{-7})d_t$$

b) $m_2 = 336, k_2 = 6$

$$\bullet s_{1,t}^{(1)} = s_{1,t-1}^{(1)} \cos \frac{2\pi}{336} + s_{1,t-1}^{*(1)} \sin \frac{2\pi}{336} + (8,41 \times 10^{-7})d_t$$

$$s_{1,t}^{*(1)} = -s_{1,t-1}^{(1)} \sin \frac{2\pi}{336} + s_{1,t-1}^{*(1)} \cos \frac{2\pi}{336} - (4,29 \times 10^{-7})d_t$$

$$\bullet s_{2,t}^{(1)} = s_{2,t-1}^{(1)} \cos \frac{4\pi}{336} + s_{2,t-1}^{*(1)} \sin \frac{4\pi}{336} + (8,41 \times 10^{-7})d_t$$

$$s_{2,t}^{*(1)} = -s_{2,t-1}^{(1)} \sin \frac{4\pi}{336} + s_{2,t-1}^{*(1)} \cos \frac{4\pi}{336} - (4,29 \times 10^{-7})d_t$$

⋮

$$\bullet s_{6,t}^{(1)} = s_{6,t-1}^{(1)} \cos \frac{12\pi}{336} + s_{6,t-1}^{*(1)} \sin \frac{12\pi}{336} + (8,41 \times 10^{-7})d_t$$

$$s_{6,t}^{*(1)} = -s_{6,t-1}^{(1)} \sin \frac{12\pi}{336} + s_{6,t-1}^{*(1)} \cos \frac{12\pi}{336} - (4,29 \times 10^{-7})d_t$$

4. ARMA : $d_t = 0.96623d_{t-1} - 0.018623d_{t-2} + 0.065872\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$

b. Model TBATS dengan Periode Musiman Harian, Mingguan, dan Tahun Hijriyah

Beban sistem listrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 memiliki pola musiman harian dengan periode 48, mingguan dengan periode 336, dan juga tahun hijriyah dengan periode 17099.76. Sehingga karena memiliki 3 periode musiman dan juga terdapat 1 pola musiman yang non-integer maka dilakukan pemodelan TBATS pada beban sistem listrik regional Jawa-Bali dengan model TBATS yang digunakan adalah TBATS (0, 3, 4, 0.997, {48, 6}, {336, 6}, {17099.76, 5}). Pada pemodelan ini 0 merupakan besarnya transformasi Box-Cox

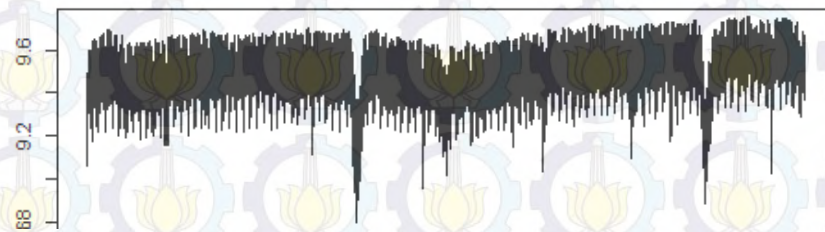
untuk data pada model dan orde ARMA (3, 4) dalam menggambarkan korelasi residual. Nilai 0.997 menunjukkan koefisien dari parameter *damping trend* dalam model. Selanjutnya {48,6}, {336, 6}, dan {17099.76, 5} menunjukkan periode muiman dan jumlah harmoni untuk masing-masing periode musiman. Hasil dari pemodelan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Koefisien Model TBATS dengan Periode Musiman Harian, Mingguan dan Tahun Hiriyah

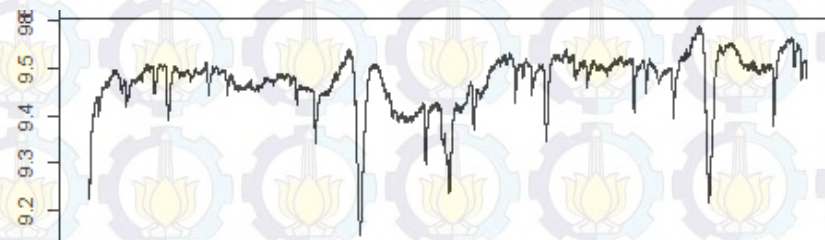
Koefisien Parameter		
ω		0
α		0,0119
β		$-2,9726 \times 10^{-5}$
ϕ		0,9971
φ_1		0,9301
φ_2		-0,1271
φ_3		0,1408
θ_1		0,2974
θ_2		0,0647
θ_3		-0,2160
θ_4		-0,0833
$m = 48$	γ_1	$4,7598 \times 10^{-6}$
	γ_2	$1,2897 \times 10^{-6}$
$m = 336$	γ_1	$1,3175 \times 10^{-6}$
	γ_2	$4,2149 \times 10^{-6}$
$m = 17099,76$	γ_1	$1,8996 \times 10^{-5}$
	γ_2	$1,0832 \times 10^{-5}$

Pemodelan TBATS tersebut merupakan hasil estimasi data *in-sample* dengan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* untuk memperoleh nilai inisial, parameter *smoothing*, serta menentukan jumlah harmonik dan orde ARMA yang tepat. Hasil estimasi parameter TBATS menunjukkan bahwa transformasi Box-Cox diperlukan dalam data beban sistem listrik ini yang ditujukan untuk menangani kasus non-linieritas pada data, dimana transformasi Box-Cox yang dilakukan adalah transformasi logaritma yang ditunjukkan dari nilai ω sama dengan 0. Selain itu, nilai ϕ yang mendekati 1 menunjukkan bahwa efek *damping*

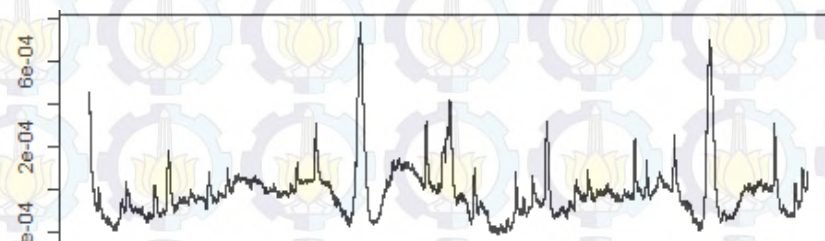
trend sangat kecil dalam model. Berdasarkan prosedur untuk menentukan jumlah harmoni masing-masing periode musiman, dimulai dengan jumlah harmonis $k_i = 1$ yang selanjutnya menunjukkan bahwa nilai harmonis yang menghasilkan AIC minimum untuk ketiga periode musiman tersebut adalah $k_1 = 6$, $k_2 = 6$, dan $k_3 = 5$. Jumlah harmoni tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan dekomposisi musiman yang lebih halus (*smooth*). Langkah berikutnya melakukan estimasi model ARMA pada residual dengan kombinasi (p, q) dimana nilai maksimum dari p dan q adalah 5 dan hasilnya residual dalam model dapat ditangkap dengan ARMA (3, 4).



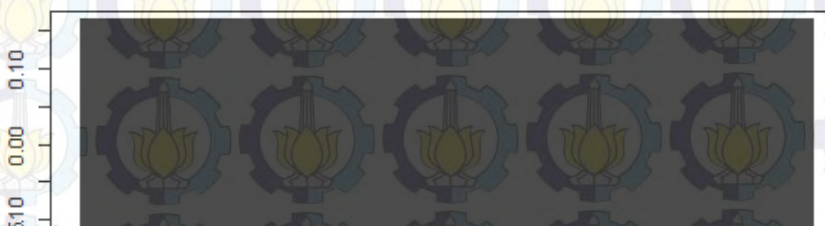
(a) *Observed*



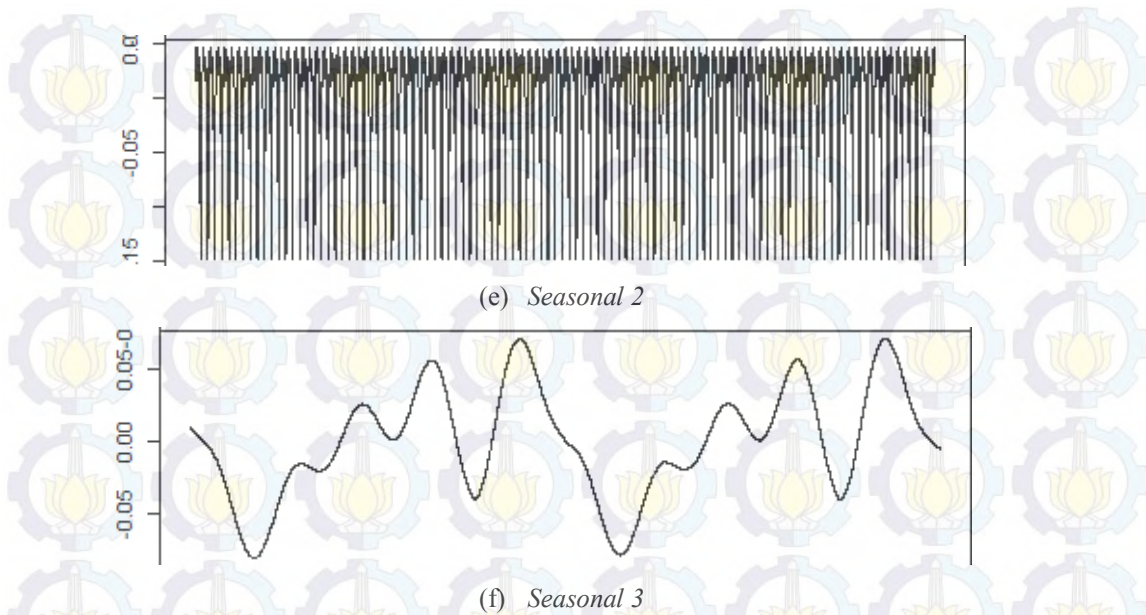
(b) *Level*



(c) *Slope*



(d) *Seasonal 1*



Gambar 4.12 Dekomposisi Trigonometri Model TBATS (0, 3, 4, 0.997, {48, 6}, {336, 6}, {17099.76, 5}) Pada Data Beban Sistem Listrik Jawa-Bali

Gambar 4.12 menunjukkan dekomposisi model TBATS yang ditampilkan dalam 6 panel. Pada Gambar 4.12(a) diperlihatkan transformasi Box-Cox dari data observasi. Sementara itu, pada Gambar 4.12(d), Gambar 4.12(e), dan Gambar 4.12(f) menunjukkan komponen musiman. Gambar 4.12(d) dan Gambar 4.12(e) menunjukkan komponen musiman harian dan mingguan yang kuat. Komponen musiman mingguan memiliki pola yang lebih variatif jika dibandingkan dengan komponen musiman harian. Pada Gambar 4.12(f) dapat dilihat komponen pola musiman tahunan hijriah dimana kestabilan dari komponen musiman ini tidak lebih stabil dari komponen musiman harian dan mingguan karena pada periode musiman ini hanya digunakan data *in-sample* selama 2 tahun. Dan seperti yang ditunjukkan pada *time series plot* data transformasi tersebut, komponen trend sangat kecil jika dibandingkan dengan komponen musiman.

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut, maka TBATS (0, 3, 4, 0.997, {48, 6}, {336, 6}, {17099.76, 5}) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$y_t^{(0)} = l_{t-1} + 0.997068\mathfrak{B}_{t-1} + \sum_{i=1}^3 s_{t-m_i}^{(i)} + d_t$$

dimana :

1. Level : $l_t = l_{t-1} + 0.997068\mathfrak{B}_{t-1} + 0.01192429d_t$

2. Trend : $b_t = (1 - 0.997068)b + 0.997068b_{t-1} - 2.972642 \times 10^{-5} d_t$

3. Seasonal :

a) $m_1 = 48, k_1 = 6$

- $s_{1,t}^{(1)} = s_{1,t-1}^{(1)} \cos \frac{2\pi}{48} + s_{1,t-1}^{*(1)} \sin \frac{2\pi}{48} + (4,76 \times 10^{-6}) d_t$

- $s_{1,t}^{*(1)} = -s_{1,t-1}^{(1)} \sin \frac{2\pi}{48} + s_{1,t-1}^{*(1)} \cos \frac{2\pi}{48} - (1,29 \times 10^{-6}) d_t$

- $s_{2,t}^{(1)} = s_{2,t-1}^{(1)} \cos \frac{4\pi}{48} + s_{2,t-1}^{*(1)} \sin \frac{4\pi}{48} + (4,76 \times 10^{-6}) d_t$

- $s_{2,t}^{*(1)} = -s_{2,t-1}^{(1)} \sin \frac{4\pi}{48} + s_{2,t-1}^{*(1)} \cos \frac{4\pi}{48} - (1,29 \times 10^{-6}) d_t$

⋮

- $s_{6,t}^{(1)} = s_{6,t-1}^{(1)} \cos \frac{12\pi}{48} + s_{6,t-1}^{*(1)} \sin \frac{12\pi}{48} + (4,76 \times 10^{-6}) d_t$

- $s_{6,t}^{*(1)} = -s_{6,t-1}^{(1)} \sin \frac{12\pi}{48} + s_{6,t-1}^{*(1)} \cos \frac{12\pi}{48} - (1,29 \times 10^{-6}) d_t$

b) $m_2 = 336, k_2 = 6$

- $s_{1,t}^{(1)} = s_{1,t-1}^{(1)} \cos \frac{2\pi}{336} + s_{1,t-1}^{*(1)} \sin \frac{2\pi}{336} + (1,32 \times 10^{-5}) d_t$

- $s_{1,t}^{*(1)} = -s_{1,t-1}^{(1)} \sin \frac{2\pi}{336} + s_{1,t-1}^{*(1)} \cos \frac{2\pi}{336} - (4,21 \times 10^{-6}) d_t$

- $s_{2,t}^{(1)} = s_{2,t-1}^{(1)} \cos \frac{4\pi}{336} + s_{2,t-1}^{*(1)} \sin \frac{4\pi}{336} + (1,32 \times 10^{-5}) d_t$

- $s_{2,t}^{*(1)} = -s_{2,t-1}^{(1)} \sin \frac{4\pi}{336} + s_{2,t-1}^{*(1)} \cos \frac{4\pi}{336} - (4,21 \times 10^{-6}) d_t$

⋮

- $s_{6,t}^{(1)} = s_{6,t-1}^{(1)} \cos \frac{12\pi}{336} + s_{6,t-1}^{*(1)} \sin \frac{12\pi}{336} + (1,32 \times 10^{-5}) d_t$

- $s_{6,t}^{*(1)} = -s_{6,t-1}^{(1)} \sin \frac{12\pi}{336} + s_{6,t-1}^{*(1)} \cos \frac{12\pi}{336} - (4,21 \times 10^{-6}) d_t$

c) $m_3 = 1709976, k_3 = 5$

- $s_{1,t}^{(1)} = s_{1,t-1}^{(1)} \cos \frac{2\pi}{1709976} + s_{1,t-1}^{*(1)} \sin \frac{2\pi}{1709976} + (1,90 \times 10^{-5}) d_t$

- $s_{1,t}^{*(1)} = -s_{1,t-1}^{(1)} \sin \frac{2\pi}{1709976} + s_{1,t-1}^{*(1)} \cos \frac{2\pi}{1709976} - (1,08 \times 10^{-5}) d_t$

- $$s_{2,t}^{(1)} = s_{2,t-1}^{(1)} \cos \frac{4\pi}{17099.76} + s_{2,t-1}^{*(1)} \sin \frac{4\pi}{17099.76} + (1,90 \times 10^{-5}) d_t$$

$$s_{2,t}^{*(1)} = -s_{2,t-1}^{(1)} \sin \frac{4\pi}{17099.76} + s_{2,t-1}^{*(1)} \cos \frac{4\pi}{17099.76} - (1,08 \times 10^{-5}) d_t$$

$$\vdots$$
- $$s_{5,t}^{(1)} = s_{5,t-1}^{(1)} \cos \frac{10\pi}{17099.76} + s_{5,t-1}^{*(1)} \sin \frac{10\pi}{17099.76} + (1,90 \times 10^{-5}) d_t$$

$$s_{5,t}^{*(1)} = -s_{5,t-1}^{(1)} \sin \frac{10\pi}{17099.76} + s_{5,t-1}^{*(1)} \cos \frac{10\pi}{17099.76} - (1,08 \times 10^{-5}) d_t$$

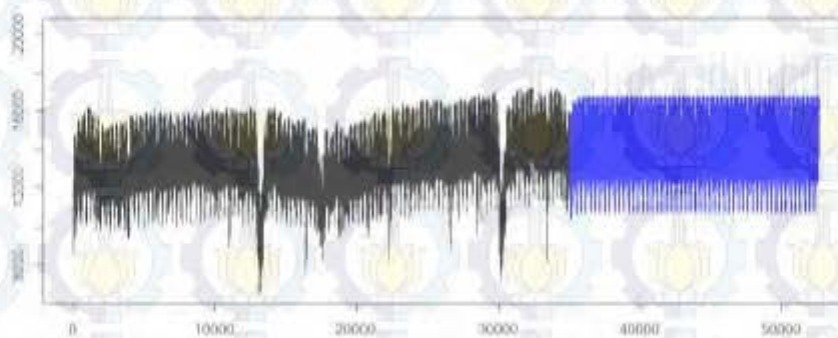
4. ARMA :

$$d_t = 0.930099d_{t-1} - 0.127127d_{t-2} + 0.140825d_{t-3} + 0.299740\varepsilon_{t-1} + 0.06471\varepsilon_{t-2} +$$

$$- 0.215984\varepsilon_{t-3} - 0.080332\varepsilon_{t-4} + \varepsilon_t$$

4.4 Peramalan Jangka Panjang Beban Konsumsi Listrik Regional Jawa dan Bali

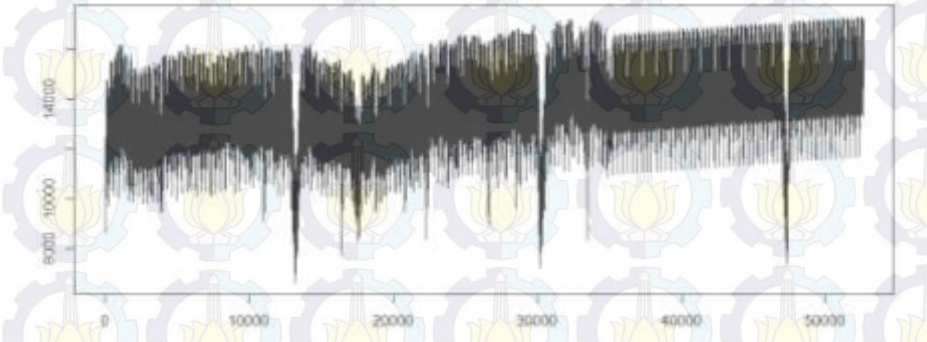
Setelah mendapatkan model TBATS dari data beban konsumsi listrik regional Jawa dan Bali, selanjutnya dilakukan peramalan jangka panjang untuk 1 tahun ke depan. Peramalan jangka panjang ini ditujukan untuk mengetahui kemampuan model dalam menangkap penurunan beban sistem listrik pada sekitar hari raya idul fitri. Pada bagian ini dilakukan 3 peramalan yaitu yang pertama dengan menggunakan model TBATS (0, 2, 1, 0.996, {48, 13}, {336, 6}), kedua dengan model TBATS (0, 3, 4, 0.997, {48, 6}, {336, 6}, {17099.76, 5}), dan ketiga dengan hasil prediksi model regresi dummy. Hasil dari ketiga peramalan yang dilakukan ditunjukkan pada gambar berikut.



(a) Ramalan Model TBATS dengan Musiman Harian dan Mingguan



(b) Ramalan Model TBATS dengan Musiman Harian, Mingguan, dan Tahun Hijriah



(c) Ramalan Model Regresi Dummy

Gambar 4.13 Hasil Ramalan Jangka Panjang Beban Sistem Listrik Jawa-Bali

Hasil ramalan jangka panjang beban sistem listrik untuk ketiga model tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.13. Pada model TBATS dengan memasukkan pola musiman tahunan hijriah yang dirunjukkan pada Gambar 4.13(b), hasil ramalan jangka panjang telah mengikuti pola pada tahun-tahun sebelumnya. Selain itu, batas atas dan bawah ramalan tidak memiliki selang yang besar yang menunjukkan bahwa hasil ramalan tersebut merupakan hasil ramalan yang baik. Dalam meramalkan beban sistem listrik pada hari-hari di sekitar hari raya idul fitri, model ini sudah mampu menangkap pola tahunan hijriah dari data *in-sample*. Namun besarnya penurunan beban sistem listrik di sekitar hari raya idul fitri pada peramalan model ini tidak sebanding dengan besarnya penurunan dua tahun sebelumnya pada data *in-sample*. Hal ini dikarenakan, pemodelan TBATS menggunakan spesifikasi harmoni pada model musiman trigonometri yang menghasilkan ramalan yang halus (*smoth*), sehingga pola penurunan atau kenaikan dari ramalan yang dihasilkan tidak sebesar/setajam seperti pada pola penurunan atau kenaikan data *in-sample*.

Pada Gambar 4.13(a) diperlihatkan hasil peramalan model TBATS beban sistem listrik Jawa-Bali dengan menggunakan periode musiman harian dan mingguan, tanpa memasukkan musiman tahunan hijriah untuk menangkap efek hari raya idul fitri. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa model tersebut telah dapat meramalkan pola musiman harian dan mingguan yang ditunjukkan dari adanya fluktuasi di setiap hari dan minggunya. Namun hasil ramalan ini tidak dapat menunjukkan fluktuasi pada setiap bulannya yang terjadi pada selang waktu satu tahun tidak dapat dihasilkan pada ramalan, khususnya pada hari raya idul fitri tidak. Peramalan data beban sistem listrik dengan periode musiman harian dan mingguan sebelumnya juga pernah dilakukan oleh Lailiya (2013). Penelitian tersebut menggunakan metode *Double Seasonal Holt Winter* (DSHW) pada data beban sistem listrik per setengah jam di Jawa Timur dan Bali dengan pendekatan simulasi *Double Seasonal Block* (DSB) dan *Percentile Error* (PE) *bootstrap*. Hasilnya adalah bahwa DSB bootstrap memiliki akurasi tinggi yang lebih stabil jika dibandingkan dengan PE bootstrap pada peramalan beban sistem listrik dengan metode DSHW. Namun peramalan dengan periode musiman harian dan mingguan ini digunakan hanya untuk peramalan jangka pendek 1 bulan ke depan.

Gambar 4.13(c) menunjukkan hasil ramalan dari model regresi dummy dimana didalamnya terdapat variabel untuk menangkap trend dan tiga variabel untuk menangkap pola musiman harian, mingguan, dan hari raya idul fitri dalam bentuk variabel dummy. Berdasarkan gambar tersebut, kenaikan atau trend yang terjadi setiap tahunnya sudah dapat ditangkap dalam peramalan, begitu juga dengan pola musiman harian, mingguan dan sekitar hari raya idul fitri. Namun hasil peramalan untuk setiap bulannya tidak sehalus seperti hasil peramalan pada Gambar 4.13(b). Walaupun dalam kasus ini hasil ramalan dengan regresi dummy menunjukkan hasil yang baik, tetapi hasil ini tidak dapat digunakan untuk meramalkan data runtun waktu karena pemodelan ini tidak memperhatikan korelasi yang terjadi antar waktu pada data.

Tabel 4.8 Evaluasi Pemodelan TBATS untuk Data *In-sample*

Tahun		TBATS musiman 48, 336		TBATS musiman 48, 336, 17099.76	
		RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
2008	Semua	167.378	0.970	200.178	1.194
	Tanpa H-3 sampai H+4	165.491	0.953	199.270	1.182
	H-3 sampai H+4	230.091	1.638	233.357	1.650
2009	Semua	176.492	0.978	210.653	1.199
	Tanpa H-3 sampai H+4	175.025	0.964	209.925	1.190
	H-3 sampai H+4	227.046	1.525	237.705	1.588

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat evaluasi prediksi data *in-sample* untuk dua model TBATS. Evaluasi prediksi pada data *in-sample* ini dilakukan pada seluruh data *in-sample*, tanpa H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri dan pada H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri dengan menggunakan kriteria RMSE dan MAPE. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai RMSE dan MAPE besar untuk kedua model TBATS pada H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri, baik untuk tahun 2008 maupun 2009. Hal ini berarti residual yang dihasilkan pada H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri yang menyebabkan RMSE dan MAPE untuk seluruh data *in-sample* lebih besar jika dibandingkan dengan RMSE dan MAPE tanpa H-3 hingga H+4 hari raya idul fitri. Sehingga dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa pemodelan TBATS belum dapat menangkap penurunan beban sistem listrik yang terjadi pada sekitar hari raya idul fitri. Oleh karena itu, pada bagian ini dilakukan juga substitusi dari hasil peramalan model regresi dummy pada sekitar hari raya idul fitri ke dalam hasil ramalan model TBATS. Maka model ramalan (\hat{y}_t^*) untuk substitusi hasil regresi dummy kombinasi hari dan jam ditunjukkan sebagai berikut.

$$\hat{y}_t^* = \begin{cases} \hat{y}_t, & t = 1, 2, \dots, 11953, 12385, \dots, 17520 \\ \hat{I}_t, & t = 11954, \dots, 12384 \end{cases}$$

dimana

\hat{y}_t adalah hasil ramalan model TBATS

\hat{I}_t adalah hasil ramalan regresi dummy

Proses substitusi ramalan regresi dummy dalam model TBATS ditunjukkan sebagai berikut.

a. Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Ramalan Model TBATS dengan Musiman Harian dan Mingguan.

Tabel 4.9 Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Model TBATS Musiman 48, 336

Hasil Ramalan Model TBATS			Hasil Ramalan Regresi Dummy		
Tanggal	Jam	\hat{y}	Tanggal	Jam	\hat{y}
1 Januari 2010	00.30	11804.95	H-3	00.30	13904.18
1 Januari 2010	01.00	11755.99	H-3	01.00	13891.60
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 Januari 2010	24.00	12799.31	H-3	24.00	13361.10
⋮	⋮	⋮	H-2	00.30	12755.94
H-3	00.30	13205.68	H-2	01.00	12506.98
H-3	01.00	13047.19	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	H-2	24.00	12118.66
H-3	24.00	13593.84	⋮	⋮	⋮
H-2	00.30	13352.43	H-1	00.30	10528.87
H-2	01.00	13177.85	H-1	01.00	10343.91
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H-2	24.00	13589.11	H-1	24.00	10156.59
⋮	⋮	⋮	H2	00.30	9206.03
H1	00.30	13258.58	H2	01.00	9091.07
(10 September 2010)	01.00	13071.20	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	H2	24.00	9611.75
H1	24.00	13439.53	⋮	⋮	⋮
(10 September 2010)	⋮	⋮	H+3	00.30	11942.72
H2	00.30	13162.85	H+3	01.00	11856.76
(11 September 2010)	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H2	01.00	12950.59	H+3	24.00	12532.44
⋮	⋮	⋮	H+4	00.30	11849.68
H2	24.00	12659.58	H+4	01.00	11751.72
(11 September 2010)	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	H+4	24.00	13001.40
H+3	00.30	13205.38	⋮	⋮	⋮
H+3	01.00	13047.19	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H+3	24.00	13593.84	⋮	⋮	⋮
H+4	00.30	13352.43	⋮	⋮	⋮
H+4	01.00	13177.85	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H+4	24.00	13589.11	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31 Desember 2010	24.00	13439.53	⋮	⋮	⋮

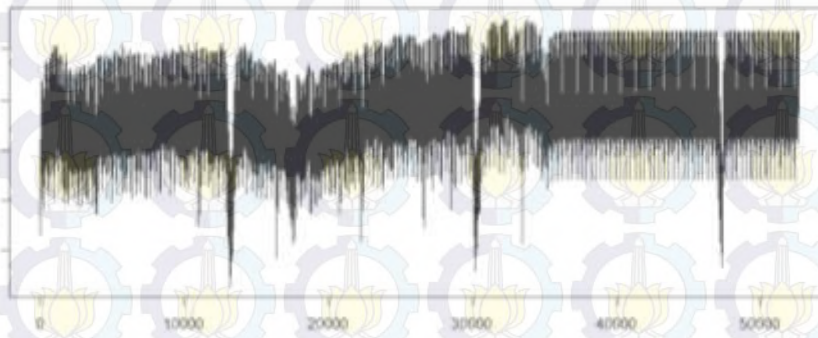
← substitusi

b. Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Ramalan Model TBATS dengan Periode Musiman Harian, Mingguan, dan Tahun Hijriyah

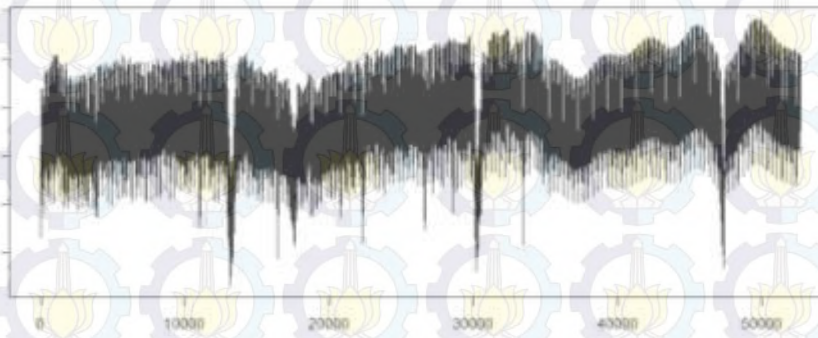
Tabel 4.10 Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Model TBATS Musiman 48, 336, 17099.76

Hasil Ramalan Model TBATS			Hasil Ramalan Regresi Dummy		
Tanggal	Jam	\hat{y}	Tanggal	Jam	\hat{y}
1 Januari 2010	00.30	11804.99	H-3	00.30	13904.18
1 Januari 2010	01.00	11740.27	H-3	01.00	13891.60
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 Januari 2010	24.00	12603.33	H-3	24.00	13361.10
⋮	⋮	⋮	H-2	00.30	12755.94
H-3	00.30	12672.68	H-2	01.00	12506.98
H-3	01.00	12481.68	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	H-2	24.00	12118.66
H-3	24.00	13002.27	⋮	⋮	⋮
H-2	00.30	12785.17	H1	00.30	10528.87
H-2	01.00	12578.37	H1	01.00	10343.91
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H-2	24.00	12969.48	H1	24.00	10156.59
⋮	⋮	⋮	(10 September 2010)	00.30	12644.33
H1	00.30	12644.33	(10 September 2010)	01.00	12426.47
(10 September 2010)	01.00	12426.47	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	H1	24.00	12781.53
H1	24.00	12781.53	(10 September 2010)	00.30	12532.19
(10 September 2010)	00.30	12532.19	(11 September 2010)	01.00	12291.62
H2	00.30	12532.19	⋮	⋮	⋮
(11 September 2010)	01.00	12291.62	H2	24.00	12052.68
⋮	⋮	⋮	(11 September 2010)	⋮	⋮
H2	24.00	12052.68	⋮	⋮	⋮
(11 September 2010)	⋮	⋮	H+3	00.30	11942.72
⋮	⋮	⋮	H+3	01.00	11856.76
H+3	00.30	12531.99	⋮	⋮	⋮
H+3	01.00	12343.57	H+3	24.00	12532.44
⋮	⋮	⋮	H+4	00.30	11849.68
H+3	24.00	12881.04	H+4	01.00	11751.72
H+4	00.30	12666.45	⋮	⋮	⋮
H+4	01.00	12462.06	H+4	24.00	13001.40
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
H+4	24.00	12872.94	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31 Desember 2010	24.00	13019.70	⋮	⋮	⋮

substitusi



(a) Substitusi Ramalan Regresi Dummy dalam Ramalan Model TBATS Periode Musiman Harian dan Mingguan



(b) Substitusi Ramalan Regresi Dummy dalam Ramalan Model TBATS Periode Musiman Harian, Mingguan dan Tahun Hijriyah

Gambar 4.14 Hasil Substitusi Ramalan Regresi Dummy pada Hasil Ramalan Model TBATS Beban Sistem Listrik Regional Jawa dan Bali

Hasil peramalan jangka panjang dengan mensubstitusikan ramalan regresi dummy dalam hasil ramalan pemodelan TBATS baik untuk periode musiman harian dan mingguan maupun periode musiman harian, mingguan, dan tahun hijriyah menunjukkan kedua hasil ramalan ini dapat menangkap pola penurunan beban sistem listrik yang besar pada sekitar hari raya idul fitri seperti pola penurunan sekitar hari raya idul fitri pada tahun-tahun sebelumnya. Hasil ramalan ini sesuai dengan kondisi nyata dimana seperti yang diungkapkan Jawa Pos (2014) bahwa kondisi sistem kelistrikan Jawa-Bali pada sekitar hari raya idul fitri turun hingga sekitar 38 persen dari hari-hari biasa. Hal yang sama juga diungkapkan Liputan 6 (2013) bahwa penurunan beban puncak sistem listrik merupakan hal yang lazim dari tahun ke tahun pada hari raya idul fitri. Beban puncak sistem listrik ini akan menurun tajam dari hari sebelum hari raya idul fitri hingga pada hari raya idul fitri, dan akan kembali meningkat pada hari-hari

berikutnya. Pada hari raya idul fitri ini sistem listrik Jawa-Bali dapat mengistirahatkan 6.564MW dari hari biasanya pada tahun 2013.

4.5 Perbandingan Hasil Ramalan Model TBATS pada Beban Sistem Listrik Jawa-Bali

Model terbaik dapat dilihat berdasarkan pada residual yang dihasilkan. Baik pada data *in-sample* maupun *out-sample*. Pada pemodelan TBATS dengan periode musiman 48, 336, 17009.76 maupun dengan periode musiman 48, 336, pemilihan model terbaik dapat didasarkan pada data *in-sample* maupun *out-sample*. Kriteria pemilihan model terbaik pada data *in-sample* dilakukan dengan melihat nilai AIC, sedangkan untuk data *out-sample* dilakukan dengan melihat nilai RMSE dan MAPE hasil peramalan. Berbeda dari dua pemodelan sebelumnya, kriteria untuk hasil ramalan dengan menggunakan prosedur substitusi hanya dapat dilihat dari data *out-sample* yaitu RMSE dan MAPE. Nilai kriteria pemilihan model terbaik ditunjukkan pada Tabel 4.11.

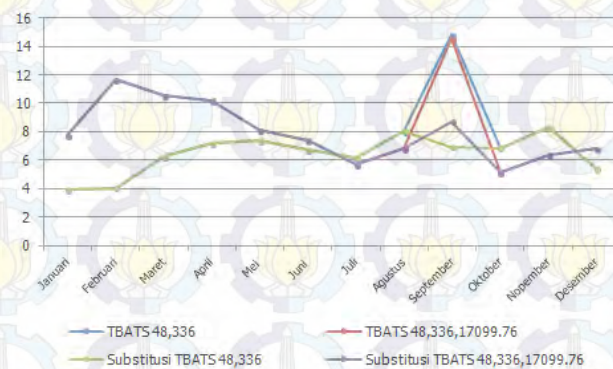
Tabel 4.11 Kriteria Pemilihan Model Terbaik Pada Peramalan Beban Sistem Listrik Jawa-Bali

	TBATS Periode Musiman 48, 336	TBATS Periode Musiman 48, 336, 17099.76	Regresi Dummy	Substitusi pada TBATS Periode Musiman 48, 336	Substitusi pada TBATS Periode Musiman 48, 336, 17099.76
AIC	729347,7	741451,2			
RMSE	1215,5077	1387,5593	846,7311	1084,066	1316,168
MAPE	7,0958	8,375331	4,7557	6,4473	7,8993

Kriteria pemilihan model yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 memperlihatkan bahwa pada model dengan memasukkan pola musiman tahunan hijriah pada model TBATS memiliki nilai AIC dan RMSE lebih besar daripada tanpa memasukkan pola musiman tahunan hijriah pada model TBATS. Sehingga dapat diartikan bahwa dari kriteria *in-sample* dan *out-sample*, model tanpa memasukkan pola musiman tahunan hijriah pada model TBATS menghasilkan residual yang lebih kecil dalam peramalan tetapi tidak dapat menangkap pola fluktuatif untuk periode tahunan. Jika dilihat dari *time series plot* hasil ramalan pada Gambar 4.14, model dengan memasukkan pola musiman tahunan hijriah pada model TBATS

lebih dapat menangkap pola fluktuatif pada data, hanya saja level trend yang dihasilkan kurang dapat tertangkap sehingga residual yang dihasilkan lebih besar.

Sedangkan jika dilihat dari kriteria *out-sample*, hasil peramalan dengan substitusi ramalan regresi dummy pada kedua model TBATS memiliki kriteria *out-sample* yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil ramalan awal dari model TBATS. Hal ini dikarenakan dengan substitusi, besarnya penurunan level pada saat sekitar hari raya idul fitri dapat ditangkap sehingga menghasilkan residual *out-sample* yang lebih kecil. Namun dari seluruh ramalan yang dihasilkan, peramalan dengan menggunakan regresi dummy merupakan peramalan terbaik karena menghasilkan nilai kriteria *out-sample* yang paling kecil baik untuk RMSE maupun untuk MAPE.

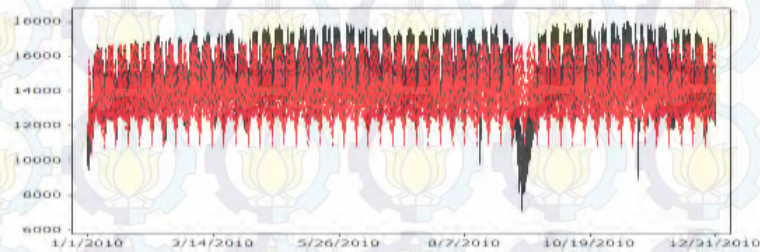


Gambar 4.15 Nilai MAPE per Bulan Hasil Peramalan

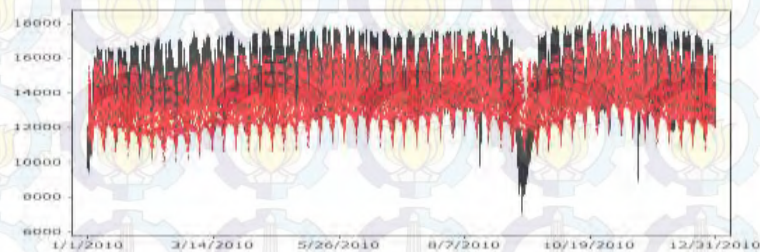
Pada Gambar 4.15 dapat dilihat nilai MAPE per bulan dari hasil peramalan model TBATS dan substitusi peramalan regresi dummy ke dalam model TBATS. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada bulan-bulan awal model TBATS dengan tiga periode musiman memiliki residual lebih besar dari pada model TBATS dengan 2 periode musiman yang ditunjukkan dari nilai MAPE. Namun semakin mendekati bulan pada hari raya idul fitri residual peramalan yang dihasilkan model TBATS dengan 3 periode musiman semakin kecil, bahkan lebih kecil dari model TBATS dengan 2 periode musiman. Walaupun pada kedua pemodelan ini belum dapat menangkap penurunan pada hari raya idul fitri yang ditunjukkan dari peningkatan MAPE pada bulan September, tetapi dengan mensubstitusikan hasil peramalan regresi dummy pada ramalan model TBATS

untuk hari-hari sekitar hari raya idul fitri, nilai residual yang dihasilkan pada bulan September dapat berkurang.

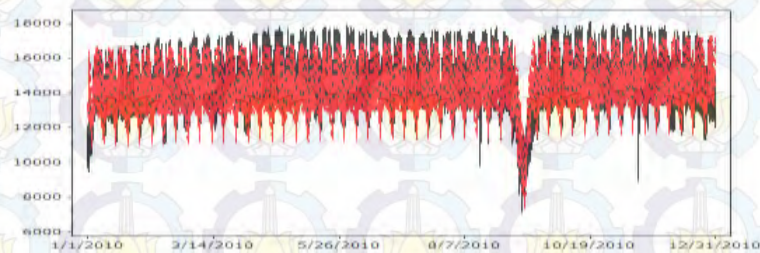
Hal yang sama juga ditunjukkan pada Gambar 4.16, dimana hasil ramalan regresi dummy dengan memperhatikan trend serta pola musiman harian, mingguan dan tahun hijriyah paling mendekati data *out-sample*, hanya saja hasil ramalan tersebut tidak sehalus peramalan model TBATS dengan periode musiman harian, mingguan dan tahun hijriyah. Walaupun begitu, seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa ramalan ini tidak sesuai untuk digunakan karena pemodelan ini tidak memperhatikan korelasi antar waktu, sehingga ramalan yang dihasilkan akan sama untuk setiap tahunnya.



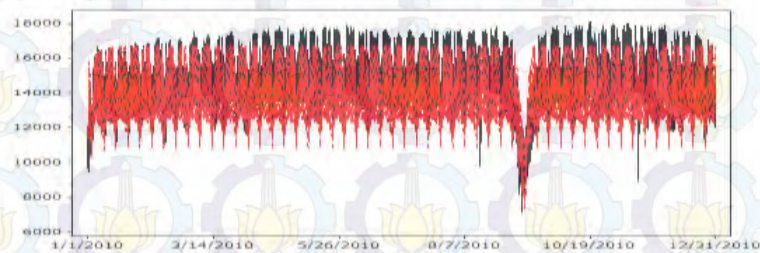
(a) Model TBATS Tanpa Musiman Hijriyah



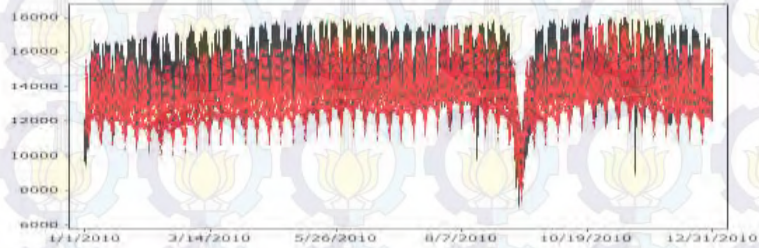
(b) TBATS dengan Musiman Hijriyah



(c) Regresi Dummy



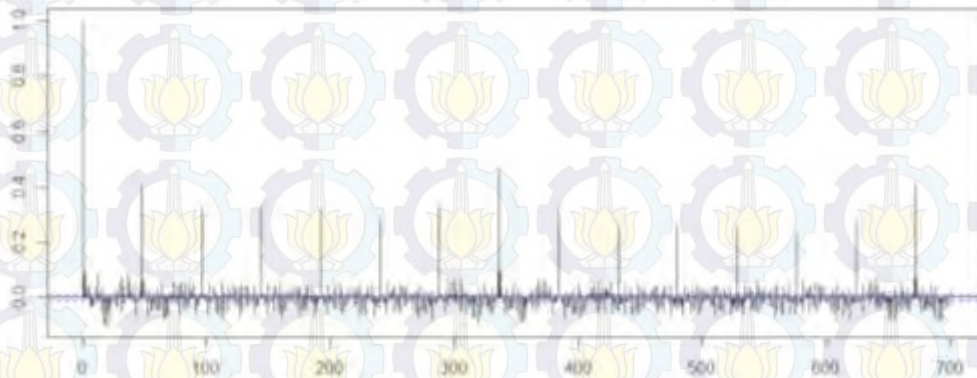
(d) Substitusi Regresi Dummy pada TBATS Tanpa Musiman Hijriyah



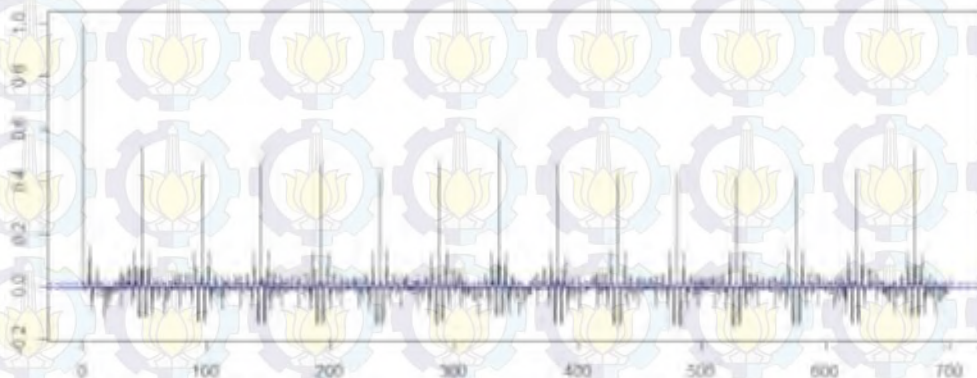
(e) Substitusi Regresi Dummy pada TBATS dengan Musiman Hijriyah

Gambar 4.16 Perbandingan Peramalan Jangka Panjang dengan Data *Out-sample*

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa pemodelan TBATS belum menghasilkan peramalan dengan residual yang lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan karena residual dari model TBATS tidak *white noise*. Gambar 4.17 yang memperlihatkan plot ACF residual menunjukkan bahwa residual model TBATS masih mengandung pola musiman harian dan mingguan. Pola musiman yang masih terdapat dalam residual ini dikarenakan model ARMA residual pada model TBATS tidak memasukkan pengaruh musiman.



(a) TBATS Tanpa Musiman Hijriyah



(b) TBATS dengan Musiman Hijriyah

Gambar 4.17 Plot ACF Model TBATS

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Secara deskriptif, data *in-sample* beban sistem listrik Jawa-Bali menunjukkan adanya pola musiman harian, mingguan dan tahunan hijriah. Pola musiman tahunan ini terjadi akibat penurunan beban sistem listrik karena efek hari raya idul fitri yang dimulai dari H-3 sebelum hari raya hingga H+4 setelah hari raya idul fitri.
2. Hasil regresi dummy menunjukkan bahwa pada hari biasa jam 01.00-08.00 beban sistem listrik lebih rendah dari rata-rata beban sistem listrik pada jam 00.30. Pada periode jam 08.30-21.00 menunjukkan adanya kenaikan beban siste listrik, namun diantara jam-jam tersebut terdapat penurunan pada jam 11.30 hingga 12.30. Pada periode jam 21.30-24.00 besarnya beban sistem listrik kembali menurun. Selain itu besarnya beban sistem listrik pada hari aktif lebih besar dari pada pada akhir pekan. Pada sekitar hari raya idul fitri antara periode jam 00.30-06.00 level penurunan relatif rendah dari rata-rata beban sistem listrik pada hari biasa, namun semakin bertambah antara periode jam 06.30-17.30 dan selanjutnya level penurunan antara periode jam 18.00-24.00 kembali.
3. Pemodelan TBATS dengan memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap menunjukkan diperlukannya transformasi Box-cox logaritma yang ditunjukkan dari nilai ω sama dengan 0. Efek damping trend dalam model sangat kecil yang dilihat dari nilai ϕ yang mendekati 1. Selain itu, jumlah harmoni yang menghasilkan nilai AIC minimum untuk ketiga periode musiman adalah $k_1 = 6$, $k_2 = 6$, dan $k_3 = 5$, dan residual dalam model dapat ditangkap dengan ARMA (3, 4). Sedangkan pemodelan TBATS tanpa memasukkan hari raya idul fitri sebagai efek musiman tetap juga menunjukkan bahwa diperlukan transformasi logaritma yang didasarkan dari

nilai ω sama dengan 0 dan efek damping trend dalam model sangat kecil dengan koefisien mendekati 1. Sementara itu, jumlah harmoni untuk yang diperoleh untuk periode musiman yaitu pada $k_1 = 13$ dan $k_2 = 6$. Selanjutnya, korelasi residual dari model ditangkap dengan model ARMA (2, 1).

4. Hasil peramalan pada pemodelan TBATS beban sistem listrik dengan memasukkan pola musiman tahunan hijriah hasilnya lebih dapat menangkap pola fluktuatif tahunan pada data, namun menghasilkan residual yang lebih besar jika dibandingkan pemodelan TBATS tanpa memasukkan pola musiman tahunan hijriah jika dilihat dari kriteria AIC, RMSE, dan MAPE. Sehingga dilakukan substitusi hasil ramalan regresi dummy hari raya idul fitri untuk hari-hari di sekitar hari raya idul fitri dalam ramalan pemodelan TBATS dengan pola musiman tahunan hijriah. Hasil substitusi tersebut lebih dapat menangkap efek hari raya idul fitri dan dapat menghasilkan nilai ramalan yang lebih baik yang ditunjukkan dari nilai RMSE dan MAPE yang lebih kecil.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, model sudah dapat menangkap pola fluktuatif pada periode musiman namun masih memiliki residual yang lebih besar dalam peramalannya. Sehingga dalam penelitian selanjutnya dengan menggunakan pemodelan TBATS, disarankan untuk menambahkan jumlah data agar pola musiman yang terbesar lebih dapat tertangkap oleh model dan menghasilkan peramalan yang lebih baik. Selain itu disarankan juga untuk melakukan penanganan *outlier* dan memasukkan pengaruh musiman dalam model ARMA residual pada pemodelan TBATS sehingga menghasilkan model yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Akram, M., Hyndman, R., & Ord, J. (2009). Exponential Smoothing and Non-Negative Data. *Australian and New Zealand Journal of Statistics*, 51, 415–432.

Baek, M. (2010). Forecasting Hourly Electricity Loads of South Korea: Innovations State Space Modeling Approach. *The Korean Journal of Economics*, 17, 301-317.

BPPT. (2013). *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2013 : Pengembangan Energi dalam Mendukung Sektor*. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE).

Cryer, J. D., & Chan, K. S. (2008). *Time series Analysis with Application in R* (2nd ed.). New York: Springer.

Ezennaya, O. S., O. E. Isaac, U. O. Okolie, and O. I. C. Ezeanyim. (2014). "Analysis of Nigeria's National Electricity Demand Forecast (2013-2030)." *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2014: 333-340.

Gujarati, D. N. (2003). *Basic Econometrics*. New York: McGraw-Hill/Irwin

Hassan, S. N., Ahmad, M. H., Suhartono, & Mohamed, N. (2012). A Comparison of the Forecast Performance of Double Seasonal ARIMA and Double Seasonal ARFIMA Models of Electricity Load Demand. *Applied Mathematical Sciences*, 6705-6712.

Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Ord, J. K., & Snyder, R. D. (2008). *Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach*. Berlin: Springer-Verlag.

Hyndman, R. J., & Khandakar, Y. (2008). Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, 1-22.

Jawa Pos. (2014). *Konsumsi Listrik Turun*. Diunduh pada 22 Januari 2014 dari PT. Jawa Pos Koran : <http://jawapos.com/baca/artikel/5138/Konsumsi-Listrik-Turun>.

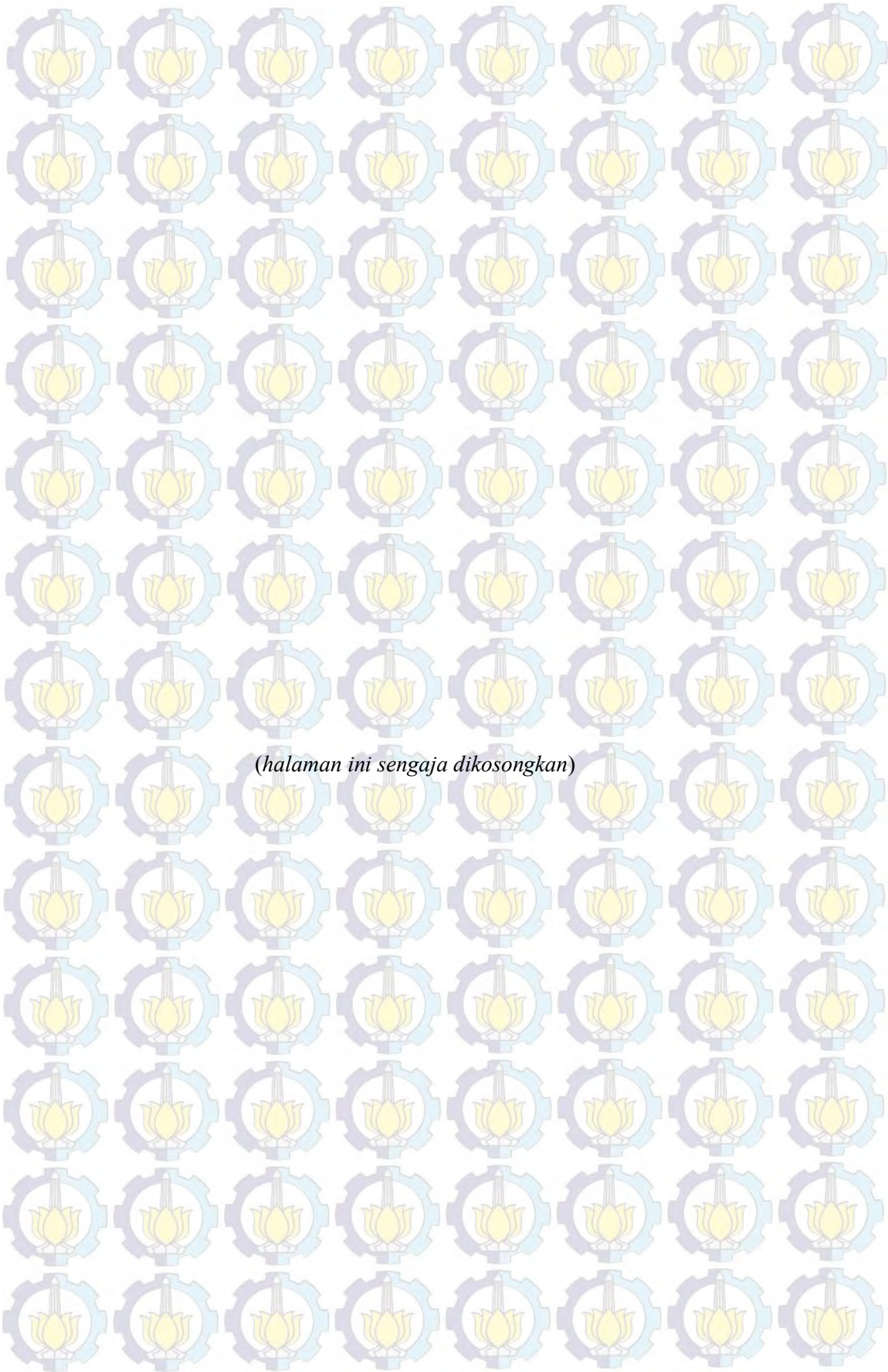
- Laliya, A. R. (2013). *Pendekatan Bootstrap untuk Konstruksi Interval Prediksi pada Model Double Seasonal Holt-Winters*. Tesis Program Master Statistika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Livera, A. M. & Hyndman, R. J. (2009). Forecasting Time Series With Complex Seasonal Patterns Using Exponential Smoothing. *Working Paper 12/09*, Dept. of Econometrics and Business Statistics, Monash University.
- Livera, A. M., Hyndman, R. J., & Snyder, R. D. (2011). Forecasting Time Series with Complex Seasonal Patterns Using Exponential Smoothing. *Journal of the American Statistical Association*, 1513-1527.
- Pedregal, D. J. & Young, P. C. (2006). Modulated Cycles, an Approach To Modelling Periodic Components From Rapidly Sampled Data. *International Journal of Forecasting*. 181–194.
- PLN. (2014, Juni). Krisis Listrik Hantui Jawa Bali? *Fokus*, hal. 3.
- PLN. (2010). *Statistik PLN 2009*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Rachmawati, D., & Sutijo, B. (2013). Pemodelan Konsumsi Listrik Berdasarkan Jumlah Pelanggan PLN Jawa Timur untuk Kategori Rumah Tangga R-1 dengan Metode Fungsi Transfer Single Input. *Jurnal Sains Dan Seni POMITS*, 2, 300-304.
- Suhartono, & Endharta, A. J. (2009). Short Term Electricity Load Demand Forecasting in Indonesia by Using Double Seasonal Recurrent Neural Networks. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 3(3), 171-178.
- Suhartono, Puspitasari, I., Akbar, M., & Lee, M. (2012). Two-Level Seasonal Model Based on Hybrid ARIMA-ANFIS for Forecasting Short-Term Electricity Load in Indonesia. *International Conference on Statistics in Science, Business, and Engineering (ICSSBE)* (hal. 1-5). Langkawi: IEEE.
- Taylor, J. W. (2003). Short-Term Electricity Demand Forecasting Using Double Seasonal Exponential Smoothing. *Journal of the Operational Research Society*, 54, 799-805.
- Taylor, J. W., & Snyder, R. D. (2012). Forecasting Intraday Time Series with Multiple Seasonal Cycles Using Parsimonious Seasonal Exponential Smoothing. *Omega*, 40, 748-757.

Wahyuni, N. D. (2013). *PLN Istirahatkan Pembangkit 6.564 MW Saat Libur Lebaran*. Diunduh pada 22 Januari 2014 dari Liputan 6 : <https://bisnis.liputan6.com/read/663600/pln-istirahatkan-pembangkit-6564-mw-saat-libur-lebaran>.

Wei, W. S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods Second Edition*. New York: Pearson Addison Wesley.

Widyapratwi, L.K., Mertasana, I. P. A., & Arjana, I. G. D. (2012). Pramlan Beban Listrik Jangka Pendek di Bali Menggunakan Pendekatan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). *Performance of Mobile Learning*, 11, 50-55.

Yasmeen, F., & Sharif, M. (2014, April). Forecasting Electricity Consumption for Pakistan. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(4), 496-503.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A. Regresi Dummy dengan Program R

```
#data regresi yang digunakan disimpan pada drive D:  
data <- read.table("d:/dataregresidummy.txt", header=FALSE)
```

```
#meregresikan variabel dummy terhadap variabel respon
```

```
regdummy <- lm(y~t+Dj1+Dj2+Dj3+Dj4+Dj5+Dj6+Dj7+Dj8
```

```
+Dj9+Dj10+Dj11+Dj12+Dj13+Dj14+Dj15+Dj16+Dj17+Dj18
```

```
+Dj19+Dj20+Dj21+Dj22+Dj23+Dj24+Dj25+Dj26+Dj27+Dj28
```

```
+Dj29+Dj30+Dj31+Dj32+Dj33+Dj34+Dj35+Dj36+Dj37+Dj38
```

```
+Dj39+Dj40+Dj41+Dj42+Dj43+Dj44+Dj45+Dj46+Dj47
```

```
+Dh1+Dh2+Dh3+Dh4+Dh5+Dh6
```

```
+Daj1+Daj2+Daj3+Daj4+Daj5+Daj6+Daj7+Daj8+Daj9
```

```
+Daj10+Daj11+Daj12+Daj13+Daj14+Daj15+Daj16+Daj17
```

```
+Daj18+Daj19+Daj20+Daj21+Daj22+Daj23+Daj24+Daj25
```

```
+Daj26+Daj27+Daj28+Daj29+Daj30+Daj31+Daj32+Daj33
```

```
+Daj34+Daj35+Daj36+Daj37+Daj38+Daj39+Daj40+Daj41
```

```
+Daj42+Daj43+Daj44+Daj45+Daj46+Daj47+Daj48
```

```
+Dbj1+Dbj2+Dbj3+Dbj4+Dbj5+Dbj6+Dbj7+Dbj8+Dbj9
```

```
+Dbj10+Dbj11+Dbj12+Dbj13+Dbj14+Dbj15+Dbj16+Dbj17
```

```
+Dbj18+Dbj19+Dbj20+Dbj21+Dbj22+Dbj23+Dbj24+Dbj25
```

```
+Dbj26+Dbj27+Dbj28+Dbj29+Dbj30+Dbj31+Dbj32+Dbj33
```

```
+Dbj34+Dbj35+Dbj36+Dbj37+Dbj38+Dbj39+Dbj40+Dbj41
```

```
+Dbj42+Dbj43+Dbj44+Dbj45+Dbj46+Dbj47+Dbj48
```

```
+Dcj1+Dcj2+Dcj3+Dcj4+Dcj5+Dcj6+Dcj7+Dcj8+Dcj9
```

```
+Dcj10+Dcj11+Dcj12+Dcj13+Dcj14+Dcj15+Dcj16+Dcj17
```

```
+Dcj18+Dcj19+Dcj20+Dcj21+Dcj22+Dcj23+Dcj24+Dcj25
```

```
+Dcj26+Dcj27+Dcj28+Dcj29+Dcj30+Dcj31+Dcj32+Dcj33
```

```
+Dcj34+Dcj35+Dcj36+Dcj37+Dcj38+Dcj39+Dcj40+Dcj41
```

```
+Dcj42+Dcj43+Dcj44+Dcj45+Dcj46+Dcj47+Dcj48
```

```
+Ddj1+Ddj2+Ddj3+Ddj4+Ddj5+Ddj6+Ddj7+Ddj8+Ddj9
```

```
+Ddj10+Ddj11+Ddj12+Ddj13+Ddj14+Ddj15+Ddj16+Ddj17
```

```
+Ddj18+Ddj19+Ddj20+Ddj21+Ddj22+Ddj23+Ddj24+Ddj25
```

```
+Ddj26+Ddj27+Ddj28+Ddj29+Ddj30+Ddj31+Ddj32+Ddj33
```

```
+Ddj34+Ddj35+Ddj36+Ddj37+Ddj38+Ddj39+Ddj40+Ddj41
```

```
+Ddj42+Ddj43+Ddj44+Ddj45+Ddj46+Ddj47+Ddj48
```

```
+Dej1+Dej2+Dej3+Dej4+Dej5+Dej6+Dej7+Dej8+Dej9
```

```
+Dej10+Dej11+Dej12+Dej13+Dej14+Dej15+Dej16+Dej17
```

```
+Dej18+Dej19+Dej20+Dej21+Dej22+Dej23+Dej24+Dej25
```

```
+Dej26+Dej27+Dej28+Dej29+Dej30+Dej31+Dej32+Dej33
```

```
+Dej34+Dej35+Dej36+Dej37+Dej38+Dej39+Dej40+Dej41
```

```
+Dej42+Dej43+Dej44+Dej45+Dej46+Dej47+Dej48
```

```
+Dfj1+Dfj2+Dfj3+Dfj4+Dfj5+Dfj6+Dfj7+Dfj8+Dfj9
```

```
+Dfj10+Dfj11+Dfj12+Dfj13+Dfj14+Dfj15+Dfj16+Dfj17
```

```
+Dfj18+Dfj19+Dfj20+Dfj21+Dfj22+Dfj23+Dfj24+Dfj25
```

```
+Dfj26+Dfj27+Dfj28+Dfj29+Dfj30+Dfj31+Dfj32+Dfj33
```

```
+Dfj34+Dfj35+Dfj36+Dfj37+Dfj38+Dfj39+Dfj40+Dfj41
```

```
+Dfj42+Dfj43+Dfj44+Dfj45+Dfj46+Dfj47+Dfj48
```

```
+Dgj1+Dgj2+Dgj3+Dgj4+Dgj5+Dgj6+Dgj7+Dgj8+Dgj9
```

```
+Dgj10+Dgj11+Dgj12+Dgj13+Dgj14+Dgj15+Dgj16+Dgj17
```

```
+Dgj18+Dgj19+Dgj20+Dgj21+Dgj22+Dgj23+Dgj24+Dgj25
```

```
+Dgj26+Dgj27+Dgj28+Dgj29+Dgj30+Dgj31+Dgj32+Dgj33
```

```
+Dgj34+Dgj35+Dgj36+Dgj37+Dgj38+Dgj39+Dgj40+Dgj41
```

```
+Dgj42+Dgj43+Dgj44+Dgj45+Dgj46+Dgj47+Dgj48
```



```

+Dhj1+Dhj2+Dhj3+Dhj4+Dhj5+Dhj6+Dhj7+Dhj8+Dhj9
+Dhj10+Dhj11+Dhj12+Dhj13+Dhj14+Dhj15+Dhj16+Dhj17
+Dhj18+Dhj19+Dhj20+Dhj21+Dhj22+Dhj23+Dhj24+Dhj25
+Dhj26+Dhj27+Dhj28+Dhj29+Dhj30+Dhj31+Dhj32+Dhj33
+Dhj34+Dhj35+Dhj36+Dhj37+Dhj38+Dhj39+Dhj40+Dhj41
+Dhj42+Dhj43+Dhj44+Dhj45+Dhj46+Dhj47+Dhj48
+Dij1+Dij2+Dij3+Dij4+Dij5+Dij6+Dij7+Dij8+Dij9
+Dij10+Dij11+Dij12+Dij13+Dij14+Dij15+Dij16+Dij17
+Dij18+Dij19+Dij20+Dij21+Dij22+Dij23+Dij24+Dij25
+Dij26+Dij27+Dij28+Dij29+Dij30+Dij31+Dij32+Dij33
+Dij34+Dij35+Dij36+Dij37+Dij38+Dij39+Dij40+Dij41
+Dij42+Dij43+Dij44+Dij45+Dij46+Dij47+Dij48,
data=data)

```

```

#menampilkan hasil regresi
summary(regdummy)

```

Lampiran B. Output Regresi Dummy

Call:

```

lm(formula = y ~ t+Dj1+Dj2+Dj3+Dj4+Dj5+Dj6+Dj7+Dj8+Dj9+Dj10+Dj11
+Dj12+Dj13+Dj14+Dj15+Dj16+Dj17+Dj18+Dj19+Dj20+Dj21+Dj22+Dj23
+Dj24+Dj25+Dj26+Dj27+Dj28+Dj29+Dj30+Dj31+Dj32+Dj33+Dj34+Dj35
+Dj36+Dj37+Dj38+Dj39+Dj40+Dj41+Dj42+Dj43+Dj44+Dj45+Dj46+Dj47
+Dh1+Dh2+Dh3+Dh4+Dh5+Dh6+Daj1+Daj2+Daj3+Daj4+Daj5+Daj6+Daj7
+Daj8+Daj9+Daj10+Daj11+Daj12+Daj13+Daj14+Daj15+Daj16+Daj17
+Daj18+Daj19+Daj20+Daj21+Daj22+Daj23+Daj24+Daj25+Daj26+Daj27
+Daj28+Daj29+Daj30+Daj31+Daj32+Daj33+Daj34+Daj35+Daj36+Daj37
+Daj38+Daj39+Daj40+Daj41+Daj42+Daj43+Daj44+Daj45+Daj46+Daj47
+Daj48+Dbj1+Dbj2+Dbj3+Dbj4+Dbj5+Dbj6+Dbj7+Dbj8+Dbj9+Dbj10+Dbj11
+Dbj12+Dbj13+Dbj14+Dbj15+Dbj16+Dbj17+Dbj18+Dbj19+Dbj20+Dbj21
+Dbj22+Dbj23+Dbj24+Dbj25+Dbj26+Dbj27+Dbj28+Dbj29+Dbj30+Dbj31
+Dbj32+Dbj33+Dbj34+Dbj35+Dbj36+Dbj37+Dbj38+Dbj39+Dbj40+Dbj41
+Dbj42+Dbj43+Dbj44+Dbj45+Dbj46+Dbj47+Dbj48+Dcj1+Dcj2+Dcj3+Dcj4
+Dcj5+Dcj6+Dcj7+Dcj8+Dcj9+Dcj10+Dcj11+Dcj12+Dcj13+Dcj14+Dcj15
+Dcj16+Dcj17+Dcj18+Dcj19+Dcj20+Dcj21+Dcj22+Dcj23+Dcj24+Dcj25
+Dcj26+Dcj27+Dcj28+Dcj29+Dcj30+Dcj31+Dcj32+Dcj33+Dcj34+Dcj35
+Dcj36+Dcj37+Dcj38+Dcj39+Dcj40+Dcj41+Dcj42+Dcj43+Dcj44+Dcj45
+Dcj46+Dcj47+Dcj48+Ddj1+Ddj2+Ddj3+Ddj4+Ddj5+Ddj6+Ddj7+Ddj8+Ddj9
+Ddj10+Ddj11+Ddj12+Ddj13+Ddj14+Ddj15+Ddj16+Ddj17+Ddj18+Ddj19
+Ddj20+Ddj21+Ddj22+Ddj23+Ddj24+Ddj25+Ddj26+Ddj27+Ddj28+Ddj29
+Ddj30+Ddj31+Ddj32+Ddj33+Ddj34+Ddj35+Ddj36+Ddj37+Ddj38+Ddj39
+Ddj40+Ddj41+Ddj42+Ddj43+Ddj44+Ddj45+Ddj46+Ddj47+Ddj48+Dej1
+Dej2+Dej3+Dej4+Dej5+Dej6+Dej7+Dej8+Dej9+Dej10+Dej11+Dej12
+Dej13+Dej14+Dej15+Dej16+Dej17+Dej18+Dej19+Dej20+Dej21+Dej22
+Dej23+Dej24+Dej25+Dej26+Dej27+Dej28+Dej29+Dej30+Dej31+Dej32
+Dej33+Dej34+Dej35+Dej36+Dej37+Dej38+Dej39+Dej40+Dej41+Dej42
+Dej43+Dej44+Dej45+Dej46+Dej47+Dej48+Dfj1+Dfj2+Dfj3+Dfj4+Dfj5
+Dfj6+Dfj7+Dfj8+Dfj9+Dfj10+Dfj11+Dfj12+Dfj13+Dfj14+Dfj15+Dfj16
+Dfj17+Dfj18+Dfj19+Dfj20+Dfj21+Dfj22+Dfj23+Dfj24+Dfj25+Dfj26
+Dfj27+Dfj28+Dfj29+Dfj30+Dfj31+Dfj32+Dfj33+Dfj34+Dfj35+Dfj36
+Dfj37+Dfj38+Dfj39+Dfj40+Dfj41+Dfj42+Dfj43+Dfj44+Dfj45+Dfj46
+Dfj47+Dfj48+Dgj1+Dgj2+Dgj3+Dgj4+Dgj5+Dgj6+Dgj7+Dgj8+Dgj9+Dgj10
+Dgj11+Dgj12+Dgj13+Dgj14+Dgj15+Dgj16+Dgj17+Dgj18+Dgj19+Dgj20
+Dgj21+Dgj22+Dgj23+Dgj24+Dgj25+Dgj26+Dgj27+Dgj28+Dgj29+Dgj30
+Dgj31+Dgj32+Dgj33+Dgj34+Dgj35+Dgj36+Dgj37+Dgj38+Dgj39+Dgj40
+Dgj41+Dgj42+Dgj43+Dgj44+Dgj45+Dgj46+Dgj47+Dgj48+Dhj1+Dhj2

```



```

+Dhj3+Dhj4+Dhj5+Dhj6+Dhj7+Dhj8+Dhj9+Dhj10+Dhj11+Dhj12+Dhj13
+Dhj14+Dhj15+Dhj16+Dhj17+Dhj18+Dhj19+Dhj20+Dhj21+Dhj22+Dhj23
+Dhj24+Dhj25+Dhj26+Dhj27+Dhj28+Dhj29+Dhj30+Dhj31+Dhj32+Dhj33
+Dhj34+Dhj35+Dhj36+Dhj37+Dhj38+Dhj39+Dhj40+Dhj41+Dhj42+Dhj43
+Dhj44+Dhj45+Dhj46+Dhj47+Dhj48+Dij1+Dij2+Dij3+Dij4+Dij5+Dij6
+Dij7+Dij8+Dij9+Dij10+Dij11+Dij12+Dij13+Dij14+Dij15+Dij16
+Dij17+Dij18+Dij19+Dij20+Dij21+Dij22+Dij23+Dij24+Dij25+Dij26
+Dij27+Dij28+Dij29+Dij30+Dij31+Dij32+Dij33+Dij34+Dij35+Dij36
+Dij37+Dij38+Dij39+Dij40+Dij41+Dij42+Dij43+Dij44+Dij45+Dij46
+Dij47+Dij48,
data=data)

```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5685.8	-384.6	140.0	526.1	3031.3

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	1.043e+04	3.417e+01	305.258	< 2e-16	***
t	4.089e-02	4.428e-04	92.343	< 2e-16	***
Dj1	-1.530e+02	4.440e+01	-3.445	0.000572	***
Dj2	-2.820e+02	4.440e+01	-6.352	2.16e-10	***
Dj3	-4.160e+02	4.440e+01	-9.369	< 2e-16	***
Dj4	-5.168e+02	4.440e+01	-11.641	< 2e-16	***
Dj5	-6.043e+02	4.440e+01	-13.610	< 2e-16	***
Dj6	-6.161e+02	4.440e+01	-13.876	< 2e-16	***
Dj7	-5.693e+02	4.440e+01	-12.822	< 2e-16	***
Dj8	-3.497e+02	4.440e+01	-7.877	3.45e-15	***
Dj9	-1.179e+02	4.440e+01	-2.656	0.007913	**
Dj10	-1.782e+01	4.440e+01	-0.401	0.688160	
Dj11	-4.222e+02	4.440e+01	-9.509	< 2e-16	***
Dj12	-8.020e+02	4.440e+01	-18.064	< 2e-16	***
Dj13	-9.004e+02	4.440e+01	-20.281	< 2e-16	***
Dj14	-4.520e+02	4.440e+01	-10.180	< 2e-16	***
Dj15	-1.166e+01	4.440e+01	-0.263	0.792804	
Dj16	4.605e+02	4.440e+01	10.372	< 2e-16	***
Dj17	6.919e+02	4.440e+01	15.583	< 2e-16	***
Dj18	8.598e+02	4.440e+01	19.366	< 2e-16	***
Dj19	1.031e+03	4.440e+01	23.219	< 2e-16	***
Dj20	1.152e+03	4.440e+01	25.936	< 2e-16	***
Dj21	1.171e+03	4.440e+01	26.368	< 2e-16	***
Dj22	1.010e+03	4.440e+01	22.747	< 2e-16	***
Dj23	5.251e+02	4.440e+01	11.827	< 2e-16	***
Dj24	4.390e+02	4.440e+01	9.888	< 2e-16	***
Dj25	8.468e+02	4.440e+01	19.072	< 2e-16	***
Dj26	1.220e+03	4.440e+01	27.479	< 2e-16	***
Dj27	1.203e+03	4.440e+01	27.091	< 2e-16	***
Dj28	1.166e+03	4.440e+01	26.264	< 2e-16	***
Dj29	1.063e+03	4.440e+01	23.942	< 2e-16	***
Dj30	1.073e+03	4.440e+01	24.166	< 2e-16	***
Dj31	1.037e+03	4.440e+01	23.364	< 2e-16	***
Dj32	1.071e+03	4.440e+01	24.129	< 2e-16	***
Dj33	1.203e+03	4.440e+01	27.091	< 2e-16	***
Dj34	1.819e+03	4.440e+01	40.962	< 2e-16	***
Dj35	2.575e+03	4.440e+01	58.002	< 2e-16	***
Dj36	2.942e+03	4.440e+01	66.253	< 2e-16	***
Dj37	2.983e+03	4.440e+01	67.196	< 2e-16	***
Dj38	2.917e+03	4.440e+01	65.699	< 2e-16	***

Dj39	2.778e+03	4.440e+01	62.574	< 2e-16	***		
Dj40	2.604e+03	4.440e+01	58.650	< 2e-16	***		
Dj41	2.236e+03	4.440e+01	50.351	< 2e-16	***		
Dj42	1.756e+03	4.440e+01	39.543	< 2e-16	***		
Dj43	1.255e+03	4.440e+01	28.264	< 2e-16	***		
Dj44	1.181e+03	4.440e+01	26.589	< 2e-16	***		
Dj45	8.027e+02	4.440e+01	18.080	< 2e-16	***		
Dj46	5.303e+02	4.440e+01	11.944	< 2e-16	***		
Dj47	2.488e+02	4.440e+01	5.605	2.10e-08	***		
Dh1	1.345e+03	1.690e+01	79.577	< 2e-16	***		
Dh2	1.702e+03	1.680e+01	101.333	< 2e-16	***		
Dh3	1.758e+03	1.684e+01	104.391	< 2e-16	***		
Dh4	1.649e+03	1.684e+01	97.937	< 2e-16	***		
Dh5	1.603e+03	1.682e+01	95.292	< 2e-16	***		
Dh6	9.562e+02	1.690e+01	56.569	< 2e-16	***		
Daj1	-1.518e+02	5.936e+02	-0.256	0.798145			
Daj2	-1.142e+01	5.936e+02	-0.019	0.984658			
Daj3	-1.229e+02	5.936e+02	-0.207	0.835993			
Daj4	-3.599e+01	5.936e+02	-0.061	0.951662			
Daj5	7.586e+01	5.936e+02	0.128	0.898323			
Daj6	3.777e+02	5.936e+02	0.636	0.524600			
Daj7	5.880e+02	5.936e+02	0.991	0.321922			
Daj8	4.817e+02	5.936e+02	0.811	0.417163			
Daj9	4.058e+01	5.936e+02	0.068	0.945503			
Daj10	-5.613e+02	5.936e+02	-0.945	0.344428			
Daj11	-1.320e+03	5.936e+02	-2.224	0.026139	*		
Daj12	-1.900e+03	5.936e+02	-3.201	0.001372	**		
Daj13	-1.831e+03	5.936e+02	-3.084	0.002044	**		
Daj14	-1.745e+03	5.936e+02	-2.939	0.003292	**		
Daj15	-2.123e+03	5.936e+02	-3.576	0.000349	***		
Daj16	-2.401e+03	5.936e+02	-4.045	5.24e-05	***		
Daj17	-2.571e+03	5.936e+02	-4.331	1.49e-05	***		
Daj18	-2.706e+03	5.936e+02	-4.559	5.16e-06	***		
Daj19	-2.664e+03	5.936e+02	-4.487	7.24e-06	***		
Daj20	-2.690e+03	5.936e+02	-4.531	5.88e-06	***		
Daj21	-2.893e+03	5.936e+02	-4.873	1.11e-06	***		
Daj22	-2.814e+03	5.936e+02	-4.741	2.14e-06	***		
Daj23	-2.730e+03	5.936e+02	-4.598	4.28e-06	***		
Daj24	-2.385e+03	5.936e+02	-4.018	5.88e-05	***		
Daj25	-2.362e+03	5.936e+02	-3.978	6.95e-05	***		
Daj26	-2.564e+03	5.936e+02	-4.319	1.57e-05	***		
Daj27	-2.778e+03	5.936e+02	-4.679	2.89e-06	***		
Daj28	-2.810e+03	5.936e+02	-4.733	2.22e-06	***		
Daj29	-2.816e+03	5.936e+02	-4.743	2.12e-06	***		
Daj30	-2.693e+03	5.936e+02	-4.536	5.76e-06	***		
Daj31	-2.629e+03	5.936e+02	-4.429	9.48e-06	***		
Daj32	-2.360e+03	5.936e+02	-3.976	7.02e-05	***		
Daj33	-2.226e+03	5.936e+02	-3.750	0.000177	***		
Daj34	-2.225e+03	5.936e+02	-3.748	0.000179	***		
Daj35	-1.828e+03	5.936e+02	-3.079	0.002078	**		
Daj36	-1.539e+03	5.936e+02	-2.592	0.009534	**		
Daj37	-1.526e+03	5.936e+02	-2.571	0.010140	*		
Daj38	-1.622e+03	5.936e+02	-2.732	0.006301	**		
Daj39	-1.724e+03	5.936e+02	-2.904	0.003689	**		
Daj40	-1.533e+03	5.936e+02	-2.582	0.009834	**		
Daj41	-1.364e+03	5.936e+02	-2.298	0.021544	*		
Daj42	-1.049e+03	5.936e+02	-1.766	0.077367	.		
Daj43	-8.252e+02	5.936e+02	-1.390	0.164518			

Daj44	-7.945e+02	5.936e+02	-1.338	0.180821	
Daj45	-9.422e+02	5.936e+02	-1.587	0.112503	
Daj46	-8.954e+02	5.936e+02	-1.508	0.131483	
Daj47	-9.795e+02	5.936e+02	-1.650	0.098958	.
Daj48	-9.456e+02	5.936e+02	-1.593	0.111203	
Dbj1	-1.358e+03	5.936e+02	-2.288	0.022170	*
Dbj2	-1.454e+03	5.936e+02	-2.449	0.014314	*
Dbj3	-1.438e+03	5.936e+02	-2.422	0.015458	*
Dbj4	-1.300e+03	5.936e+02	-2.190	0.028523	*
Dbj5	-1.246e+03	5.936e+02	-2.099	0.035788	*
Dbj6	-9.389e+02	5.936e+02	-1.582	0.113739	
Dbj7	-6.481e+02	5.936e+02	-1.092	0.274932	
Dbj8	-6.225e+02	5.936e+02	-1.049	0.294367	
Dbj9	-1.047e+03	5.936e+02	-1.763	0.077913	.
Dbj10	-1.711e+03	5.936e+02	-2.882	0.003953	**
Dbj11	-2.584e+03	5.936e+02	-4.352	1.35e-05	***
Dbj12	-3.116e+03	5.936e+02	-5.249	1.54e-07	***
Dbj13	-3.195e+03	5.936e+02	-5.383	7.38e-08	***
Dbj14	-3.173e+03	5.936e+02	-5.344	9.14e-08	***
Dbj15	-3.504e+03	5.936e+02	-5.903	3.61e-09	***
Dbj16	-3.884e+03	5.936e+02	-6.542	6.13e-11	***
Dbj17	-4.062e+03	5.936e+02	-6.842	7.95e-12	***
Dbj18	-4.269e+03	5.936e+02	-7.190	6.59e-13	***
Dbj19	-4.261e+03	5.936e+02	-7.178	7.23e-13	***
Dbj20	-4.240e+03	5.936e+02	-7.142	9.40e-13	***
Dbj21	-4.332e+03	5.936e+02	-7.297	3.01e-13	***
Dbj22	-4.363e+03	5.936e+02	-7.350	2.03e-13	***
Dbj23	-4.241e+03	5.936e+02	-7.145	9.21e-13	***
Dbj24	-3.808e+03	5.936e+02	-6.414	1.44e-10	***
Dbj25	-3.716e+03	5.936e+02	-6.260	3.91e-10	***
Dbj26	-4.063e+03	5.936e+02	-6.845	7.80e-12	***
Dbj27	-4.430e+03	5.936e+02	-7.463	8.69e-14	***
Dbj28	-4.418e+03	5.936e+02	-7.442	1.02e-13	***
Dbj29	-4.402e+03	5.936e+02	-7.415	1.25e-13	***
Dbj30	-4.275e+03	5.936e+02	-7.202	6.07e-13	***
Dbj31	-4.090e+03	5.936e+02	-6.890	5.68e-12	***
Dbj32	-3.870e+03	5.936e+02	-6.518	7.21e-11	***
Dbj33	-3.760e+03	5.936e+02	-6.334	2.42e-10	***
Dbj34	-3.572e+03	5.936e+02	-6.017	1.79e-09	***
Dbj35	-3.164e+03	5.936e+02	-5.330	9.89e-08	***
Dbj36	-2.848e+03	5.936e+02	-4.798	1.61e-06	***
Dbj37	-2.953e+03	5.936e+02	-4.974	6.61e-07	***
Dbj38	-3.051e+03	5.936e+02	-5.139	2.77e-07	***
Dbj39	-3.062e+03	5.936e+02	-5.157	2.52e-07	***
Dbj40	-2.949e+03	5.936e+02	-4.967	6.82e-07	***
Dbj41	-2.836e+03	5.936e+02	-4.777	1.78e-06	***
Dbj42	-2.606e+03	5.936e+02	-4.389	1.14e-05	***
Dbj43	-2.445e+03	5.936e+02	-4.118	3.82e-05	***
Dbj44	-2.236e+03	5.936e+02	-3.766	0.000166	***
Dbj45	-2.307e+03	5.936e+02	-3.886	0.000102	***
Dbj46	-2.282e+03	5.936e+02	-3.843	0.000122	***
Dbj47	-2.335e+03	5.936e+02	-3.933	8.41e-05	***
Dbj48	-2.246e+03	5.936e+02	-3.783	0.000155	***
Dcj1	-1.974e+03	5.936e+02	-3.324	0.000887	***
Dcj2	-2.106e+03	5.936e+02	-3.547	0.000390	***
Dcj3	-2.095e+03	5.936e+02	-3.529	0.000417	***
Dcj4	-2.076e+03	5.936e+02	-3.497	0.000470	***
Dcj5	-1.957e+03	5.936e+02	-3.296	0.000980	***

Dcj6	-1.751e+03	5.936e+02	-2.949	0.003193	**
Dcj7	-1.537e+03	5.936e+02	-2.589	0.009617	**
Dcj8	-1.520e+03	5.936e+02	-2.561	0.010454	*
Dcj9	-1.765e+03	5.936e+02	-2.973	0.002955	**
Dcj10	-1.888e+03	5.936e+02	-3.180	0.001472	**
Dcj11	-2.620e+03	5.936e+02	-4.414	1.02e-05	***
Dcj12	-3.335e+03	5.936e+02	-5.618	1.94e-08	***
Dcj13	-3.696e+03	5.936e+02	-6.225	4.87e-10	***
Dcj14	-3.806e+03	5.936e+02	-6.411	1.47e-10	***
Dcj15	-4.270e+03	5.936e+02	-7.193	6.46e-13	***
Dcj16	-4.651e+03	5.936e+02	-7.835	4.84e-15	***
Dcj17	-5.039e+03	5.936e+02	-8.488	< 2e-16	***
Dcj18	-5.183e+03	5.936e+02	-8.730	< 2e-16	***
Dcj19	-5.231e+03	5.936e+02	-8.812	< 2e-16	***
Dcj20	-5.344e+03	5.936e+02	-9.002	< 2e-16	***
Dcj21	-5.421e+03	5.936e+02	-9.132	< 2e-16	***
Dcj22	-5.366e+03	5.936e+02	-9.039	< 2e-16	***
Dcj23	-5.220e+03	5.936e+02	-8.794	< 2e-16	***
Dcj24	-4.685e+03	5.936e+02	-7.892	3.06e-15	***
Dcj25	-4.569e+03	5.936e+02	-7.696	1.44e-14	***
Dcj26	-4.988e+03	5.936e+02	-8.402	< 2e-16	***
Dcj27	-5.295e+03	5.936e+02	-8.920	< 2e-16	***
Dcj28	-5.228e+03	5.936e+02	-8.807	< 2e-16	***
Dcj29	-5.235e+03	5.936e+02	-8.819	< 2e-16	***
Dcj30	-5.036e+03	5.936e+02	-8.483	< 2e-16	***
Dcj31	-4.974e+03	5.936e+02	-8.378	< 2e-16	***
Dcj32	-4.791e+03	5.936e+02	-8.071	7.21e-16	***
Dcj33	-4.675e+03	5.936e+02	-7.874	3.52e-15	***
Dcj34	-4.444e+03	5.936e+02	-7.485	7.30e-14	***
Dcj35	-3.918e+03	5.936e+02	-6.600	4.17e-11	***
Dcj36	-3.343e+03	5.936e+02	-5.631	1.81e-08	***
Dcj37	-3.453e+03	5.936e+02	-5.816	6.08e-09	***
Dcj38	-3.577e+03	5.936e+02	-6.025	1.71e-09	***
Dcj39	-3.581e+03	5.936e+02	-6.031	1.64e-09	***
Dcj40	-3.484e+03	5.936e+02	-5.869	4.41e-09	***
Dcj41	-3.480e+03	5.936e+02	-5.862	4.60e-09	***
Dcj42	-3.267e+03	5.936e+02	-5.504	3.75e-08	***
Dcj43	-3.068e+03	5.936e+02	-5.168	2.38e-07	***
Dcj44	-2.830e+03	5.936e+02	-4.767	1.88e-06	***
Dcj45	-2.989e+03	5.936e+02	-5.035	4.81e-07	***
Dcj46	-2.852e+03	5.936e+02	-4.804	1.56e-06	***
Dcj47	-2.851e+03	5.936e+02	-4.803	1.57e-06	***
Dcj48	-2.759e+03	5.936e+02	-4.647	3.38e-06	***
Ddj1	-3.434e+03	5.936e+02	-5.784	7.34e-09	***
Ddj2	-3.466e+03	5.936e+02	-5.839	5.29e-09	***
Ddj3	-3.433e+03	5.936e+02	-5.784	7.37e-09	***
Ddj4	-3.433e+03	5.936e+02	-5.782	7.44e-09	***
Ddj5	-3.370e+03	5.936e+02	-5.677	1.38e-08	***
Ddj6	-3.294e+03	5.936e+02	-5.549	2.89e-08	***
Ddj7	-3.256e+03	5.936e+02	-5.484	4.19e-08	***
Ddj8	-3.220e+03	5.936e+02	-5.424	5.87e-08	***
Ddj9	-3.165e+03	5.936e+02	-5.331	9.81e-08	***
Ddj10	-3.083e+03	5.936e+02	-5.193	2.08e-07	***
Ddj11	-3.663e+03	5.936e+02	-6.171	6.86e-10	***
Ddj12	-3.992e+03	5.936e+02	-6.725	1.79e-11	***
Ddj13	-4.427e+03	5.936e+02	-7.458	9.00e-14	***
Ddj14	-4.558e+03	5.936e+02	-7.678	1.66e-14	***
Ddj15	-5.073e+03	5.936e+02	-8.546	< 2e-16	***

Ddj16	-5.562e+03	5.936e+02	-9.370	< 2e-16	***
Ddj17	-6.064e+03	5.936e+02	-10.215	< 2e-16	***
Ddj18	-6.253e+03	5.936e+02	-10.533	< 2e-16	***
Ddj19	-6.496e+03	5.936e+02	-10.942	< 2e-16	***
Ddj20	-6.644e+03	5.936e+02	-11.192	< 2e-16	***
Ddj21	-6.714e+03	5.936e+02	-11.310	< 2e-16	***
Ddj22	-6.714e+03	5.936e+02	-11.310	< 2e-16	***
Ddj23	-6.480e+03	5.936e+02	-10.916	< 2e-16	***
Ddj24	-5.962e+03	5.936e+02	-10.043	< 2e-16	***
Ddj25	-5.795e+03	5.936e+02	-9.762	< 2e-16	***
Ddj26	-6.134e+03	5.936e+02	-10.333	< 2e-16	***
Ddj27	-6.485e+03	5.936e+02	-10.924	< 2e-16	***
Ddj28	-6.430e+03	5.936e+02	-10.832	< 2e-16	***
Ddj29	-6.421e+03	5.936e+02	-10.816	< 2e-16	***
Ddj30	-6.272e+03	5.936e+02	-10.564	< 2e-16	***
Ddj31	-6.151e+03	5.936e+02	-10.361	< 2e-16	***
Ddj32	-5.961e+03	5.936e+02	-10.042	< 2e-16	***
Ddj33	-5.837e+03	5.936e+02	-9.833	< 2e-16	***
Ddj34	-5.575e+03	5.936e+02	-9.390	< 2e-16	***
Ddj35	-5.110e+03	5.936e+02	-8.608	< 2e-16	***
Ddj36	-4.253e+03	5.936e+02	-7.163	8.03e-13	***
Ddj37	-4.503e+03	5.936e+02	-7.585	3.40e-14	***
Ddj38	-4.566e+03	5.936e+02	-7.692	1.49e-14	***
Ddj39	-4.566e+03	5.936e+02	-7.692	1.49e-14	***
Ddj40	-4.524e+03	5.936e+02	-7.621	2.58e-14	***
Ddj41	-4.422e+03	5.936e+02	-7.449	9.64e-14	***
Ddj42	-4.330e+03	5.936e+02	-7.294	3.07e-13	***
Ddj43	-4.165e+03	5.936e+02	-7.016	2.32e-12	***
Ddj44	-4.023e+03	5.936e+02	-6.777	1.25e-11	***
Ddj45	-4.200e+03	5.936e+02	-7.075	1.52e-12	***
Ddj46	-4.137e+03	5.936e+02	-6.970	3.24e-12	***
Ddj47	-4.086e+03	5.936e+02	-6.883	5.96e-12	***
Ddj48	-4.057e+03	5.936e+02	-6.833	8.43e-12	***
Dej1	-4.112e+03	5.936e+02	-6.927	4.37e-12	***
Dej2	-4.074e+03	5.936e+02	-6.863	6.85e-12	***
Dej3	-4.045e+03	5.936e+02	-6.814	9.63e-12	***
Dej4	-3.993e+03	5.936e+02	-6.726	1.77e-11	***
Dej5	-3.916e+03	5.936e+02	-6.597	4.27e-11	***
Dej6	-3.905e+03	5.936e+02	-6.577	4.86e-11	***
Dej7	-3.929e+03	5.936e+02	-6.619	3.67e-11	***
Dej8	-3.859e+03	5.936e+02	-6.501	8.10e-11	***
Dej9	-3.885e+03	5.936e+02	-6.544	6.08e-11	***
Dej10	-3.994e+03	5.936e+02	-6.727	1.76e-11	***
Dej11	-4.255e+03	5.936e+02	-7.167	7.81e-13	***
Dej12	-4.364e+03	5.936e+02	-7.352	2.00e-13	***
Dej13	-4.286e+03	5.936e+02	-7.219	5.34e-13	***
Dej14	-4.290e+03	5.936e+02	-7.226	5.07e-13	***
Dej15	-4.793e+03	5.936e+02	-8.073	7.05e-16	***
Dej16	-5.260e+03	5.936e+02	-8.860	< 2e-16	***
Dej17	-5.758e+03	5.936e+02	-9.700	< 2e-16	***
Dej18	-5.968e+03	5.936e+02	-10.053	< 2e-16	***
Dej19	-6.093e+03	5.936e+02	-10.264	< 2e-16	***
Dej20	-6.243e+03	5.936e+02	-10.516	< 2e-16	***
Dej21	-6.276e+03	5.936e+02	-10.571	< 2e-16	***
Dej22	-6.406e+03	5.936e+02	-10.790	< 2e-16	***
Dej23	-6.219e+03	5.936e+02	-10.475	< 2e-16	***
Dej24	-5.705e+03	5.936e+02	-9.610	< 2e-16	***
Dej25	-5.675e+03	5.936e+02	-9.559	< 2e-16	***

Dej26	-6.002e+03	5.936e+02	-10.111	< 2e-16	***
Dej27	-6.424e+03	5.936e+02	-10.821	< 2e-16	***
Dej28	-6.339e+03	5.936e+02	-10.678	< 2e-16	***
Dej29	-6.307e+03	5.936e+02	-10.625	< 2e-16	***
Dej30	-6.164e+03	5.936e+02	-10.384	< 2e-16	***
Dej31	-6.071e+03	5.936e+02	-10.227	< 2e-16	***
Dej32	-5.954e+03	5.936e+02	-10.029	< 2e-16	***
Dej33	-5.765e+03	5.936e+02	-9.712	< 2e-16	***
Dej34	-5.400e+03	5.936e+02	-9.097	< 2e-16	***
Dej35	-4.990e+03	5.936e+02	-8.406	< 2e-16	***
Dej36	-4.384e+03	5.936e+02	-7.385	1.55e-13	***
Dej37	-4.355e+03	5.936e+02	-7.336	2.24e-13	***
Dej38	-4.490e+03	5.936e+02	-7.564	4.02e-14	***
Dej39	-4.481e+03	5.936e+02	-7.549	4.51e-14	***
Dej40	-4.427e+03	5.936e+02	-7.456	9.09e-14	***
Dej41	-4.325e+03	5.936e+02	-7.285	3.28e-13	***
Dej42	-4.214e+03	5.936e+02	-7.098	1.29e-12	***
Dej43	-4.093e+03	5.936e+02	-6.895	5.49e-12	***
Dej44	-4.016e+03	5.936e+02	-6.765	1.36e-11	***
Dej45	-4.162e+03	5.936e+02	-7.011	2.41e-12	***
Dej46	-4.105e+03	5.936e+02	-6.914	4.78e-12	***
Dej47	-4.005e+03	5.936e+02	-6.747	1.53e-11	***
Dej48	-3.957e+03	5.936e+02	-6.666	2.66e-11	***
Dfj1	-3.942e+03	5.936e+02	-6.641	3.17e-11	***
Dfj2	-3.932e+03	5.936e+02	-6.623	3.57e-11	***
Dfj3	-3.931e+03	5.936e+02	-6.621	3.61e-11	***
Dfj4	-3.908e+03	5.936e+02	-6.584	4.66e-11	***
Dfj5	-3.883e+03	5.936e+02	-6.542	6.17e-11	***
Dfj6	-3.823e+03	5.936e+02	-6.440	1.21e-10	***
Dfj7	-3.775e+03	5.936e+02	-6.360	2.05e-10	***
Dfj8	-3.770e+03	5.936e+02	-6.350	2.18e-10	***
Dfj9	-3.771e+03	5.936e+02	-6.353	2.14e-10	***
Dfj10	-3.962e+03	5.936e+02	-6.673	2.54e-11	***
Dfj11	-4.223e+03	5.936e+02	-7.113	1.16e-12	***
Dfj12	-4.288e+03	5.936e+02	-7.223	5.19e-13	***
Dfj13	-4.173e+03	5.936e+02	-7.029	2.12e-12	***
Dfj14	-4.096e+03	5.936e+02	-6.899	5.32e-12	***
Dfj15	-4.539e+03	5.936e+02	-7.646	2.12e-14	***
Dfj16	-4.855e+03	5.936e+02	-8.178	2.97e-16	***
Dfj17	-5.208e+03	5.936e+02	-8.773	< 2e-16	***
Dfj18	-5.412e+03	5.936e+02	-9.116	< 2e-16	***
Dfj19	-5.521e+03	5.936e+02	-9.301	< 2e-16	***
Dfj20	-5.528e+03	5.936e+02	-9.312	< 2e-16	***
Dfj21	-5.562e+03	5.936e+02	-9.369	< 2e-16	***
Dfj22	-5.592e+03	5.936e+02	-9.419	< 2e-16	***
Dfj23	-5.476e+03	5.936e+02	-9.224	< 2e-16	***
Dfj24	-5.036e+03	5.936e+02	-8.483	< 2e-16	***
Dfj25	-4.964e+03	5.936e+02	-8.362	< 2e-16	***
Dfj26	-5.326e+03	5.936e+02	-8.972	< 2e-16	***
Dfj27	-5.704e+03	5.936e+02	-9.608	< 2e-16	***
Dfj28	-5.667e+03	5.936e+02	-9.545	< 2e-16	***
Dfj29	-5.648e+03	5.936e+02	-9.515	< 2e-16	***
Dfj30	-5.539e+03	5.936e+02	-9.331	< 2e-16	***
Dfj31	-5.457e+03	5.936e+02	-9.192	< 2e-16	***
Dfj32	-5.364e+03	5.936e+02	-9.036	< 2e-16	***
Dfj33	-5.225e+03	5.936e+02	-8.801	< 2e-16	***
Dfj34	-5.024e+03	5.936e+02	-8.463	< 2e-16	***
Dfj35	-4.367e+03	5.936e+02	-7.357	1.93e-13	***

Dfj36	-3.793e+03	5.936e+02	-6.390	1.68e-10	***
Dfj37	-3.917e+03	5.936e+02	-6.598	4.24e-11	***
Dfj38	-3.974e+03	5.936e+02	-6.694	2.21e-11	***
Dfj39	-3.898e+03	5.936e+02	-6.566	5.22e-11	***
Dfj40	-3.869e+03	5.936e+02	-6.517	7.26e-11	***
Dfj41	-3.892e+03	5.936e+02	-6.556	5.62e-11	***
Dfj42	-3.745e+03	5.936e+02	-6.308	2.86e-10	***
Dfj43	-3.718e+03	5.936e+02	-6.263	3.82e-10	***
Dfj44	-3.591e+03	5.936e+02	-6.050	1.47e-09	***
Dfj45	-3.830e+03	5.936e+02	-6.451	1.13e-10	***
Dfj46	-3.740e+03	5.936e+02	-6.300	3.00e-10	***
Dfj47	-3.696e+03	5.936e+02	-6.226	4.82e-10	***
Dfj48	-3.578e+03	5.936e+02	-6.028	1.68e-09	***
Dgj1	-3.155e+03	5.936e+02	-5.315	1.07e-07	***
Dgj2	-3.154e+03	5.936e+02	-5.313	1.09e-07	***
Dgj3	-3.201e+03	5.936e+02	-5.391	7.04e-08	***
Dgj4	-3.084e+03	5.936e+02	-5.194	2.07e-07	***
Dgj5	-3.151e+03	5.936e+02	-5.307	1.12e-07	***
Dgj6	-3.021e+03	5.936e+02	-5.090	3.61e-07	***
Dgj7	-3.083e+03	5.936e+02	-5.193	2.08e-07	***
Dgj8	-3.049e+03	5.936e+02	-5.137	2.81e-07	***
Dgj9	-3.107e+03	5.936e+02	-5.234	1.67e-07	***
Dgj10	-3.114e+03	5.936e+02	-5.245	1.57e-07	***
Dgj11	-3.425e+03	5.936e+02	-5.769	8.06e-09	***
Dgj12	-3.423e+03	5.936e+02	-5.766	8.21e-09	***
Dgj13	-3.173e+03	5.936e+02	-5.346	9.07e-08	***
Dgj14	-3.144e+03	5.936e+02	-5.295	1.20e-07	***
Dgj15	-3.455e+03	5.936e+02	-5.819	5.97e-09	***
Dgj16	-3.710e+03	5.936e+02	-6.249	4.17e-10	***
Dgj17	-3.912e+03	5.936e+02	-6.590	4.46e-11	***
Dgj18	-4.047e+03	5.936e+02	-6.816	9.49e-12	***
Dgj19	-4.120e+03	5.936e+02	-6.940	3.98e-12	***
Dgj20	-4.149e+03	5.936e+02	-6.988	2.83e-12	***
Dgj21	-4.220e+03	5.936e+02	-7.108	1.20e-12	***
Dgj22	-4.218e+03	5.936e+02	-7.105	1.22e-12	***
Dgj23	-4.102e+03	5.936e+02	-6.910	4.92e-12	***
Dgj24	-3.733e+03	5.936e+02	-6.289	3.23e-10	***
Dgj25	-3.593e+03	5.936e+02	-6.052	1.44e-09	***
Dgj26	-3.902e+03	5.936e+02	-6.573	4.99e-11	***
Dgj27	-4.199e+03	5.936e+02	-7.073	1.54e-12	***
Dgj28	-4.211e+03	5.936e+02	-7.094	1.33e-12	***
Dgj29	-4.236e+03	5.936e+02	-7.136	9.80e-13	***
Dgj30	-4.184e+03	5.936e+02	-7.048	1.85e-12	***
Dgj31	-4.142e+03	5.936e+02	-6.977	3.06e-12	***
Dgj32	-4.109e+03	5.936e+02	-6.922	4.54e-12	***
Dgj33	-3.961e+03	5.936e+02	-6.672	2.57e-11	***
Dgj34	-3.677e+03	5.936e+02	-6.194	5.93e-10	***
Dgj35	-3.159e+03	5.936e+02	-5.320	1.04e-07	***
Dgj36	-2.728e+03	5.936e+02	-4.596	4.33e-06	***
Dgj37	-2.936e+03	5.936e+02	-4.946	7.62e-07	***
Dgj38	-2.987e+03	5.936e+02	-5.032	4.87e-07	***
Dgj39	-2.965e+03	5.936e+02	-4.995	5.90e-07	***
Dgj40	-3.015e+03	5.936e+02	-5.078	3.83e-07	***
Dgj41	-2.927e+03	5.936e+02	-4.931	8.23e-07	***
Dgj42	-2.852e+03	5.936e+02	-4.804	1.56e-06	***
Dgj43	-2.871e+03	5.936e+02	-4.837	1.33e-06	***
Dgj44	-2.651e+03	5.936e+02	-4.465	8.04e-06	***
Dgj45	-2.828e+03	5.936e+02	-4.763	1.91e-06	***

Dgj46	-2.687e+03	5.936e+02	-4.525	6.05e-06	***
Dgj47	-2.711e+03	5.936e+02	-4.566	4.99e-06	***
Dgj48	-2.617e+03	5.936e+02	-4.409	1.04e-05	***
Dhj1	-2.127e+03	5.936e+02	-3.583	0.000340	***
Dhj2	-2.060e+03	5.936e+02	-3.470	0.000520	***
Dhj3	-2.086e+03	5.936e+02	-3.513	0.000443	***
Dhj4	-2.093e+03	5.936e+02	-3.525	0.000424	***
Dhj5	-2.067e+03	5.936e+02	-3.482	0.000499	***
Dhj6	-2.064e+03	5.936e+02	-3.476	0.000510	***
Dhj7	-2.083e+03	5.936e+02	-3.509	0.000450	***
Dhj8	-2.097e+03	5.936e+02	-3.533	0.000412	***
Dhj9	-2.024e+03	5.936e+02	-3.409	0.000653	***
Dhj10	-2.154e+03	5.936e+02	-3.628	0.000286	***
Dhj11	-2.464e+03	5.936e+02	-4.151	3.32e-05	***
Dhj12	-2.501e+03	5.936e+02	-4.213	2.52e-05	***
Dhj13	-2.434e+03	5.936e+02	-4.100	4.14e-05	***
Dhj14	-2.230e+03	5.936e+02	-3.757	0.000172	***
Dhj15	-2.465e+03	5.936e+02	-4.152	3.31e-05	***
Dhj16	-2.712e+03	5.936e+02	-4.568	4.95e-06	***
Dhj17	-3.007e+03	5.936e+02	-5.065	4.11e-07	***
Dhj18	-3.083e+03	5.936e+02	-5.194	2.08e-07	***
Dhj19	-3.071e+03	5.936e+02	-5.173	2.31e-07	***
Dhj20	-3.046e+03	5.936e+02	-5.131	2.89e-07	***
Dhj21	-3.171e+03	5.936e+02	-5.342	9.24e-08	***
Dhj22	-3.189e+03	5.936e+02	-5.372	7.83e-08	***
Dhj23	-2.963e+03	5.936e+02	-4.992	6.01e-07	***
Dhj24	-2.787e+03	5.936e+02	-4.694	2.69e-06	***
Dhj25	-2.679e+03	5.936e+02	-4.513	6.42e-06	***
Dhj26	-2.910e+03	5.936e+02	-4.902	9.55e-07	***
Dhj27	-3.268e+03	5.936e+02	-5.505	3.71e-08	***
Dhj28	-3.160e+03	5.936e+02	-5.324	1.02e-07	***
Dhj29	-3.119e+03	5.936e+02	-5.254	1.50e-07	***
Dhj30	-3.081e+03	5.936e+02	-5.190	2.11e-07	***
Dhj31	-3.041e+03	5.936e+02	-5.123	3.02e-07	***
Dhj32	-3.089e+03	5.936e+02	-5.203	1.97e-07	***
Dhj33	-2.875e+03	5.936e+02	-4.843	1.28e-06	***
Dhj34	-2.729e+03	5.936e+02	-4.597	4.31e-06	***
Dhj35	-2.276e+03	5.936e+02	-3.833	0.000127	***
Dhj36	-1.784e+03	5.936e+02	-3.005	0.002660	**
Dhj37	-1.862e+03	5.936e+02	-3.136	0.001715	**
Dhj38	-1.958e+03	5.936e+02	-3.297	0.000977	***
Dhj39	-1.996e+03	5.936e+02	-3.362	0.000774	***
Dhj40	-1.933e+03	5.936e+02	-3.256	0.001131	**
Dhj41	-2.058e+03	5.936e+02	-3.466	0.000529	***
Dhj42	-1.998e+03	5.936e+02	-3.366	0.000763	***
Dhj43	-1.896e+03	5.936e+02	-3.195	0.001402	**
Dhj44	-1.840e+03	5.936e+02	-3.099	0.001944	**
Dhj45	-1.916e+03	5.936e+02	-3.228	0.001247	**
Dhj46	-1.843e+03	5.936e+02	-3.104	0.001911	**
Dhj47	-1.777e+03	5.936e+02	-2.994	0.002758	**
Dhj48	-1.788e+03	5.936e+02	-3.012	0.002593	**
Dij1	-2.278e+03	5.936e+02	-3.837	0.000125	***
Dij2	-2.223e+03	5.936e+02	-3.744	0.000181	***
Dij3	-2.212e+03	5.936e+02	-3.726	0.000195	***
Dij4	-2.191e+03	5.936e+02	-3.691	0.000224	***
Dij5	-2.108e+03	5.936e+02	-3.551	0.000384	***
Dij6	-2.116e+03	5.936e+02	-3.565	0.000365	***
Dij7	-2.130e+03	5.936e+02	-3.589	0.000333	***

Dij8	-2.133e+03	5.936e+02	-3.593	0.000327	***
Dij9	-2.139e+03	5.936e+02	-3.604	0.000314	***
Dij10	-2.185e+03	5.936e+02	-3.681	0.000233	***
Dij11	-2.508e+03	5.936e+02	-4.225	2.39e-05	***
Dij12	-2.529e+03	5.936e+02	-4.260	2.05e-05	***
Dij13	-2.171e+03	5.936e+02	-3.657	0.000256	***
Dij14	-2.065e+03	5.936e+02	-3.479	0.000504	***
Dij15	-2.269e+03	5.936e+02	-3.822	0.000133	***
Dij16	-2.345e+03	5.936e+02	-3.950	7.84e-05	***
Dij17	-2.505e+03	5.936e+02	-4.219	2.45e-05	***
Dij18	-2.438e+03	5.936e+02	-4.107	4.01e-05	***
Dij19	-2.431e+03	5.936e+02	-4.096	4.22e-05	***
Dij20	-2.463e+03	5.936e+02	-4.149	3.35e-05	***
Dij21	-2.570e+03	5.936e+02	-4.329	1.50e-05	***
Dij22	-2.473e+03	5.936e+02	-4.165	3.12e-05	***
Dij23	-2.317e+03	5.936e+02	-3.903	9.52e-05	***
Dij24	-1.962e+03	5.936e+02	-3.305	0.000952	***
Dij25	-1.973e+03	5.936e+02	-3.324	0.000889	***
Dij26	-2.160e+03	5.936e+02	-3.638	0.000275	***
Dij27	-2.456e+03	5.936e+02	-4.138	3.52e-05	***
Dij28	-2.473e+03	5.936e+02	-4.165	3.12e-05	***
Dij29	-2.423e+03	5.936e+02	-4.082	4.48e-05	***
Dij30	-2.384e+03	5.936e+02	-4.017	5.92e-05	***
Dij31	-2.454e+03	5.936e+02	-4.134	3.58e-05	***
Dij32	-2.361e+03	5.936e+02	-3.977	7.00e-05	***
Dij33	-2.418e+03	5.936e+02	-4.073	4.66e-05	***
Dij34	-2.254e+03	5.936e+02	-3.798	0.000146	***
Dij35	-2.057e+03	5.936e+02	-3.465	0.000532	***
Dij36	-1.436e+03	5.936e+02	-2.420	0.015541	*
Dij37	-1.528e+03	5.936e+02	-2.574	0.010070	*
Dij38	-1.583e+03	5.936e+02	-2.667	0.007660	**
Dij39	-1.795e+03	5.936e+02	-3.023	0.002503	**
Dij40	-1.569e+03	5.936e+02	-2.642	0.008239	**
Dij41	-1.556e+03	5.936e+02	-2.622	0.008753	**
Dij42	-1.503e+03	5.936e+02	-2.533	0.011329	*
Dij43	-1.489e+03	5.936e+02	-2.508	0.012132	*
Dij44	-1.470e+03	5.936e+02	-2.476	0.013292	*
Dij45	-1.507e+03	5.936e+02	-2.539	0.011132	*
Dij46	-1.359e+03	5.936e+02	-2.289	0.022090	*
Dij47	-1.344e+03	5.936e+02	-2.264	0.023592	*
Dij48	-1.377e+03	5.936e+02	-2.320	0.020371	*

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 838.3 on 34601 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7358, Adjusted R-squared: 0.7321

F-statistic: 198.3 on 486 and 34601 DF, p-value: < 2.2e-16

Lampiran C. Syntax Program R dan Output Model TBATS dengan Periode Musiman 48, 336, dan 17099.76

```
#package yang digunakan
library(timeDate)
library(quadprog)
library(Rcpp)
library(zoo)
library(tseries)
library(forecast)

#data in-sample yang digunakan disimpan pada drive D:
data <- read.table("d://listrik2008-2009.txt", header=FALSE)

#pemodelan TBATS pada beban sistem listrik dengan memasukkan
transformasi Box-cox dan periode musiman 48, 336, 17099.76
fit1 <- tbats(data$V1, use.box.cox=TRUE,
              seasonal.periods=c(48,336,17099.76))

#menampilkan hasil pemodelan TBATS
fit1

TBATS(0, {3,4}, 0.997, {<48,6>, <336,6>, <17099.76,5>})
Call: tbats(y = data$V1, use.box.cox = TRUE, seasonal.periods =
c(48,
  336, 17099.76))
Parameters
  Lambda: 0
  Alpha: 0.01192429
  Beta: -2.972642e-05
  Damping Parameter: 0.997068
  Gamma-1 Values: 4.759827e-06 1.317472e-05 1.899621e-05
  Gamma-2 Values: 1.289718e-06 4.214929e-06 1.083231e-05
  AR coefficients: 0.930099 -0.127127 0.140825
  MA coefficients: 0.297405 0.064711 -0.215984 -0.080332
Seed States:
      [,1]
[1,] 9.262286487
[2,] 0.000359161
[3,] -0.019881147
[4,] -0.021038950
[5,] -0.018801543
[6,] -0.003347879
[7,] 0.018351828
[8,] -0.004184197
[9,] -0.093447846
[10,] -0.039331174
[11,] 0.020095428
[12,] 0.002265140
[13,] -0.013194235
[14,] 0.006970688
[15,] -0.003517824
[16,] 0.031541659
[17,] 0.010254487
```



```

[18,] -0.003095889
[19,] -0.014209156
[20,] -0.004728943
[21,]  0.055165889
[22,]  0.011976481
[23,] -0.015720944
[24,] -0.012525335
[25,] -0.001452422
[26,]  0.015421266
[27,] -0.005718758
[28,]  0.022959591
[29,]  0.016198815
[30,] -0.007666302
[31,] -0.015419757
[32,] -0.034655102
[33,] -0.014836673
[34,] -0.014118865
[35,] -0.009977041
[36,]  0.014499181
[37,]  0.000000000
[38,]  0.000000000
[39,]  0.000000000
[40,]  0.000000000
[41,]  0.000000000
[42,]  0.000000000
[43,]  0.000000000

```

```

Sigma: 0.01585614
AIC: 741451.2

```

```

#peramalan 1 tahun ke depan dari model TBATS
fc1 <- forecast(fit1, h=17520)

```

```

#menampilkan time series plot peramalan

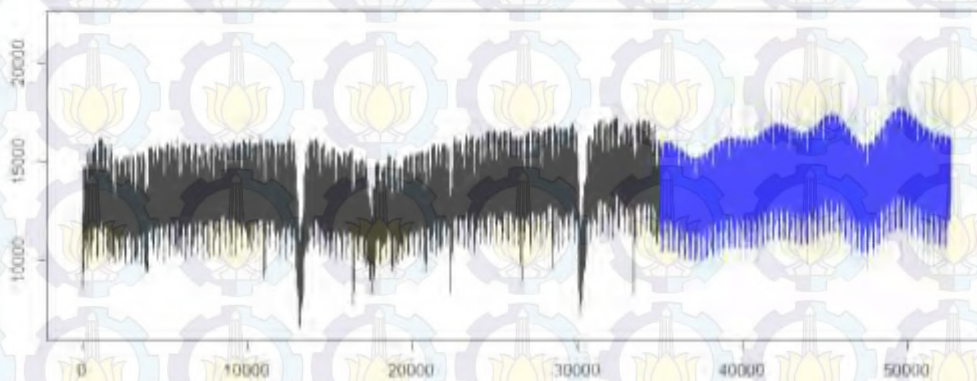
```

```

plot(fc1)

```

Forecasts from TBATS(0, {3,4}, 0.997, {<48,6>, <336,6>, <17099.76,5>})



```

#menyimpan hasil peramalan pada drive D:
write.table(fc1, "d:/forecast1.txt")

```

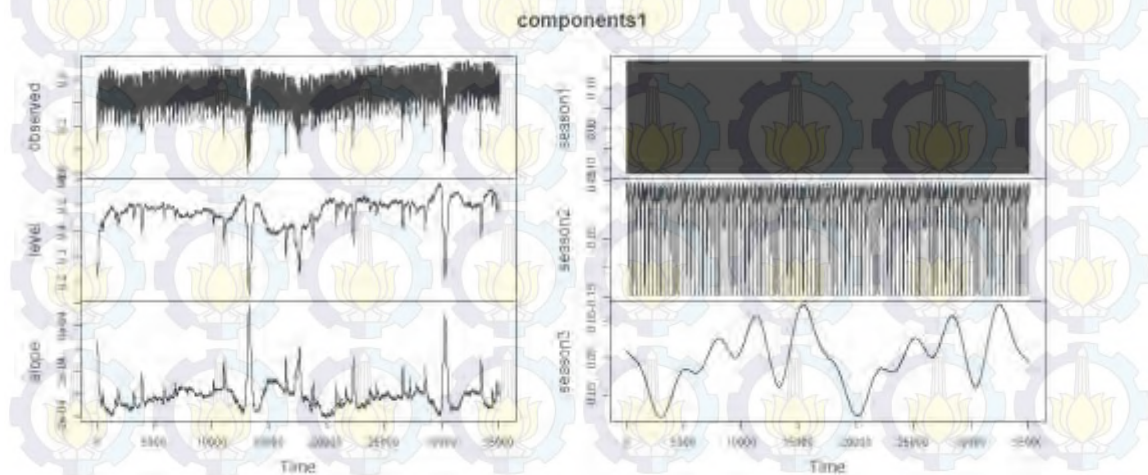
```

#menampilkan plot komponen TBATS
components1 <- tbats.components(fit1)

```



```
plot(components1)
```



```
#data out-sample yang digunakan disimpan pada drive D:
outsam <- read.table("d:/listrik2010.txt", header=FALSE)
```

```
#menampilkan kriteria kebaikan model out-sample
accuracy(fc1,outsam$V1)
```

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE
Training set	2.463522	205.4753	156.0287	-0.002481829	1.196648
Test set	980.955783	1387.5593	1197.7271	6.294637290	8.375331

	MASE
Training set	0.6248786
Test set	4.7967704

Lampiran D. Syntax Program R dan Output Model TBATS dengan Periode Musiman 48 dan 336

```
#package yang digunakan
library(timeDate)
library(quadprog)
library(Rcpp)
library(zoo)
library(tseries)
library(forecast)
```

```
#data in-sample yang digunakan disimpan pada drive D:
data <- read.table("d://listrik2008-2009.txt", header=FALSE)
```

```
#pemodelan TBATS pada beban sistem listrik dengan memasukkan
transformasi Box-cox dan periode musiman 48, 336
```

```
fit2 <- tbats(data$V1, use.box.cox=TRUE,
seasonal.periods=c(48,336))
```

```
#menampilkan hasil pemodelan TBATS
fit2
```


TBATS(0, {2,1}, 0.996, {<48,13>, <336,6>})

Call: tbats(y = data\$V1, use.box.cox = TRUE, seasonal.periods =
c(48,
336))

Parameters

Lambda: 0

Alpha: 0.01005618

Beta: -2.995776e-05

Damping Parameter: 0.996383

Gamma-1 Values: 2.418233e-06 8.412819e-07

Gamma-2 Values: -3.072365e-07 4.29205e-07

AR coefficients: 0.966232 -0.018623

MA coefficients: 0.065872

Seed States:

[,1]

[1,] 9.2748557103

[2,] 0.0003088077

[3,] -0.0198812728

[4,] -0.0210389875

[5,] -0.0188016134

[6,] -0.0033479323

[7,] 0.0183518751

[8,] -0.0041841743

[9,] -0.0011471157

[10,] -0.0060899259

[11,] 0.0033623936

[12,] -0.0029494823

[13,] 0.0023608793

[14,] -0.0016839813

[15,] 0.0009923525

[16,] -0.0934480273

[17,] -0.0393312208

[18,] 0.0200953185

[19,] 0.0022651291

[20,] -0.0131943006

[21,] 0.0069707197

[22,] 0.0062068741

[23,] -0.0041617189

[24,] -0.0068120043

[25,] 0.0050267937

[26,] 0.0023989637

[27,] -0.0001173972

[28,] -0.0011668765

[29,] -0.0035209293

[30,] 0.0315424031

[31,] 0.0102522736

[32,] -0.0030947243

[33,] -0.0142102763

[34,] -0.0047285850

[35,] 0.0551531718

[36,] 0.0119755968

[37,] -0.0157239552

[38,] -0.0125271034

[39,] -0.0014531390

[40,] 0.0154193691

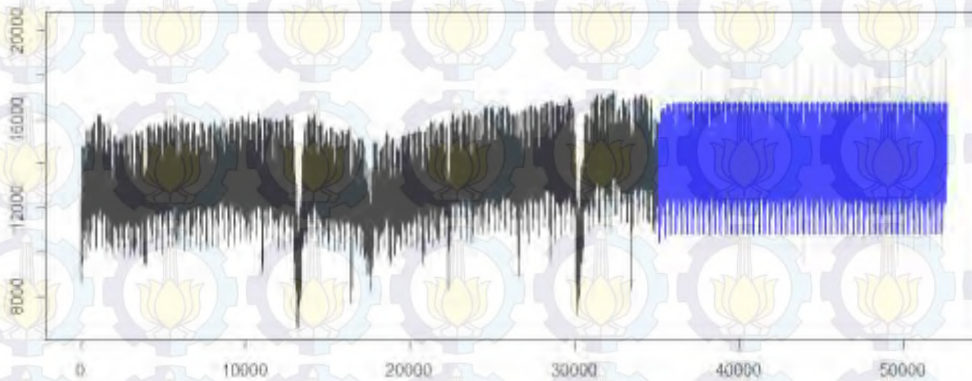

```
[41,] 0.0000000000
[42,] 0.0000000000
[43,] 0.0000000000
```

```
Sigma: 0.01334648
AIC: 729347.7
```

```
#peramalan 1 tahun ke depan dari model TBATS
fc2 <- forecast(fit2, h=17520)
```

```
#menampilkan time series plot peramalan
plot(fc2)
```

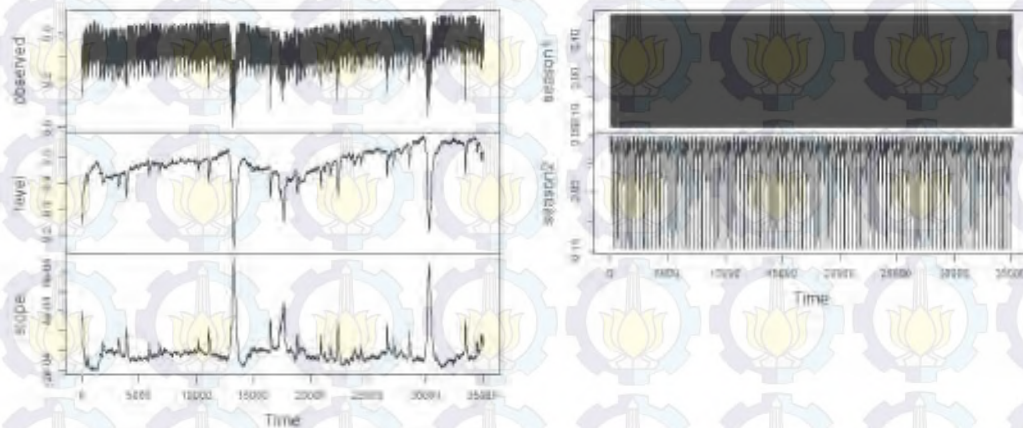
Forecasts from TBATS(0, {2,1}, 0.996, {<48,13>, <336,6>})



```
#menyimpan hasil peramalan pada drive D:
write.table(fc1, "d:/forecast1.txt")
```

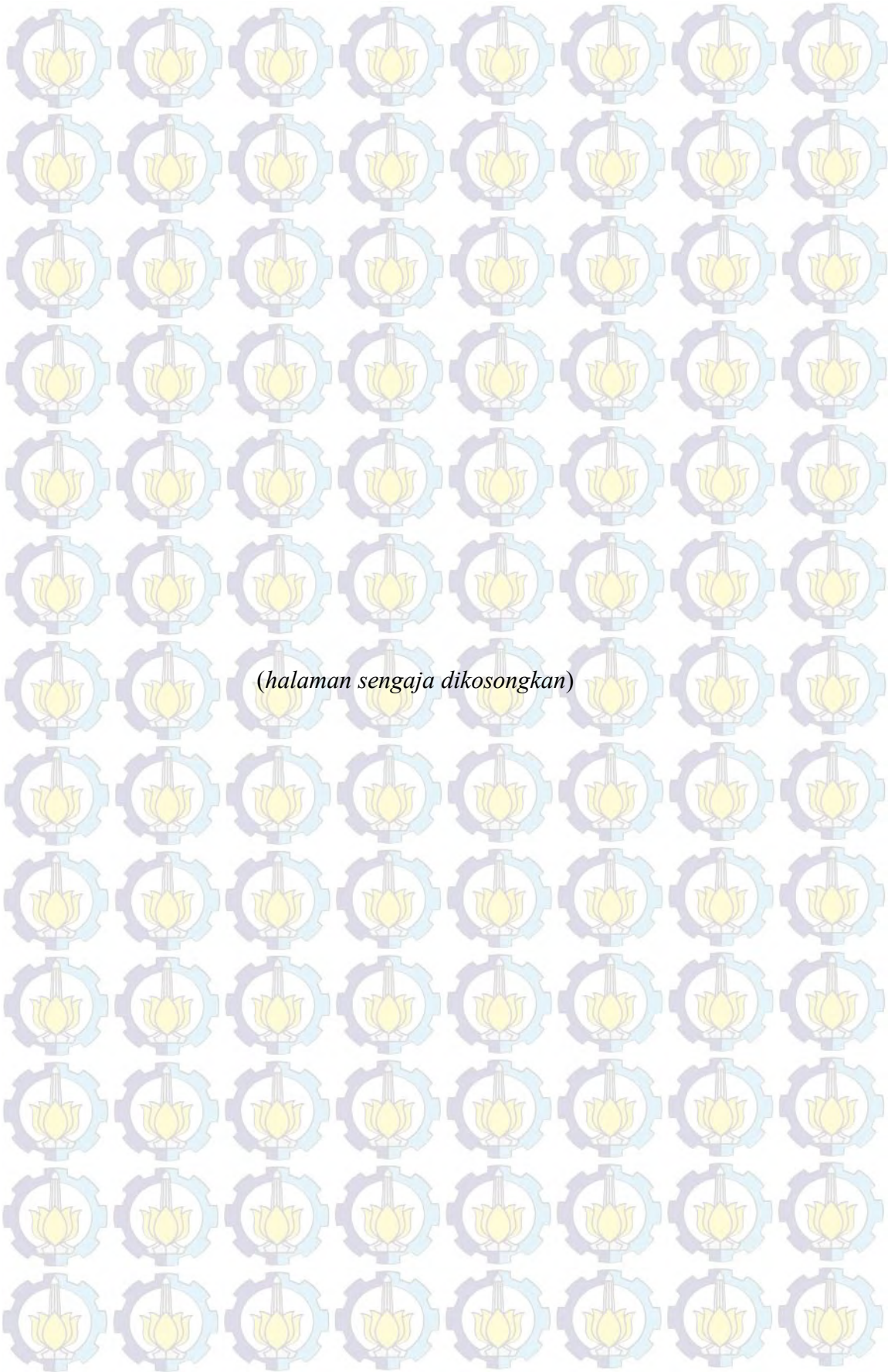
```
#menampilkan plot komponen TBATS
components2 <- tbats.components(fit2)
plot(components2)
```

components2



```
#data out-sample yang digunakan disimpan pada drive D:
outsam <- read.table("d:/listrik2010.txt", header=FALSE)
```


#menampilkan kriteria kebaikan model <i>out-sample</i>							
accuracy(fc2,outsam\$V1)							
	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE		
Training set	2.976732	171.9894	126.4377	0.003977779	0.9735367		
Test set	720.599856	1215.5077	1005.3120	4.421448117	7.0957661		
MASE							
Training set	0.5063697						
Test set	4.0261684						



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bojonegoro, 17 April 1991 dan merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri I Kapas, SMP Negeri 1 Bojonegoro, dan SMA Negeri 1 Bojonegoro, serta S1 di Jurusan Statistika ITS. Selanjutnya, penulis mengikuti penerimaan mahasiswa baru dengan jalur beasiswa *freshgraduate* di Program Pascasarjana Jurusan Statistika ITS dan diterima dengan NRP 1313 201 045. Selama masa studi perkuliahan, penulis sempat aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan kepanitiaan yang diselenggarakan jurusan dan institut. Banyak pelajaran dan pengalaman berharga yang penulis dapatkan selama menempuh studi di Jurusan Statistika ITS baik dari bapak ibu dosen maupun teman-teman seperjuangan. Hingga akhirnya, pada penelitian tesis ini penulis mengambil laboratorium komputasi dengan judul penelitian “Pemodelan Beban Sistem Listrik di Wilayah Jawa-Bali dengan Menggunakan Pendekatan *Flexible Seasonality Forecasting*”. Penulis berharap karya penulis berupa penelitian tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

fitriayukusumawati@gmail.com