

**PENERAPAN METODE ARIMA BERBASIS MINYAK ISOLASI
DALAM MEMPREDIKSI WAKTU PEMELIHARAAN
TRANSFORMATOR DAYA DI GI TUREN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**IRSAлина DINI HAJARANI
NIM. 115060300111038**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENERAPAN METODE ARIMA BERBASIS MINYAK ISOLASI DALAM
MEMPREDIKSI WAKTU PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR DAYA DI GI
TUREN**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**IRSALINA DINI HAJARANI
NIM. 115060300111038**

Skripsi ini telah direvisi dan dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 8 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Drs.Ir. Moch.Dhofir, M.T.
NIP. 19600701 199002 1 001

Ir. Hery Purnomo, M.T.
NIP. 19550708 198212 1 001



Mengetahui
Ketua Jurusan Program Studi

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

PENERAPAN METODE ARIMA BERBASIS MINYAK ISOLASI DALAM
MEMPREDIKSI WAKTU PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR DAYA DI GI
TUREN

Nama Mahasiswa : IRSALINA DINI HAJARANI

NIM : 115060300111038-63

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Komisi Pembimbing :

Ketua : Drs.Ir. Moch.Dhofir, M.T.

Anggota : Ir. Hery Purnomo, M.T.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Ir. Teguh Utomo, M.T.

Dosen Penguji 2 : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.

Dosen Penguji 3 : Ir. Soeprapto, M.T.

Tanggal Ujian : 8 Agustus 2017

SK Penguji : No.1024/UN10.F07/SK/2017

Handwritten signatures of the supervisory committee members and examiners, positioned to the right of the printed names. The signatures are written in black ink on a white background. There are four distinct signatures, each corresponding to one of the individuals listed in the text. The signatures are somewhat stylized and cursive.

RINGKASAN

Irsalina Dini Hajarani, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2017, *Penerapan Metode ARIMA Berbasis Minyak Isolasi Dalam Memprediksi Waktu Pemeliharaan Transformator Daya Di GI Turen*, Dosen Pembimbing: Moch Dhofir. dan Hery Purnomo

Gardu Induk Turen merupakan instalasi ovitnas (objek vital nasional) karena merupakan pemasok utama daya ke PT. PINDAD dan sebagai pemasok daya ke wilayah Malang Selatan. Gardu Induk Turen merupakan Gardu Induk sistem 70kV yang menerima pasokan utama dari Gardu Induk Kebonagung dan Interkoneksi dengan Gardu Induk Gampingan. Dalam hal ini kondisi kinerja transformator yang baik akan menjamin kontinuitas pemenuhan energi listrik. Kondisi transformator yang semakin tua dan beban yang ditopang semakin besar menyebabkan kenaikan suhu pada transformator yang dapat merusak transformator, sehingga perlu dilakukan perawatan sesering mungkin untuk mempertahankan fungsi dari transformator tersebut agar tidak terjadi gangguan yang dapat menyebabkan turunnya nilai keandalan sebuah transformator. Dengan mengetahui hasil pengujian minyak isolasi dapat diketahui jenis gangguan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu yang akan digunakan sebagai sampel data untuk dilakukannya pembahasan lebih lanjut mengenai kinerja transformator

Pada penelitian ini akan membahas tentang upaya pemeliharaan transformator utama pada unit 1 dengan pendekatan *planned maintenance*, berupa *predictive maintenance* berdasarkan data penggunaan transformator unit 1. Selanjutnya dilakukan pembahasan lebih lanjut tentang kinerja transformator dengan menggunakan metode ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*)

Hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu peramalan pembebanan transformator di GI Turen Malang cenderung mengalami peningkatan dari bulan Januari tahun 2017 hingga bulan Desember tahun 2018 dimana nilai peramalan pada bulan Desember tahun 2018 yaitu sebesar 683,21amp dengan nilai terendah sebesar 408,408amp dan nilai tertingginya mencapai angka 958,094amp dimana nilai batas maksimum untuk transformator ini adalah 600amp. Dan Peramalan nilai TDCG pada minyak isolasi diketahui cenderung mengalami peningkatan dari bulan Januari tahun 2017 hingga bulan Desember tahun 2018 dengan nilai peramalan sebesar 1797,01ppm, dimana nilai terendahnya sebesar 717,54ppm dan nilai tertingginya 3232,08 ppm. Menurut tabel IEEE Limits, nilai peramalan bulan Januari tahun 2017 sebesar 1797,01ppm atau berada pada tingkat 2, dimana pada tingkatan ini ada kemungkinan timbulnya kegagalan yang harus mulai diwaspadai.

Kata kunci: peramalan, ARIMA, pembebanan, minyak isolasi, objek vital nasional, transformator tua

SUMMARY

Irsalina Dini Hajarani, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, **ARIMA Method Implementation Based on Oil Isolation in Predicted Maintenance Time of Power Transformer in Turen Substation**, Supervising Lecturer: Moch. Dhofir. and Hery Purnomo

Substation Turen is an installation of ovitnas (national vital object) because it is the main supplier of power to PT. PINDAD and as a power supplier to South Malang region. Substation Turen is a substation of 70kV system which receives main supply from Kebonagung Substation and Interconnection with Gampingan Substation. A good transformer performance condition will ensure continuity of electrical energy fulfillment.

The transformer's condition that getting aged and the supported load is getting bigger causing a temperature rise on the transformer that can damage the transformer, so handling should be taken as often as possible to maintain the function of the transformer in order to avoid disturbance which may lead to a decrease in the reliability value of a transformer. By knowing the result of insulation oil testing can be know the type of disturbance that occurs within a certain period of time that will be used as simple data for further discussion on the performance of the transformer

This study discusses the main transformer maintenance effort in unit 1 with planned maintenance approach in the form of predictive maintenance based on the data of transformer unit 1 usage. Afterward, further discussion held about transformer performance using ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) method.

The results of the research that has been done is the forecasting of transformer load in GI Turen Malang tend to increase from January 2017 to December 2018 where the value of forecasting in December of 2018 is equal to 683.21amp with the lowest value of 408.408amp and the highest value reached 958,094 Amp where the maximum limit value for this transformer is 600amp. Value of TDCG forecasting in the insulation oil is known to increase from January 2017 to the December 2018 with a forecasting value of 1797.01ppm, where the lowest value of 717.54ppm and the highest value of 3232.08ppm. According to the IEEE Limits table, the value of TDCG forecasting in January 2017 is equal to 1797.01ppm or at level 2, where at this level the TDCG condition indicates the possibility of a failure that must begin to watch out for.

Keywords: Forecasting, ARIMA, Imposition, Oil Isolation, National Vital Object, Age of Transformer.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pemeliharaan Peralatan Listrik Tegangan Tinggi.....	5
2.2 Transformator.....	6
2.3 Minyak Isolasi.....	7
2.3.1 Fungsi Minyak Isolasi.....	7
2.3.2 Pengujian Minyak Isolasi.....	10
2.4 Metode Peramalan.....	12
2.5 Peramalan dengan <i>Time Series</i>	13
2.6 Pengklasifikasian Metode Peramalan	14
2.6.1 Model ARIMA.....	14
2.6.2 Fungsi Auto Korelasi	15
2.6.3 Fungsi Auto Korelasi Parsial	16
2.7 Kestasioneran Deret Waktu.....	17
2.8 Metode ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average).....	19
2.8.1 <i>Autoregressive Model</i> (AR).....	20
2.8.2 <i>Moving Average</i> (MA)	20
2.8.3 <i>Autoregressive Moving Average</i> (ARMA).....	21
2.8.4 <i>Autoregressive Integrated Moving Average</i> (ARIMA).....	21
2.8.5 ARIMA <i>Box-Jenkins</i>	21





2.9 Estimasi Parameter	23
2.10 Pengukuran Kesalahan.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Studi Literatur.....	26
3.2 Tempat Penelitian	27
3.3 Pengujian dan Analisis.....	29
3.4 Permodelan ARIMA	30
BAB IV PEMBAHASAN	32
4.1 Transformator Utama.....	32
4.2 Data Pembebanan	33
4.3 Peramalan Data Pembebanan.....	35
4.3.1 Identifikasi Pola	35
4.3.2 Pengujian Stasioner.....	36
4.3.2.1 Stasioneritas Terhadap Ragam	36
4.3.2.2 Stasioneritas Terhadap Rata-rata	37
4.3.3 Identifikasi Model ARIMA.....	38
4.3.4 Pengujian Kelayakan Model dalam ARIMA	40
4.3.5 Pemilihan Model Terbaik.....	41
4.3.6 Pengujian Hipotesis	41
4.3.7 Model Empirik ARIMA (1,0,3)	42
4.3.8 Peramalan.....	43
4.4 Data Pengujian Minyak	44
4.5 Peramalan Data TDCG	46
4.5.1 Identifikasi Pola Data.....	46
4.5.2 Pengujian Stasioneritas	47
4.5.2.1 Stasioneritas Terhadap Ragam	47
4.5.2.2 Stasioneritas Terhadap Rata-rata	48
4.5.3 Identifikasi Model ARIMA.....	49
4.5.4 Pengujian Kelayakan Model dalam ARIMA	50
4.5.5 Pemilihan Model Terbaik.....	51
4.5.6 Pengujian Hipotesis	51
4.5.7 Model Empirik ARIMA (1,0,1)	52
4.5.8 Peramalan.....	53

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 55

 5.1 Kesimpulan 55

 5.2 Saran..... 56

DAFTAR PUSTAKA..... 57

LAMPIRAN..... 59



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Batasan Pengusahaan Minyak isolasi Sesuai Metoda ASTM (<i>American Standard Test Method</i>)	9
Tabel 2.2	IEEE limits (kondisi level)	12
Tabel 2.3	Nilai λ dan bentuk transformasi yang berhubungan	18
Tabel 3.1	Nilai TDCG	28
Tabel 3.2	Nilai Pembebanan	29
Tabel 4.1	Data Pembebanan GI Turen Unit 1 perbulan dalam satuan <i>ampere</i>	33
Tabel 4.2	Rata-Rata Pembebanan	34
Tabel 4.3	Hasil pengujian kelayakan model	40
Tabel 4.4	Hasil pemilihan model terbaik berdasarkan nilai MS (<i>Mean Square</i>) ...	41
Tabel 4.5	Hasil hipotesis data pembebanan pada model ARIMA (1,0,3)	41
Tabel 4.6	Hasil peramalan pembebanan pada GI Turen selama 24 bulan	44
Tabel 4.7	Data TDCG (<i>Total Dissolved Combustible Gas</i>) dalam satuan ppm (<i>part per million</i>)	46
Tabel 4.8	Hasil pengujian kelayakan model	52
Tabel 4.9	Hasil pemilihan model terbaik berdasarkan nilai MS (<i>Mean Square</i>) ..	53
Tabel 4.10	Hasil hipotesis data nilai TDCG pada model ARIMA (1,0,1)	53
Tabel 4.11	Hasil peramalan TDCG yang terkandung pada minyak isolasi transformator unit 1 pada GI Turen selama 24 bulan.....	55



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Bagian-bagian dari Transformator	6
Gambar 2.2	Metodologi Peramalan Box-Jenkins	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Utama Penelitian.....	26
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan dan Pengolahan Data	30
Gambar 4.1	Transformator Utama Unit 1 di Gardu Induk Turen.....	32
Gambar 4.2	Grafik Trend Pembebanan Tahunan	34
Gambar 4.3	Plot grafik data pembebanan bulanan GI Turen tahun 2009-2016	35
Gambar 4.4	Grafik pengujian stasioneritas pada data pembebanan	36
Gambar 4.5	Hasil transformasi Box-Cox pertama.....	37
Gambar 4.6	Hasil transformasi Box-Cox	38
Gambar 4.7	Grafik ACF untuk menentukan nilai MA(p)	39
Gambar 4.8	Grafik PACF untuk menentukan nilai AR(q)	39
Gambar 4.9	Grafik hasil peramalan pembebanan pada GI Turen selama 24 bulan ...	45
Gambar 4.10	Plot grafik data TDCG di GI Turen tahun 2006-2016.....	47
Gambar 4.11	Grafik pengujian stasioneritas pada data TDCG	48
Gambar 4.12	Hasil transformasi Box-Cox	49
Gambar 4.13	Grafik hasil pengujian stasioner	50
Gambar 4.14	Grafik ACF untuk menentukan nilai MA(p)	50
Gambar 4.15	Grafik PACF untuk menentukan nilai AR(q)	51
Gambar 4.16	Grafik hasil peramalan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi transformator unit 1 pada GI Turen selama 24 periode	56



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data Beban Tertinggi Bulanan Trafo Daya GI Turen.....	61
Lampiran 2	Data TDCG	69
Lampiran 3	Identifikasi Pola Data Pembebanan.....	73
Lampiran 4	Pembentukan Model ARIMA Data Pembebanan	75
Lampiran 5	Perhitungan <i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i> Data Pembebanan	81
Lampiran 6.	Identifikasi Pola Data TDCG	82
Lampiran 7	Pembentukan Model ARIMA Data TDCG	83
Lampiran 8	Perhitungan <i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i> Data TDCG.....	90



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Penerapan Metode ARIMA Berbasis Minyak Isolasi Dalam Memprediksi Waktu Pemeliharaan Transformator Daya Di Gi Turen” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung sebagai berikut:

1. Bapak M. Aziz muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs.Ir. Moch. Dhofir, M.T. dan Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Gaguk Asmungi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu penulis selama perkuliahan.
5. Bapak Kushendarto selaku Junior Engineer Jaringan dan Gardu Induk Turen. Terima kasih atas ilmu dan pengetahuan yang telah di berikan.
6. Wali yang saya hormati, Pakde Putut Sudjarmiko, Bude Diana Ina W.H, Mbak Ajeng, Mbak Anisa, Mas Dimas. Terima kasih atas doa, dukungan, pikiran, semangat dan segalanya yang telah diberikan dengan tulus dan ikhlas.
7. Keluarga tercinta, Bapak Toni, Ibu Qori’ana dan Adik Sabiqah Ahimsha F. Terima kasih atas kebersamaan, doa, dukungan, dan semangat yang telah diberikan dengan tulus dan ikhlas.
8. Bpk Hari Murwantoro, Dian Kartika F.H., Stefani, Hendra Dwi R. dan Aisyah Nofvitri yang telah turut andil memberikan waktu, pikiran, semangat, dan mendukung dalam pengerjaan skripsi.
9. Keluarga besar Inverter 2011, Power 2011, dan Radar Icon yang telah menjadi keluarga selama perkuliahan.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan baik dari semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2017

Penulis



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 18 Agustus 2017

Mahasiswa,



Irsalina Dini Hajarani

NIM. 115060300111038

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu Induk Turen merupakan Gardu Induk sistem 70kV yang menerima pasokan utama dari Gardu Induk Kebonagung dan Interkoneksi dengan Gardu Induk Gampingan. Gardu Induk Turen merupakan instalasi ovitnas (objek vital nasional) karena merupakan pemasok utama daya ke PT. PINDAD dan sebagai pemasok daya ke wilayah Malang Selatan. Pada awal pembangunannya Gardu Induk Turen diperuntukkan sebagai penyedia daya bagi PT. PINDAD. PT. PINDAD merupakan sebuah usaha milik negara (BUMN) sesuai dengan keputusan pemerintah yang tertuang dalam peraturan pemerintah (PP) RI No. 4 Tahun 1983 pada tanggal 11 Februari 1983. Perusahaan ini merupakan perusahaan industri dan manufaktur yang bergerak dalam pembuatan produk militer khususnya dalam pembuatan amunisi dan komersial di Indonesia (www.bumn.go.id/pindad). Namun dalam perkembangannya Gardu Induk Turen bukan hanya dikhususkan untuk menyediakan daya bagi PT. PINDAD saja akan tetapi juga diperuntukkan bagi masyarakat yang bermukim di sekitar Turen. Mengingat pentingnya pasokan daya ke perusahaan industri persenjataan tersebut maka kontinuitas pemeliharaan transformator pada Gardu Induk Turen harus dilaksanakan agar tidak mengganggu proses produksi amunisi yang dilakukan. Dalam hal ini kondisi kinerja transformator yang baik akan menjamin kontinuitas pemenuhan energi listrik. Namun dengan kondisi transformator yang semakin tua dan beban yang ditopang semakin besar sehingga akan menyebabkan kenaikan suhu pada transformator yang dapat merusak transformator, maka perlu dilakukan perawatan sesering mungkin dalam upaya untuk mempertahankan fungsi dari transformator tersebut agar tidak terjadi gangguan pada transformator. Gangguan yang terjadi pada transformator dapat menyebabkan turunnya nilai keandalan suatu transformator. Selain pembebanan dan temperatur yang tinggi ada beberapa faktor lain yang dapat membahayakan transformator yaitu viskositas, titik nyala, kandungan air, warna, faktor daya, dan tahanan isolasi pada minyak isolasi. Dengan mengetahui hasil minyak isolasi dapat diketahui jenis-jenis gangguan, jenis-jenis gangguan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu akan digunakan sebagai sampel data untuk dilakukannya pembahasan lebih lanjut mengenai kinerja transformator dengan menggunakan metode ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*).

Tanaga listrik sekala besar tidak dapat disimpan tetapi harus dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan beban atau konsumen. Oleh karena itu penggunaan beban system tenaga listrik merupakan salah satu masalah operasional yang sangat penting agar fasilitas system daya dan sumber tenaga dapat dimanfaatkan secara optimal. Dengan penggunaan beban yang baik maka, kualitas dan kuantitas tenaga listrik yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan para konsumen dengan biaya operasional yang minimum. Dari adanya penggunaan beban tersebut maka dapat dilakukan peramalan penggunaan usia transformator.

Untuk peningkatan kinerja dari transformator dibutuhkan pemeliharaan pada transformator. Pemeliharaan tranformator merupakan suatu cara untuk mempertahankan penyaluran tenaga listrik agar tidak terganggu, disamping itu pemeliharaan transformator dan assesorisnya sendiri bertujuan untuk mempertahankan kemampuan dan mengurangi susut umur transformator tersebut. Agar fasilitas sistem daya dan sumber tenaga dapat dimanfaatkan secara optimal. Dengan pemeliharaan transformator yang baik maka, kualitas dan kuantitas tenaga listrik yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan para konsumen dengan biaya operasional yang minimum. Serta dapat pula diketahui kondisi transformator setiap saat dan kerusakan yang akan memakan biaya besar dapat dihindari.

Terdapat dua pendekatan dalam pemeliharaan transformator yaitu *Planned maintenance* dan *Unplanned Maintenance*. *Planned maintenance* sendiri terbagi menjadi dua hal yaitu *Preventive maintenance* dan *Predictive maintenance*. *Preventive maintenance* adalah suatu sistem pemeliharaan yang terjadwal dari suatu peralatan atau komponen yang didesain untuk peningkatan keandalan suatu mesin serta untuk mengatisipasi segala kegiatan pemeliharaan yang tidak direncanakan sebelumnya. Sedangkan *Predictive maintenance* adalah pemeliharaan dini sebelum terjadi kerusakan (perubahan / kelainan) dalam kondisi fisik maupun fungsi sistem suatu peralatan.

Sebagai upaya untuk mencegah adanya gangguan dan kesalahan kerja pada transformator tersebut maka perlu adanya perawatan yang tepat. Sehingga kinerja transformator tidak terganggu. Dan pada penelitian ini akan membahas tentang upaya pemeliharaan transformator utama pada unit 1 dengan pendekatan *planned maintenance*, berupa *predictive maintenance* berdasarkan data penggunaan transformator unit 1 dan melakukan pembahasan lebih lanjut tentang kinerja transformator dengan menggunakan metode ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*).

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas maka rumusan masalah yang akan disusun adalah:

1. Bagaimana pola pemakaian minyak isolasi Unit 1 di Gardu Induk Turen berdasarkan nilai TDCG dan nilai pembebanan.
2. Bagaimana penerapan Metode ARIMA dalam penentuan peramalan nilai TDCG dan nilai pembebanan
3. Kapan waktu yang tepat untuk dilakukannya pemeliharaan Transformator Unit 1 di Gardu Induk Turen

1.3 Batasan Masalah

Penyusunan penelitian ini dibatasi dengan hal-hal sebagai berikut:

1. Objek transformator yang diteliti adalah transformator utama unit 1 di Gardu Induk Turen. Merek ALSTHOM SAVOISIENNE Type H 65900-01 Tahun 1977. Dengan rating tegangan 70kV dan daya 30MVA.
2. Data pembebanan yang digunakan adalah berupa data data beban bulanan selama kurun waktu 8 tahun terakhir.
3. Data yang digunakan untuk penentuan waktu perawatan transformator adalah hasil pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*), berupa gas-gas yang terkandung dalam *main tank* transformator yang dihitung dengan menggunakan metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*).

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola pemakaian transformator unit 1 di Gardu Induk Turen berdasarkan nilai TDCG dan nilai pembebanan, penerapan Metode ARIMA dalam penentuan peramalan nilai TDCG dan nilai pembebanan. Serta menentukan waktu yang tepat kapan dilakukannya pemeliharaan transformator unit 1 di Gardu Induk Turen.

1.5 Manfaat

Bagi penulis manfaat yang diperoleh adalah penulis mendapatkan pengetahuan tentang kondisi kerusakan secara dini dari transformator sehingga dapat menentukan waktu pemeliharaan bagi transformator dan menyelesaikan syarat kelulusan berupa skripsi. Sedangkan bagi PLN mampu mengetahui kapan waktu yang tepat untuk melakukan pemeliharaan dan dapat mengantisipasi adanya kerusakan pada transformator di Gardu

Induk Turen. Karena apabila pemeliharaan yang dilakukan kurang baik, dampak yang akan terjadi berupa kerusakan transformator dan akan sangat rentan terjadi kecelakaan kerja bagi pekerjanya. Maka perlu adanya peramalan kondisi kerusakan pada transformator ini, karena hal ini akan sangat membahayakan dan secara tidak langsung akan berdampak kepada kontinuitas system yang ada saat ini sehingga PLN bisa melakukan penanganan lebih dini terhadap transformator tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi dengan judul “Penerapan Metode ARIMA Berbasis Minyak Isolasi dalam Memprediksi Waktu Pemeliharaan Transformator Daya di GI Turen” adalah sebagai berikut:

BAB I :Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II :Membahas tentang dasar teori yang digunakan sebagai landasan teori dalam penelitian yang dilakukan

BAB III :Membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini seperti, studi literatur, obyek penelitian, variabel penelitian, pengumpulan data, dan analisis.

BAB IV :Membahas tentang perhitungan, pengolahan data, pemodelan sistem, dan analisis terhadap masalah yang diajukan dalam penelitian dengan memperhatikan data hasil analisis yang diperoleh.

BAB V :Membahas tentang kesimpulan dan saran sehingga penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dan diaplikasikan dalam kehidupan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemeliharaan Peralatan Listrik Tegangan Tinggi

Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah serangkaian tindakan atau proses kegiatan untuk mempertahankan kondisi dan meyakinkan bahwa peralatan dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang menyebabkan kerusakan. PT. PLN P3B (2003,p.2)

Tujuan dari pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi antara lain:

1. Untuk meningkatkan *reliability* dan *efficiency*
2. Untuk memperpanjang umur peralatan
3. Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan
4. Meningkatkan keamanan pada peralatan
5. Mengurangi lama waktu padam akibat sering terjadinya gangguan

Jenis-jenis pemeliharaan adalah sebagai berikut: (Corder,Anthony,1988,p.4)

1. *Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)*

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dengan cara pemantauan dan pengukuran data yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi umur peralatan dan kelangsungan operasi peralatan tersebut.

Sistem ini berbasis pada kondisi dan cara pengawasan yang dilakukan secara *online* baik saat alat tersebut beroperasi maupun saat alat tersebut tidak beroperasi (Surat Edaran Direksi No 038E/012/DIR/1998, 28 Oktober 1998)

2. *Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)*

Kegiatan ini dilakukan untuk mencegah adanya kerusakan alat secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan kerja peralatan yang optimal sesuai dengan umur teknisnya. Kegiatan ini dilakukan dengan berpedoman pada: Instruksi manual dari pabrik, standar-standar (IEC, CIGRE, ASTM) serta pengalaman operasi di lapangan.

3. *Corrective Maintenance*

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika Gardu Induk atau Transmisi mengalami kelainan atau untuk kerja rendah ketika menjalankan fungsinya yang bertujuan untuk mengembalikannya pada kondisi yang semula dan disertai dengan perbaikan dan

penyempurnaan instalasi. Kegiatan pemeliharaannya berupa penggantian bagian yang rusak atau kurang berfungsi dan dilaksanakan secara terencana.

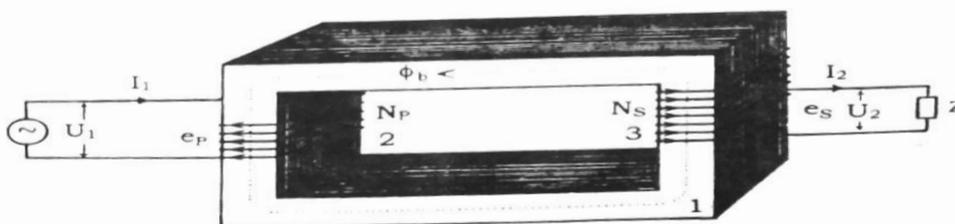
4. Breakdown Maintenance

Kegiatan pemeliharaan ini dilaksanakan setelah terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak tentu dan bersifat darurat

2.2 Transformator

Transformator merupakan sebuah peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya (Sumanto, 1996,p.1). Transformator merupakan bagian penting dari sistem transmisi dan distribusi. Pada kondisi ini transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal. Karena itu transformator dituntut untuk dapat bekerja sebaik mungkin, sehingga diperlukan adanya pemeliharaan yang juga dituntut sebaik mungkin dan transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik, dan tepat.

Transformator akan mentransformasikan daya atau besaran listrik lainnya dengan menggunakan teori induktansi atau kapasitansi ratio transformator yang dapat dilihat dengan perbandingan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Bagian-bagian dari Transformator

Sumber: Sumanto, (1996, p.1)

$$\frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} = a$$

Keterangan:

- 1 = Inti
- 2 = Gulungan Primer yang dihubungkan dengan sumber listrik
- 3 = Gulungan Sekunder yang dihubungkan dengan beban
- N_p = Jumlah belitan kumparan primer
- N_s = Jumlah belitan kumparan sekunder

U_1 = Tegangan sumber

U_2 = Tegangan beban

a = Nilai perbandingan lilitan Transformator

I_1 = Arus yang ada pada sisi primer

I_2 = Arus yang ada pada sisi beban

e_p = GGL induksi pada kumparan primer

e_s = GGL induksi pada kumparan sekunder

Φ_b = Fluksi Magnetik

Z = Beban

Jika, $N_2 > N_1$ atau $K > 1$ maka fungsi dari transformator adalah sebagai penaik tegangan atau bisa disebut dengan *Step up Transformation*, sedangkan ketika $N_2 < N_1$ atau $K < 1$ maka fungsi dari transformator adalah sebagai penurun tegangan atau biasa disebut dengan *Step down Transformation*.

Idealnya suatu transformator memiliki daya masukan yang sama dengan daya keluarannya.

Dalam persamaan:

$$VA_{in} = VA_{out}$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \text{ atau } \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{a} \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

2.3 Minyak Isolasi

Minyak isolasi merupakan minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Dalam pemakaiannya akan timbul hidrokarbonasi yang disebabkan karena pengaruh panas dan rugi-rugi pada transformator. Selain berasal dari minyak mineral, minyak isolasi dapat pula dibuat dari minyak organik, misalnya: minyak isolasi Piranol dan Silikon. Sebagai bahan isolasi, maka minyak isolasi harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi.

2.3.1 Fungsi Minyak Isolasi

Fungsi dari minyak isolasi itu sendiri adalah: (Diah, W, 2011, p.12)

1. Insulator

Untuk mengisolasi kumparan pada transformator supaya tidak terjadi loncatan bunga api listrik (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi.

2. Pendingin

Untuk mengambil panas ketika transformator berbeban kemudian melepaskannya.

3. Melindungi

Untuk melindungi komponen-komponen di dalam transformator terhadap korosi dan oksidasi.

Oleh sebab itu minyak isolasi harus memenuhi beberapa persyaratan berikut:

1. Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak transformator harus *Class* 1 dan 2 yaitu untuk minyak baru dan belum di Filter > 30kV/2,5 mm dan setelah di filter yaitu >50kV/2,5 mm.
2. Kejernihan penampilan minyak harus memiliki warna yang jernih dan bersih. Selama dioperasikan minyak isolator akan melarutkan endapan, semakin banyak endapan yang terlarut maka warna minyak akan semakin gelap.
3. Penyalur panas yang baik, karena memiliki berat jenis yang kecil sehingga dapat membuat partikel-partikel yang ada pada minyak dapat mengendap dengan cepat.
4. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendingin akan menjadi baik. Pada IEC 296 Viskositas minyak *class* 1 ketika suhu 40°C adalah <16,5 cSt.
5. Masa jenis, yaitu merupakan perbandingan massa suatu volume cairan dengan air pada volume dan temperatur yang sama. Massa jenis transformator harus lebih rendah dari pada masa jenis air.
6. Titik nyala tinggi, membuatnya tidak mudah menguap karena jika mudah meluap hal tersebut dapat membahayakan. Menurut IEC 296 *Flash Point* minyak isolasi berada di atas suhu 168°C dan *Pour Point* minyak isolasi berada di bawah -30°C.
7. Kemampatan oksidasi, adalah proses oksidasi yang menyebabkan bertambahnya kecenderungan minyak untuk membentuk asam dan kotoran zat padat yang nantinya akan membentuk endapan. Asam dapat menyebabkan korosi pada logam dalam peralatan transformator sedangkan kotoran zat padat menyebabkan transfer panas menjadi terganggu.
8. Kandungan air, dengan adanya kandungan air dalam minyak isolasi akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak, serta memacu munculnya *hot spot* sehingga akan mempercepat kerusakan pada isolasi kertas. Sehingga minyak isolasi diharapkan memiliki kandungan air yang serendah mungkin.
9. Resistansi yang tinggi terhadap terjadinya Emulsi untuk menghindari suspensi air yang dapat menyebabkan turunnya tembus minyak.
10. Tidak merusak bahan isolasi padat.

Bila minyak isolasi transformator didatangkan dengan tangki tersendiri, maka besar *moisture* (kelembaban) yang ada pada minyak tidak boleh melebihi 10 ppm dan ketika berada pada masa pengangkutan, minyak tidak boleh terkontaminasi dengan udara. Sehingga sebelum minyak dipompakan ke dalam tangki transformer maka dibutuhkan adanya penyaringan dan pemurnian terlebih dahulu.

Tabel 2.1 Batasan Pengusahaan Minyak isolasi Sesuai Metoda ASTM (*American Standard Test Method*)

Jenis test	ASTM no:	Batasan Tegangan		
		≤ 69 kV	> 69 < 288 kV	≥ 345 kV
Dielectric Str	D 877	26	26	26
Asam (mg. KOH/g)	D 974	0,05 – 0,2	0,05 – 0,2	0,05 – 0,2
IFT (dynes/cm)	D 971	30	30	35
Kandungan air (ppm)	D 1533	35	20	15
Kandungan gas (%)	D 2945	2	2	2
Warna	D 1500	1,5	1,5	1,5
Kejernihan	D 1524	Jernih	Jernih	Jernih
Flash point 0C	D 92	140	140	140
Pour point	D 97	- 40	- 40	- 40
Power factor	D 1533	< 30	30 – 34,9	≥ 35
Berat jenis	D 1298	0,91	0,91	0,91
Viscositas	D 445	12	12	12

Sumber: Diah (2011,p.13)

Apabila dari kriteria pada table 2.1 telah dilampaui maka perlu dilakukannya penyaringan ulang. Dan apabila *breakdown voltage* sudah tidak bisa dinaikan lagi (endapan <0,5 ppm, *moisture*<120 ppm, *dielectric strength* <30kV) maka sebaiknya dilakukan pengantian dengan minyak yang baru.

Ketahanan minyak isolasi dapat menurun karena pengaruh asam dan dapat pula karena kandungan air. Keasaman minyak isolasi dapat pula dinetralisir dengan menggunakan potas hidroksida (KOH). Sedangkan kandungan air yang ada di dalam minyak isolasi dapat dihilangkan dengan menggunakan bahan hidroskopis yaitu *Silicagel*. Agar minyak isolasi berfungsi sebagai pendingin yang baik, maka kekentalannya tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi di dalam tangki sehingga dapat mendinginkan transformator dengan baik. Kekentalan relatif minyak isolasi tidak boleh lebih dari 4,2° pada suhu 20°C dan 1,8° hingga 1,85° maksimum 2° pada suhu 50°C.

2.3.2 Pengujian Minyak Isolasi

Peralatan transformator tenaga merupakan bagian terpenting dalam jaringan tenaga listrik, oleh sebab itu perlu adanya peninjauan terhadap kondisinya agar beroperasi dengan optimal. Salah satu bagian penting yang dapat menggambarkan kondisi transformator secara keseluruhan adalah peralatan isolasi. Peralatan ini terdiri dari isolasi cair (minyak) dan isolasi padat (kertas).

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk menjaga kondisi dari transformator adalah dengan mengetahui kualitas dari minyak transformator. Pemeriksaan dari minyak isolasi meliputi: (Diah, W, 2011, p.18)

- Pemeriksaan level minyak isolasi, untuk mengetahui volume.
- Pemeriksaan temperatur dari minyak isolasi
- Pemeriksaan kualitas minyak isolasi.

1. Pengujian level minyak isolasi

Minyak transformator ditempatkan di dalam konservator. Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator maka minyak isolator akan memuai sehingga volume minyak akan bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak isolasi akan menyusut dan volume minyak akan turun. Sehingga secara tidak langsung perubahan suhu pada transformator akan mempengaruhi.

Minyak dalam transformator merupakan media isolasi dan sekaligus sebagai media pendingin belitan, untuk itu volume minyak isolasi harus dimonitoring dengan baik. Pemeriksaan level minyak perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui apakah minyak masih dalam batas yang diijinkan, jika diketahui keadaan yang abnormal maka perlu diteliti penyebabnya untuk mengetahui adanya kebocoran pada tangki, selain itu juga perlu dilakukan pengecekan pada *valve*, bushing, dan juga radiator. Apabila level minyak terlalu rendah akan menyebabkan timbulnya *overheating*, *arching*, dan *flashover*. Sedangkan jika level minyak terlalu tinggi akan menyebabkan tekanan pada tangki semakin tinggi, disaat terjadi kenaikan suhu

2. Pengujian temperatur minyak isolasi

Minyak isolasi yang baru dipasang pada transformator akan bekerja sebagai isolasi dari transformator. Transformator tersebut bekerja pada keadaan optimum secara terus menerus sehingga menyebabkan temperatur minyak dari transformator akan naik. Temperatur yang tinggi menyebabkan pemanasan pada

transformator yang selanjutnya akan menyebabkan pemanasan pada minyak isolasi tersebut. Dalam keadaan yang buruk minyak akan menghasilkan endapan dari hasil oksidasi. Dengan semakin tingginya pembebanan transformator maka reaksi kimia yang terjadi di dalam minyak isolasi semakin cepat sehingga kandungan asam akan semakin kuat dan semakin banyak endapan yang dihasilkan. Endapan ini dapat menyumbat celah pendingin, sehingga mengganggu fungsi minyak sebagai media isolasi dan media pendingin.

Tinggi rendahnya suhu yang terjadi pada transformator sangat berpengaruh terhadap usia transformator. Suhu operasi yang terlalu tinggi atau melebihi batasan yang ditentukan akan berakibat menurunnya nilai tahanan isolasi baik isolasi kertas maupun isolasi minyak. Untuk menjaga agar kenaikan suhu tidak melampaui batas yang ditentukan, maka pada transformator dipasang termometer untuk memantau suhu operasi transformator. Pada termometer suhu dilengkapi dengan kontak-kontak untuk fungsi alarm dan fungsi trip.

3. Pengujian kualitas minyak isolasi

Salah satu metode untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan transformator itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada transformator digunakan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*).

DGA adalah proses untuk menghitung kadar atau nilai dari gas-gas yang terkandung dalam minyak isolasi. Dari hasil DGA dapat diidentifikasi gangguan yang akan terjadi, sebagai informasi diagnosis awal, serta mempercepat menemukan cara dalam pemeliharaan transformator. Gas yang dihasilkan berasal dari kerusakan minyak isolasi, yang pada dasarnya memiliki sifat mudah terbakar. Gas-gas tersebut terlarut sehingga akan dapat menurunkan kualitas minyak. Selain itu dalam pengujian DGA juga didapatkan hasil TDCG (*Total Dissolved Combustion Gas*).

Pembagian kondisi minyak isolasi berdasarkan kandungan gas terlarut disajikan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 IEEE limits (kondisi level)

Pembagian Kondisi Gas	Gas (ppm)							
	H_2	CO	CH_4	C_2H_4	C_2H_8	C_2H_2	CO_2	$TDCG$
Kondisi I	100	350	120	50	65	35	2500	720
Kondisi II	700	570	140	100	100	50	4000	1660
Kondisi III	1800	1400	1000	200	150	80	10000	4630
Kondisi IV	>1800	>1400	>1000	>200	>150	>80	>10000	>4630

Sumber: IEEE Std. C57 104-(2008,p.104)

Jumlah gas terlarut yang mudah terbakar atau TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) akan menunjukkan apakah transformator yang diujikan masih berada pada kondisi operasi normal, waspada, peringatan atau kondisi kritis. Sebagai catatan, hanya gas (CO_2) saja yang tidak termasuk kategori TDCG. IEEE membuat pedoman untuk mengklasifikasikan kondisi operasional transformator yang terbagi dalam empat kondisi, yaitu: Hardityo (2008,p.26)

Kondisi 1: transformator beroperasi normal. Namun tetap perlu dilakukan pemantauankondisi gas-gas tersebut.

Kondisi 2: tingkat TDCG mulai tinggi. Ada kemungkinan timbul gejala-gejala kegagalan yang harus mulai diwaspadai. Perlu dilakukan pengambilan sampel minyak yang lebih rutin dan sering.

Kondisi 3: TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi dari isolasi kertas dan/atau minyak transformator. sebuah atau berbagai kegagalan mungkin sudah terjadi. Pada kondisi ini transformator sudah harus diwaspadai dan perlu perawatan lebih lanjut.

Kondisi 4 TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi / kerusakan pada isolator kertas dan / atau minyak transformator sudah meluas.

2.4 Metode Peramalan

Peramalan adalah suatu metode untuk memperkirakan tentang apa yang mungkin terjadi dimasa depan berdasarkan informasi masa lalu dan sekarang yang dimiliki agar kesalahannya (selisih antara apa yang terjadi dengan hasil perkiraan) dapat diperkecil.

Peramalan dapat juga diartikan sebagai usaha memperkirakan perubahan. Agar tidak disalahpahami bahwa peramalan tidak memberi jawaban pasti tentang apa yang akan terjadi, melainkan berusaha mencari sedekat mungkin apa yang akan terjadi (Mulyono, 2000,p.1)

Peramalan diperlukan untuk mengetahui kapan dan bagaimana suatu peristiwa akan terjadi, sehingga dapat dipersiapkan tindakan yang lebih tepat. Kecenderungan untuk dapat

mengetahui peristiwa secara lebih tepat sehingga dapat menjadi dasar untuk perencanaan waktu ke depan sangat dibantu dengan adanya metode peramalan yang merupakan cara untuk perencanaan ke depan tersebut (Makridakis dan Wheelwright, 1999,p.21).

Menurut Mulyono (2000,p.3), berdasarkan ramalan yang telah disusun, maka peramalan dapat dibedakan atas dua macam, yaitu:

1. Metode Kualitatif

Metode kualitatif digunakan jika data historis dari variable yang akan diramal tidak ada, tidak cukup, atau kurang dapat dipercaya. Metode ini juga disarankan jika lingkungannya diperkirakan akan mengalami perubahan drastis. Sebagai gantinya, dalam metode ini adalah opini, dan pengalaman.

2. Metode Kuantitatif

Metode kuantitatif memerlukan data historis dan menuntut variable yang digunakan punya satuan ukuran atau dapat diukur. Metode ini umumnya beranggapan bahwa pola masa lalu akan berulang. Metode kuantitatif hanya dapat digunakan apabila ada tiga kondisi sebagai berikut:

1. Adanya informasi tentang keadaan yang lain
2. Informasi tersebut dapat dikualifikasikan dalam bentuk data
3. Dapat diasumsikan bahwa pola yang lalu akan berulang pada masa yang akan datang

2.5 Peramalan dengan *Time Series*

Metode *time series* adalah metode peramalan secara kuantitatif dengan menggunakan waktu sebagai dasar peramalan. Secara umum, peramalan pada masa yang akan datang dipengaruhi oleh waktu. Untuk membuat suatu peramalan diperlukan data *historis* (masa lalu) permintaan. Data inilah yang akan dianalisa dengan menggunakan parameter waktu sebagai dasar analisis.

Dalam peramalan waktu *time series*, perlu diketahui dahulu pola atau komponen *time series*. Pola permintaan dapat diketahui dengan membuat “*scatter diagram*” yaitu pemplotan data historis selama interval waktu tertentu. Dari *scatter diagram* ini secara visual akan dapat diketahui bagaimana hubungan antara waktu dengan permintaan. Pola permintaan adalah suatu pola pergerakan jangka panjang dari tampilan data-data *scatter diagram* permintaan.

2.6 Pengklasifikasian Metode Peramalan

Menurut Mulyana (2004,p.24), pengklasifikasian metode peramalan adalah dengan memperhatikan model yang mendasarinya. Terdapat dua jenis model peramalan yang utama, yaitu metode deret berkala dan model kausal/eksplanatoris.

1. Metode deret berkala, pendugaan masa depan dilakukan berdasarkan nilai masa lalu. Tujuan metode peramalan deret berkala seperti itu adalah menemukan pola dalam deret data historis mengekstrapolarisasikan pola tersebut ke masa depan.
2. Metode kausal atau eksplanatoris, mengasumsikan bahwa faktor yang diramalkan menunjukkan suatu hubungan sebab-akibat yang satu atau lebih variable bebas. Maksud dari metode kausal adalah menemukan bentuk hubungan tersebut dan menggunakannya untuk meramalkan nilai mendatang dari variable tak bebas.

Makridakis dan Wheelwright (1999,p.29) menemukan bahwa data-data yang dikumpulkan secara periodik berdasarkan urutan waktu, bisa dalam jam, hari, minggu, bulan, kuartal dan tahun. Hal tersebut dilakukan supaya menggunakan metode analisis data deret waktu.

Analisis data deret waktu tidak hanya dilakukan untuk satu variable (*Univariate*) tetapi juga untuk banyak variable (*Multivariate*).

Metode peramalan dengan metode deret berkala terdiri dari:

1. Model *Smoothing*: Metode *Single Exponential Smoothing (Brown)*, Metode *Double Exponential Smoothing (Holt)*, Metode *Triple Exponential Smoothing (Winters)*
2. Model ARIMA (Box-Jenkins)
3. Model Proyeksi Trend dengan Regresi.

2.3.1 Model ARIMA

ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) merupakan gabungan antara 2 metode statistik *Time Series Autoregressive (AR)* yang diintegrasikan dengan metode *Moving Average (MA)*. Berdasarkan 2 metode tersebut, ARIMA memiliki 3 orde (p,d,q) yang mewakili AR(p), MA(q), dan jumlah diferensiasi (d) yang dilakukan Model *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)* dan time series digunakan dalam berbagai disiplin ilmu seperti antropologi, bisnis, kriminologi dan lain sebagainya. Tujuan dari ARIMA adalah menemukan suatu model yang akurat yang mewakili pola masa lalu dan masa dari suatu data time series. Dimana polanya bias random, trend, *cyclical* atau kombinasi pola-pola tersebut

2.3.2 Fungsi Auto Korelasi (AFC)

Koefisiensi autokorelasi menyatakan hubungan antara nilai-nilai dari variabel yang sama tetapi pada periode waktu berbeda. Autokorelasi merupakan suatu alat penentu dari identifikasi pola dasar yang menggambarkan data. Autokorelasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah data bersifat stasioner (Arsyad, 1994,p.34).

Definisikan fungsi rata-rata sebagai berikut:

$$\mu_t = E(Z_t), \text{dimana } t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

dan fungsi variansi dengan proses sebagai berikut:

$$\gamma_t = \text{var}(Z_t) = \sigma^2(Z_t) = E(Z_t - \mu_t)^2$$

fungsi kovariansi antara Z_{t_1} dan Z_{t_2} , yaitu:

$$\gamma(t_1, t_2) = \text{cov}(Z_{t_1}, Z_{t_2}) = E(Z_{t_1} - \mu_{t_1})(Z_{t_2} - \mu_{t_2})$$

dengan fungsi korelasi antara Z_{t_1} dan Z_{t_2} , yaitu:

$$\rho(t_1, t_2) = \frac{\gamma(t_1, t_2)}{\sqrt{\gamma_{t_1}^2} \sqrt{\gamma_{t_2}^2}} \dots \dots \dots (2-2)$$

Setelah proses stasioner, semua fungsi berdistribusi sama untuk step t . Fungsi rata-rata $\mu_t = \mu$ adalah konstan, Seperti halnya jika $E(|Z_t^2|) < \infty$ maka $\gamma_t^2 = \gamma^2$ untuk setiap t dan konstan. Hal tersebut dilakukan supaya:

$F_{Z_{t_1}, Z_{t_2}}(x_1, x_2) = F_{Z_{t_1-k}, Z_{t_2-k}}(x_1, x_2)$ untuk t_1, t_2 dan k merupakan bilangan bulat, maka:

$$\gamma(t_1, t_2) = \gamma(t_1 + k, t_2 + k)$$

dengan,

$$\rho(t_1, t_2) = \rho(t - k, t) = \rho(t, t + k) = \rho_k$$

Pada proses stasioner $[Z_t]$. Kovarian antara Z_t dan Z_{t+k} sebagai berikut:

$$\gamma_k = \text{cov}(Z_t, Z_{t+k}) = E(Z_t - \mu)(Z_{t+k} - \mu) \dots \dots \dots (2-3)$$

dengan korelasi antara Z_t dan Z_{t+k} sebagai berikut:

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(Z_t, Z_{t+k})}{\sqrt{\text{var}(Z_t)} \sqrt{\text{var}(Z_{t+k})}} = \frac{\gamma_k}{\sqrt{\gamma_0} \sqrt{\gamma_0}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \dots \dots \dots (2-4)$$

Pada proses stasioner, fungsi autokovarian γ_k dan fungsi autokorelasi (AFC) ρ_k mengikuti beberapa aturan:

1. $\gamma_0 = \text{var}(Z_t); \rho_0 = 1$
2. $|\gamma_k| \leq \gamma_0; |\rho_k| \leq 1$
3. $\gamma_k = \gamma_{-k}$ dan $\rho_k = \rho_{-k}$ untuk semua k .

Pada estimasi untuk mean $\mu = E(Z_t)$ pada proses stasioner sebagai berikut:

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t$$

Dimana n merupakan rata-rata waktu pengamatan. Oleh karena itu, akan di dapat:

$$E(\bar{Z}) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E(Z_t) = \frac{1}{n} \cdot n\mu = \mu \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

dan variasi \bar{Z} sebagai berikut:

$$\begin{aligned} var(\bar{Z}) &= \frac{1}{n^2} \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^n cov(Z_s, Z_t) = \frac{\gamma_0}{n^2} \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^n \rho(t-s) \\ &= \frac{\gamma_0}{n^2} \sum_{k=-(n-1)}^{n-1} (n-|k|)\rho_k \\ &= \frac{\gamma_0}{n} \sum_{k=-(n-1)}^{n-1} \left(1 - \frac{|k|}{n}\right) \rho_k \quad \dots\dots\dots (2-6) \end{aligned}$$

Dimisalkan $k = (t - s)$, jika $\lim_{n \rightarrow \infty} [\sum_{k=-(n-1)}^{n-1} (1 - \frac{|k|}{n}) \rho_k]$, berhingga, maka $var(\bar{Z}) \rightarrow 0$ untuk $n \rightarrow \infty$ dan \bar{Z} merupakan estimator yang konsisten untuk μ didapat:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t = \mu = \bar{Z}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.3) fungsi autokovarian untuk rata-rata sebagai berikut:

$$\gamma_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})$$

dan,

$$\gamma_0 = var(Z_t) = \frac{1}{n} E(Z_t - \bar{Z})^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z})^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.4) akan diperoleh Autokorelasi untuk rata-rata (ACF) yaitu:

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z})^2} \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

dimana:

ρ_k : koefisien autokorelasi pada lag k

Z_t : data pengamatan pada waktu ke- t

Z_{t-k} : rata-rata data pengamatan

2.3.3 Fungsi Auto Korelasi Parsial (PACF)

Autokorelasi parsial digunakan untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linier antara ρ_k dengan ρ_{k-f} , apabila waktu pada saat terjadi lag (*time lag*) yaitu peristiwa atau kebutuhan mendatang dengan peristiwa itu sendiri. Pengaruh dari *time lag* 1, 2,... k dianggap terpisah (Makridakis dan Wheelwright, 1999). Menurut Cryer (1986, p.115), taksiran dari PACF adalah berdasarkan koefisien autokorelasi pada persamaan Yule-Walker untuk k *time lag*, yaitu:

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \phi_{k1}\rho_0 + \phi_{k2}\rho_1 + \dots + \phi_{kk}\rho_{k-1} \\ \rho_2 &= \phi_{k1}\rho_1 + \phi_{k2}\rho_0 + \dots + \phi_{kk}\rho_{k-2} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \rho_k &= \phi_{k1}\rho_{k-2} + \phi_{k2}\rho_{k-2} + \dots + \phi_{kk}\rho_0\end{aligned}$$

dengan menggunakan metode Cramer's untuk ($k=1, 2, \dots$) maka akan didapat:

$$\begin{aligned}\phi_{11} &= \rho_1 \\ \phi_{22} &= \frac{\begin{vmatrix} \rho_1 & \rho_2 \\ \rho_1 & \rho_1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 \end{vmatrix}} = \frac{\rho_2 - \rho_2^2}{1 - \rho_1^2} \\ \phi_{33} &= \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 \\ \rho_1 & 1 & \rho_2 \\ \rho_2 & \rho_1 & \rho_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 \\ \rho_1 & 1 & \rho_2 \\ \rho_2 & \rho_1 & \rho_3 \end{vmatrix}} = \frac{\rho_3 - \phi_{21}\rho_3 - \phi_{21}\rho_1}{1 - \phi_{21}\rho_1 - \phi_{21}\rho_2} \\ \phi_{44} &= \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \rho_3 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \rho_3 \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 & \rho_1 \\ \rho_3 & \rho_2 & \rho_1 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \rho_3 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \rho_3 \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 & \rho_1 \\ \rho_3 & \rho_2 & \rho_1 & 1 \end{vmatrix}} = \frac{\rho_4 - \phi_{31}\rho_3 - \phi_{32}\rho_2 - \phi_{33}\rho_1}{1 - \phi_{31}\rho_3 - \phi_{32}\rho_2 - \phi_{33}\rho_1} \\ \phi_{kk} &= \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-2} & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-3} & \rho_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & \rho_1 & \rho_k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-2} & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-3} & \rho_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & \rho_1 & 1 \end{vmatrix}}\end{aligned}$$

didapatkan pendugaan nilai PACF sebagai berikut:

$$\phi_{kk} = \frac{\rho_k - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j}\rho_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j}\rho_j} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dengan $\phi_{kj} = \phi_{k-1,j} - \phi_{kk}\phi_{k-1,k-j}$ untuk $j=1, 2, \dots, k-1$, dimana:

ϕ_{kk} : koefisien autokorelasi parsial pada lag k

ρ_k : koefisien autokorelasi pada lag k

ρ_j : koefisien autokorelasi pada lag j yang diduga dengan ρ_j

ρ_{k-j} : koefisien autokorelasi parsial pada lag ($k-j$) yang diduga dengan ρ_{k-j} .

2.7 Kestasioneran Deret Waktu

Menurut Makridakis dan Wheelwright (1999, p.116), stasioneritas berarti bahwa tidak terdapat penambahan atau penurunan pada data dari waktu ke waktu. Data secara kasarnya harus horizontal sepanjang sumbu waktu. Dengan kata lain fluktuasi data berada di sekitar suatu nilai rata-rata yang konstan, tidak tergantung pada waktu dan ragam dari fluktuasi tersebut tetap konstan sepanjang waktu. *Time series* stasioner adalah deret yang ciri-ciri

statistik dasarnya seperti rata-rata dan ragam tetap konstan sepanjang waktu (Hanke, dkk, 2003,p.64).

Stasioneritas data ada dua macam, yaitu:

1. Stasioneritas pada Ragam

Stasioneritas pada ragam apabila fluktuasi data tidak terlalu besar dari waktu ke waktu.

Jika tidak stasioner dalam ragam maka dilakukan transformasi Box-Cox dengan λ adalah parameter transformasi sebagai berikut (Wei, 2006,p.84).

$$T'(\mu_t) = \frac{1}{\sqrt{f(\mu_t)}}$$

$$T(\mu_t) = \int \frac{1}{\sqrt{f(\mu_t)}} d\mu_t$$

Jika standar deviasi dari rangkaian adalah sebanding dengan $Var(Z_t) = C\mu_t^2$, maka

$$T(\mu_t) = \int \frac{1}{\sqrt{\mu_t^2}} d\mu_t = \ln(\mu_t)$$

Oleh karena itu transformasi logaritma dari rangkaian $\ln(Z_t)$ memiliki varians yang

konstan. Selanjutnya, jika varian dari rangkaian sebanding dengan $Var(Z_t) = C\mu_t$ maka

$$T(\mu_t) = \int \frac{1}{\sqrt{\mu_t}} d\mu_t = 2\sqrt{\mu_t}$$

Dengan demikian akar kuadrat dari rangkaian $\sqrt{Z_t}$ memiliki varian yang konstan, jika

standar deviasi dari rangkaian sebanding dengan kuadrat dari tingkat $Var(Z_t) = C\mu_t^4$,

maka:

$$T(\mu_t) = \int \frac{1}{\sqrt{\mu_t^4}} d\mu_t = -\frac{1}{\mu_t}$$

Sehingga, transformasi yang diinginkan memiliki varian yang konstan berbanding

terbalik dengan $\frac{1}{Z_t}$. Yang umumnya digunakan sebagai parameter transformasi adalah

$$T(Z_t) = Z_t^{(\lambda)} = \frac{Z_t^{(\lambda)} - 1}{\lambda} \text{ dengan } \lambda \neq 0 \dots\dots\dots (2-9)$$

dimana λ adalah parameter transformasi. Berikut ini adalah transformasi Box-Cox dengan nilai λ yang biasa digunakan (Wei, 2006,p.85).



Tabel 2.3 Nilai λ dan bentuk transformasi yang berhubungan

Nilai Estimasi λ	Nilai Transformasi
-1,0	$\frac{1}{Z_t}$
-0,5	$\frac{1}{\sqrt{Z_t}}$
0	$\ln Z_t$
0,5	$\sqrt{Z_t}$
1	Z_t (tidak ada transformasi)

Sumber: Wei (2006,p.85)

2. Stasioneritas pada rata-rata

Stasioner dalam *time series* adalah keadaan dimana nilai rata-rata dan variansi konstan.

Apabila data *time series* tidak stasioner dalam rata-rata maka dilakukan *differencing* sehingga data tersebut menjadi stasioner (Makridakis,dkk 1999,p.47) sebagai berikut:

$$\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

Z_t : pengamatan pada periode waktu ke-t,

Z_{t-1} : pengamatan pada periode waktu Z_{t-1}

∇Z_t : data hasil pertama pada periode waktu ke-t,

Proses pembedaan dilakukan sampai data hasil pembedaan menunjukkan kondisi stasioner pada rata-rata.

2.8 Metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*)

Suatu proses dikatakan non-stasioner jika proses tersebut mempunyai rata-rata dan ragam yang tidak konstan untuk sembarang waktu pegamatan. Metode *time series* yang non-stasioner dapat dikatakan sebagai proses *Auto Regressive Integrated Moving Average* ordo (p, d, q) atau disingkat ARIMA (p, d, q) dimana: p adalah order dari parameter autoregresif, d adalah besaran yang menyatakan beberapa kali dilakukan *differencing* pada proses sehingga menjadi proses yang stasioner, dan q adalah order dari parameter *moving average* (Box and Jenkins, 1976, p.30).

Pada kenyataannya, tidak semua observasi *time series* membentuk proses yang stasioner. Model ARIMA dapat juga digunakan untuk peramalan yang dikembangkan oleh George-Box dan Gwilym Jenkins. Model ini menggunakan pendekatan iteratif pada identifikasi suatu model yang mungkin dari model awal. Model yang terpilih kemudian

diperiksa terhadap data historis untuk melihat apakah model ini akurat dalam menjelaskan deret (Hanke, dkk., 2003,p.36).

Proses pada time series secara umum memiliki beberapa model, di antaranya Model AR (*Autoregressive*), MA (*Moving Average*), Model campuran ARMA (*Autoregressive Moving Average*), ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*).

2.5.1 Autoregressive Model (AR)

Model *autoregressive* dengan orde AR (p) atau model ARIMA ($p,0,0$) dinyatakan sebagai berikut:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \alpha_t$$

dimana:

ϕ_p : parameter *autoregressive* ke- p

α_t : *White Noise* nilai kesalahan pada saat t

Z_{t-p} : independen variabel

Variabel independen merupakan deretan nilai dari variabel yang sejenis dalam beberapa periode t terakhir. Sedangkan α_t adalah error atau unit residual yang menggambarkan gangguan acak yang tidak dapat dijelaskan oleh model. Perhitungan *autoregressive* dapat dilakukan dalam proses sebagai berikut:

1. Menentukan model yang sesuai dengan deret waktu
2. Menentukan nilai orde p (menentukan panjangnya persamaan yang terbentuk)
3. Mengestimasi nilai koefisiensi *autoregressive* $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_k$

Setelah mendapatkan model yang sesuai, maka model dapat digunakan untuk memprediksi nilai peramalan pada masa mendatang.

2.5.2 Moving Average (MA)

Model lain dari model ARIMA adalah *moving average* yang dinotasikan dalam MA (q) atau ARIMA ($0,0, q$) yang ditulis dalam persamaan berikut:

$$Z_t = \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} + \theta_2 \alpha_{t-2} + \dots + \theta_q \alpha_{t-q}$$

dimana:

θ_q : parameter *Moving Average*

α_t : *White noise* / error atau unit residual

$\alpha_{t-1} - \alpha_{t-2} - \alpha_{t-3} - \dots - \alpha_{t-q}$: selisih nilai aktual dengan nilai perkiraan

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai Z_t tergantung nilai error sebelumnya dari pada nilai variabel itu sendiri. Untuk melakukan pendekatan antara proses *Autoregressive* dan *Moving Average* diperlukan pengukuran autokorelasi antara nilai

berturut-turut dari Z_t sedangkan model *moving average* mengukur autokorelasi antara nilai error atau residual.

2.5.3 Autoregressive Moving Average (ARMA)

Penggabungan model *Autoregressive* (AR) dan *Moving Average* (MA) akan membentuk model baru yaitu ARMA (*Autoregressive Moving Average*) dengan orde ARMA (p,q) . Adapun bentuk umum persamaan ARMA merupakan gabungan dari persamaan AR dan MA yang dinotasikan sebagai berikut:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \alpha_t - \phi_1 \alpha_{t-1} - \dots - \phi_q \alpha_{t-q}$$

2.5.4 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

ARIMA sering juga disebut dengan metode runtun waktu Box-Jenkins. ARIMA sangat baik ketepatannya untuk peramalan jangka pendek sedangkan untuk peramalan jangka panjang ketepatan peramalannya kurang baik, karena hasilnya akan cenderung mendatar atau konstan untuk periode yang cukup panjang. ARIMA dapat diartikan sebagai gabungan dari dua model, yaitu model *Autoregressive* (AR) yang diintegrasikan dengan model *Moving Average* (MA). Model ARIMA umumnya dituliskan dengan notasi ARIMA (p,d,q) . p adalah derajat proses AR, d adalah orde pembebanan dan q adalah derajat proses MA (Nachrowi, 2006,p. 47).

Model ARIMA adalah model yang secara penuh mengabaikan independen variabel dalam membuat peramalan jangka pendek yang akurat. ARIMA lebih pas dipergunakan jika observasi deret waktu (*time series*) secara statistik berhubungan satu sama lain (*dependent*). Adapun bentuk umum persamaan yang dinotasikan sebagai berikut:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \alpha_t - \phi_1 \alpha_{t-1} - \dots - \phi_q \alpha_{t-q} \dots\dots\dots(2-11)$$

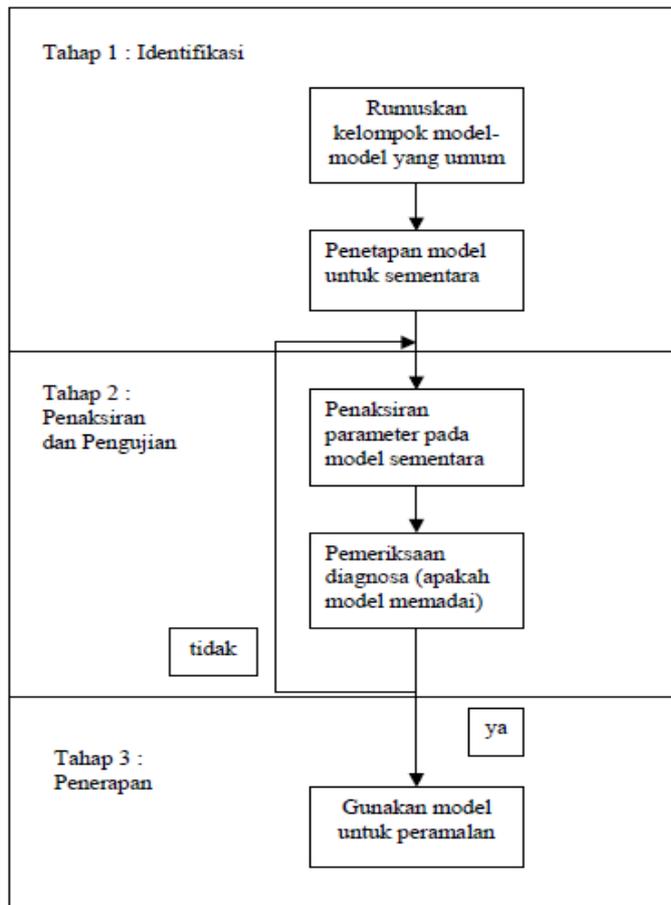
Pada prakteknya, nilai p dan q pada model ARIMA (p, d, q) masing-masing tidak menggunakan nilai p dan q melebihi 3 setelah dilakukan pembedaan (Hanke, dkk, 2003).

2.5.5 ARIMA Box-Jenkins

Pendekatan Box-Jenkins menggunakan strategi penentuan iteratif yang terdiri dari pemilihan model awal (identifikasi model), estimasi koefisien model (pendugaan parameter), dan penganalisaan residual (pemeriksaan model). Jika diperlukan, model awal dimodifikasi dan diulangi sampai didapatkan residual yang memberikan indikasi bahwa tidak ada lagi modifikasi yang diperlukan. Oleh karena itu, model yang sesuai dapat digunakan untuk meramal (Hanke, dkk., 2003,p.32).

Pada penerapannya metode ARIMA menggunakan pendekatan metode *Box-Jenkins* yaitu tahapan-tahapan yang diperlukan dalam menentukan parameter ARIMA, dimana

metodologi *Box-Jenkins* tersebut terdiri dari tiga langkah dasar yaitu: tahap identifikasi, tahap penaksiran dan pengujian, dan pemeriksaan diagnostik. Selanjutnya model ARIMA dapat digunakan untuk melakukan peramalan jika model yang diperoleh memadai. Berikut ini merupakan tahapan yang harus dilalui untuk melakukan peramalan menggunakan metode ARIMA.



Gambar 2.2 Metodologi Peramalan Box-Jenkins

Sumber: Khair, Aulia, (2011,p.27)

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa tahapan dimulai dengan membuat plot sesuai dengan data deret waktu yang ada. Kemudian akan dilanjutkan dengan tahapan pertama yaitu identifikasi model ARIMA untuk menentukan model yang sesuai dengan deret tersebut, apakah membentuk model autoregresif (AR) dengan orde p , *moving average* (MA) dengan orde q dan kesetasioneran deret tersebut sehingga harus mengalami diferensiasi terlebih dahulu (*integrated*). Identifikasi model yang sesuai dapat dilakukan dengan mengamati nilai autokorelasi (ACF) dan parsial autokorelasi (PACF) dari sebuah deret waktu.

Tahap selanjutnya adalah dengan mengestimasi nilai dari parameter untuk model tersebut dengan menentukan besar dari koefisien p untuk persamaan model AR dan q untuk persamaan model MA. Setelah parameter didapatkan maka model akan terbentuk, tetapi

sebelum dapat digunakan untuk proses peramalan, model tersebut harus diuji terlebih dahulu dengan cara tes diagnostik. Apabila model tersebut belum memadai untuk digunakan sebagai dasar peramalan maka akan kembali ke tahapan pertama, namun apabila model telah memadai untuk melakukan peramalan maka akan dilanjutkan ke tahap ketiga yaitu melakukan peramalan.

2.9 Estimasi Parameter

Pada tahap ini dilakukan untuk mengetahui apakah parameter yang digunakan pada metode, signifikan atau tidak. Pengujian dilakukan menggunakan uji Ljung-Box dengan hipotesis sebagai berikut (Bowerman, dkk, 2005,p.51).

Hipotesis:

$$H_0: \theta = 0$$

$$H_1: \theta \neq 0$$

Asumsi dasar yang harus dipenuhi agar model yang didapatkan layak untuk digunakan adalah (a_t) uji kelayakan model. Oleh karena itu, akan dilakukan uji asumsi berdistribusi normal dengan menggunakan uji Ljung Box Pierce (LBQ) sebagai berikut (Wei, 2006,p.65)

Hipotesis:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

(residual bersifat uji kelayakan modal)

$$H_1: \text{paling tidak ada satu nilai } \beta_i \neq 0, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, k$$

(residual tidak bersifat uji kelayakan modal)

Rumus untuk statistik uji Q adalah:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^n (n-k)^{-1} \beta_k^2$$

dengan:

n : banyak pengamatan

β_k : koefisien autokorelasi sisa pada lag- k

k : lag maksimum

m : jumlah parameter yang diduga dalam model

Tolak H_0 , jika *level of significance* < 0.05 .

Hampir semua *output software* statistika dilengkapi dengan informasi tentang *level of significance* (α), yaitu tingkat signifikansi terendah dimana H_0 dapat ditolak. Dalam skripsi ini yang digunakan sebagai α sebesar 0.05. Hal ini berarti parameter yang bersangkutan

secara statistik berbeda dari nol pada tingkat sekurang-kurangnya 5 %. Ringkasannya, jika probabilitas Ljung – Box (Q) lebih kecil dari α , maka H_0 ditolak.

2.10 Pengukuran Kesalahan Prakiraan

Pengukuran keakuratan peramalan dapat diukur oleh beberapa indikator kesalahan pada peramalan, beberapa indikator yang dimaksud yaitu: (Khair,A, 2011,p.28)

1. Rata-rata kesalahan (*average/mean error*)

Kesalahan atau error menunjukkan besar selisih antara nilai aktual dengan nilai yang diramalkan, $e_t = X_t - F_t$. Maka nilai kesalahan dapat bernilai positif ataupun negatif. Bernilai negative apabila nilai peramalan melebihi dari nilai actual dan bernilai positif apabila nilai peramalan lebih kecil dari yang aktual.

Mean error (ME) dapat dinotasikan dalam persamaan berikut:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \dots\dots\dots (2-11)$$

Namun *mean error* sulit untuk menentukan kesalahan error secara keseluruhan, karena penjumlahan nilai positif dan negatif akan saling melemahkan dan dapat menambah kesalahan.

2. *Mean Absolute Deviation* (MAD)

Berbeda dengan *Mean Error*, pada *Mean Absolute Deviation* nilai kesalahan dari peramalan dengan aktual diubah kedalam nilai mutlak positif. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi adanya nilai positif dan negatif yang akan saling melemahkan atau menambah perhitungan kesalahan pada penjumlahan dengan begitu akan didapat berapa besar nilai penyimpangan dari hasil peramalan. Persamaan MAD dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n} \dots\dots\dots (2-12)$$

3. *Mean Squared Error* (MSE)

Mean Squared Error (MSE) merupakan perhitungan nilai kuadrat di setiap selisih perhitungan. Perbedaan dengan *Mean Absolute Deviation* (MAD) adalah MSE menilai kesalahan untuk penyimpangan yang lebih ekstrim daripada MAD. Mengadopsi kriteria untuk meminimalkan nilai MSE berarti nilai penyimpangan akan lebih besar dari pada nilai peramalan apabila menggunakan satu penyimpangan. Persamaan MSE dapat dinotasikan dalam persamaan berikut:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \dots\dots\dots (2-13)$$

4. Percentage Error (PE)

Percentage Error adalah persentase kesalahan dari nilai actual X_t dengan hasil perhitungan nilai peramalan F_t .

$$PE_t = \frac{X_t - F_t}{X_t} \times 100\% \quad (2-14)$$

5. Mean Percentage Error (MPE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MPE adalah rata-rata dari persentase kesalahan (selisih nilai actual dan peramalan).

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n PE_i}{n} \quad (2-15)$$

Sedangkan MAPE juga merupakan nilai rata-rata kesalahan, namun memberikan nilai absolute pada selisih nilai aktual dengan nilai hasil peramalan. MAPE merupakan nilai indikator yang bisa digunakan untuk menunjukkan *performance* atau keakuratan pada hasil proses peramalan.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |PE_i|}{n} \quad (2-16)$$

Keterangan persamaan 2.11 hingga 2.16

X_t : nilai aktual pada waktu t (amp)

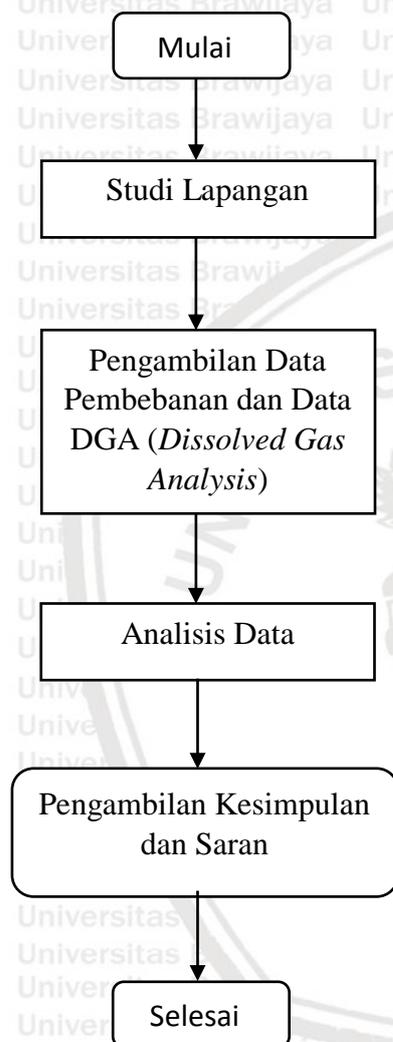
F_t : nilai peramalan pada waktu t (amp)

e : *error* atau kesalahan (selisih dari $X_t - F_t$)(amp)

n : banyaknya jumlah observasi

BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian memberikan gambaran urutan langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam mencapai tujuan penyusunan penelitian. Adapun urutan langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam penyusunan penelitian ini adalah:



Gambar 3. 1 Digram alir utama penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan mempelajari buku-buku literatur yang berkaitan dengan konsep pemeliharaan transformator daya penurunan tegangan, konsep pemeliharaan minyak isolasi, data pembebanan, konsep analisis kelayakan transformator, konsep perhitungan metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) dan jurnal-jurnal dari situs internet yang berkaitan dengan penyelesaian penelitian ini. Studi literatur bertujuan

sebagai dasar teori yang menunjang penyelesaian penelitian tentang kinerja transformator daya penurun tegangan berdasarkan hasil uji minyak isolasi dengan menggunakan metode ARIMA.

3.2 Tempat Penelitian

Data yang diperlukan langsung diambil dari survei lapangan, yaitu bertempat di GI Turen Malang. Data-data yang diperoleh akan dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi transformator dan menentukan waktu *predictive maintenance*. Studi literatur dan survei lapangan akan menghasilkan data sekunder yang akan menjadi acuan dan bahan dalam merencanakan dan mengimplementasikan sistem. Data sekunder yang dibutuhkan meliputi data hasil pengujian minyak isolasi dengan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) selama 11 tahun terakhir (2006-2016). Data pembebanan selama 8 tahun terakhir (2009 - 2016).

Dalam penelitian ini ada dua hal yang akan diamati, antara lain kondisi level gas yang terdapat pada minyak isolasi dan pembebanan yang terjadi dalam kurun waktu 11 tahun terakhir Seperti yang tertera pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Nilai TDCG

Periode	Nilai TDCG	Periode	Nilai TDCG
Jan-Feb 2006	2227	Juli-Agus 2011	1512
Mar-Apr 2006	5308	Sep-Okt 2011	2752
Mei-Jun2006	4109	Nov-Des2011	1130
Juli-Agus 2006	3427	Jan-Feb 2012	2750
Sep-Okt 2006	2137	Mar-Apr 2012	2951
Nov-Des 2006	1476	Mei-Jun2012	3221
Jan-Feb 2007	2255	Juli-Agus 2012	2898
Mar-Apr 2007	1462	Sep-Okt 2012	3326
Mei-Jun2007	1235	Nov-Des2012	2426
Juli-Agus 2007	1655	Jan-Feb 2013	2153
Sep-Okt 2007	1763	Mar-Apr 2013	2298
Nov-Des 2007	1968	Mei-Jun2013	2745
Jan-Feb 2008	1201	Juli-Agus 2013	6106
Mar-Apr 2008	1732	Sep-Okt 2013	3274
Mei-Jun2008	1723	Nov-Des2013	2849
Juli-Agus 2008	1223	Jan-Feb 2014	1796
Sep-Okt 2008	1226	Mar-Apr 2014	1630
Nov-Des 2008	1821	Mei-Jun2014	1574
Jan-Feb 2009	2539	Juli-Agus 2014	2061
Mar-Apr 2009	2890	Sep-Okt 2014	1731
Mei-Jun2009	890	Nov-Des2014	1504
Juli-Agus 2009	1184	Jan-Feb 2015	1237
Sep-Okt 2009	966	Mar-Apr 2015	1013
Nov-Des 2009	1399	Mei-Jun2015	1906
Jan-Feb 2010	2697	Juli-Agus 2015	1812
Mar-Apr 2010	2252	Sep-Okt 2015	2098
Mei-Jun2010	2345	Nov-Des2015	1826
Juli-Agus 2010	2975	Jan-Feb 2016	3028,37
Sep-Okt 2010	2452	Mar-Apr 2016	4064,29
Nov-Des2010	2231	Mei-Jun2016	3877,02
Jan-Feb 2011	2523	Juli-Agus 2016	3596,11
Mar-Apr 2011	2893	Sep-Okt 2016	5028,5
Mei-Jun2011	2226	Nov-Des2016	2761

Tabel 3.2 Nilai Pembebanan

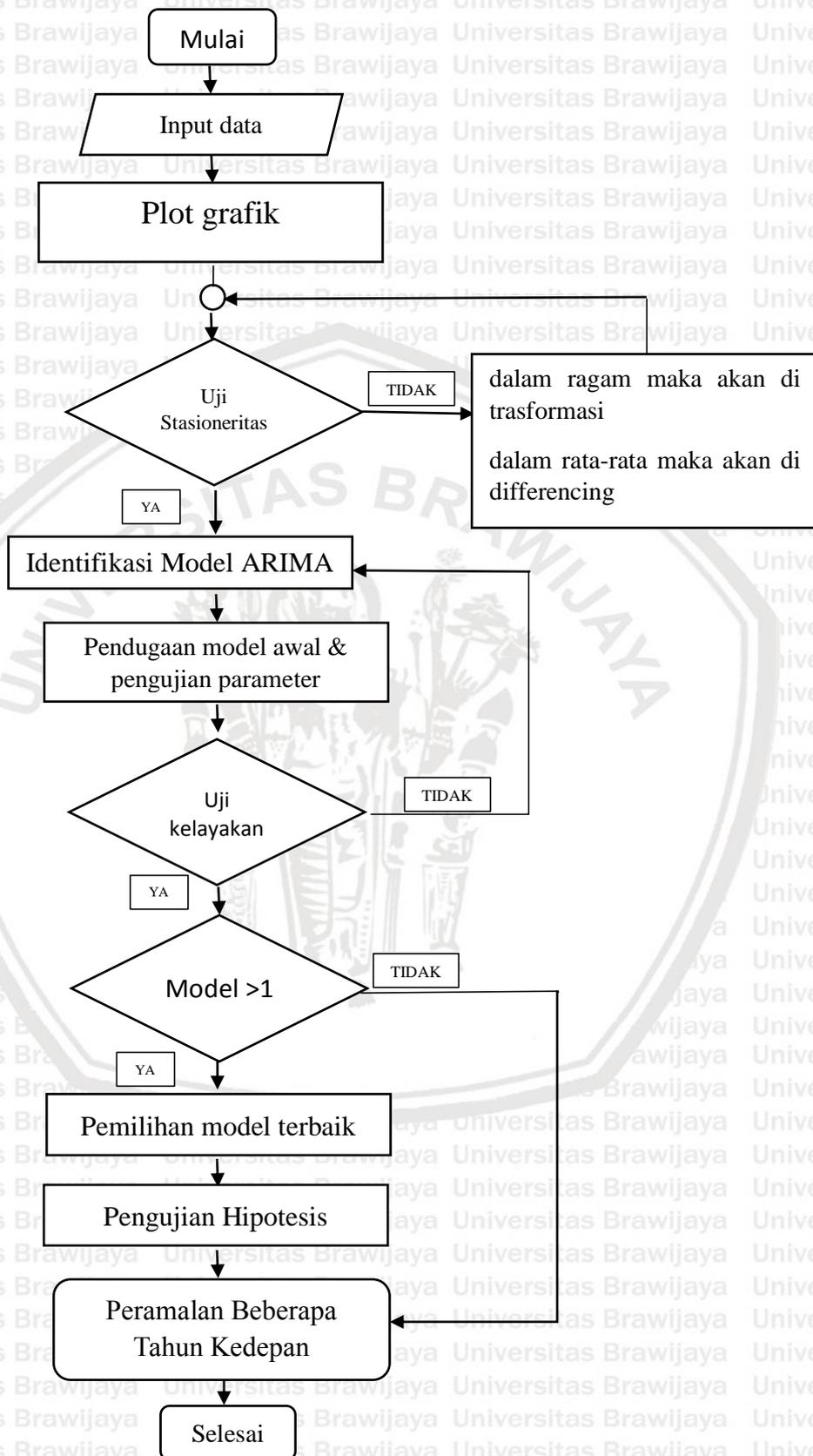
Bulan	Data Pembebanan (AMP)							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Januari	710	700	700	740	690	550	530	660
Februari	710	710	700	740	730	550	535	655
Maret	710	710	720	720	740	740	610	680
April	710	690	720	750	740	560	580	720
Mei	740	700	700	750	740	560	700	690
Juni	310	700	700	760	720	570	720	675
Juli	320	740	700	720	770	640	710	682
Agustus	340	760	730	750	780	620	690	703
September	340	710	730	760	620	620	700	700
Oktober	350	710	740	760	620	530	700	690
November	350	700	350	700	600	760	660	700
Desember	700	700	720	700	550	560	670	680

3.3 Pengujian dan Analisis

Untuk mengetahui kondisi transformator utama unit 1 dan menentukan jadwal pemeliharaan berupa *predictive maintenance* transformator, maka perlu dilakukan perhitungan dan analisis data.

3.4 Pemodelan ARIMA

Langkah-langkah analisa yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan dan Pengelolaan Data

1. Melakukan identifikasi model ARIMA (p,d,q) :
 - a. Membuat plot grafik *time series* pada bidang kartesius, dan melihat apakah sudah stasioner dalam mean maupun varian. Apabila data belum stasioner dalam varian maka akan dilakukan transformasi sedangkan jika belum stasioner dalam *mean* maka akan dilakukan *differencing*.
 - b. Membuat plot *Autocorrelation Function* (ACF) dan *Partial Autocorrelation Function* (PACF) dari data yang telah stasioner dalam *mean* maupun *varians*.
2. Melakukan pendugaan model ARIMA (p,d,q) awal. Pendugaan ini dilakukan melalui plot *Autocorrelation Function* (ACF) dan *Partial Autocorrelation Function* (PACF) yang sudah memenuhi syarat stasioner.
3. Melakukan uji kelayakan terhadap model ARIMA (p,d,q) yang didapatkan. Penaksiran parameter menggunakan uji Ljung-Box (Q) dengan hipotesis sebagai berikut:

H₀: Model layak

H₁: Model tidak layak

Dimana ketika probabilitas Ljung-Box (Q) > *level of significance* ((α) =5%) maka H₀ diterima, sehingga dapat dikatakan bahwa model ARIMA yang terbentuk sudah layak, dan ketika probabilitas Ljung-Box (Q) \leq *level of significance* ((α) =5%) maka H₁ ditolak, sehingga dapat dikatakan bahwa model ARIMA yang terbentuk tidak layak.
4. Mengevaluasi model ARIMA (p, d, q) yang diperoleh, apabila model yang dihasilkan lebih dari satu. Jika model ARIMA (p, d, q) lebih dari satu maka seharusnya dilakukan evaluasi terhadap model yaitu dengan pemilihan model ARIMA terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai *Mean Square* (MS). Apabila pada suatu model ARIMA memiliki nilai MS terkecil maka model tersebut merupakan model ARIMA yang terbaik. Setelah diperoleh model terbaik hal selanjutnya adalah dilakukan pengujian melalui 2 kriteria untuk mengevaluasi keakuratan pemodelan ini, yaitu kriteria *in sample* yang berdasarkan pada nilai MSE dan kriteria *out sample* yang berdasarkan pada nilai MAPE
5. Selanjutnya dilakukan peramalan beberapa tahun kedepan

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Transformator Utama

Transformator yang digunakan pada penelitian ini adalah transformator utama yang merupakan jenis transformator daya penurun tegangan pada Gardu Induk Turen dan merupakan Gardu Induk sistem 70kV yang menerima pasokan utama dari Gardu Induk Kebonagung dan Interkoneksi dengan Gardu Induk Gampingan.



Gambar 4.1 Transformator Utama Unit 1 di Gardu Induk Turen

Data teknis transformator sebagai berikut:

Tipe : Transformator ALSTHOM SA VOISIENNE Type H 65900-01.

Tahun 1977

Kapasitas : 30 MVA

Frekuensi : 50 Hz

Fasa : 3fasa (R,S,T)

Tegangan Primer : 79,8 kV/70kV/60,2kV

Tegangan Sekunder : 20 kV

Temperatur Rise : 50°C

Standart : IEC 76-1967

Hubungan Kumparan : Y/Y

4.2 Data Pembebanan

Pengecekan terhadap pembebanan transformator dilakukan sebanyak dua kali dalam sehari pada WBP (waktu beban puncak) yaitu puku 08.00 dan 19.00. Namun data yang digunakan sebagai acuan adalah data pada pukul 19.00 yang dihimpun dari bulan Januari 2009 sampai dengan bulan Desember 2016 namun untuk pembukuannya hanya diambil nilai maksimumnya saja. Yang kemudian dijadikan sebagai data pembebanan. Untuk pengecekan pembebanan dimonitoring langsung dari ruang kontrol. Data hasil pengecekan pembebanan transformator selama 8 tahun (2009-2016) dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut

Table 4.1 Data pembebanan Gardu Induk Turen Unit 1 perbulan dalam satuan *ampere*

Bulan	Data Pembebanan (AMP)							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Januari	710	700	700	740	690	550	530	660
Februari	710	710	700	740	730	550	535	655
Maret	710	710	720	720	740	740	610	680
April	710	690	720	750	740	560	580	720
Mei	740	700	700	750	740	560	700	690
Juni	310	700	700	760	720	570	720	675
Juli	320	740	700	720	770	640	710	682
Agustus	340	760	730	750	780	620	690	703
September	340	710	730	760	620	620	700	700
Oktober	350	710	740	760	620	530	700	690
November	350	700	350	700	600	760	660	700
Desember	700	700	720	700	550	560	670	680
Rata-rata	524,167	710,833	684,167	737,5	691,667	605	650,417	686,25

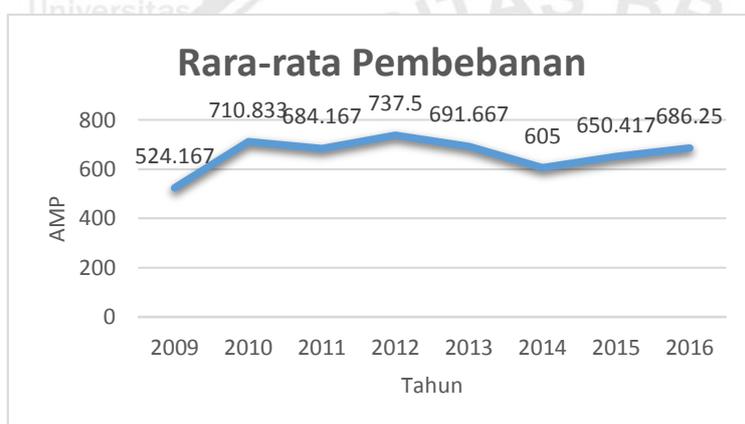
Sumber: Gardu Induk Turen

Dari data bulanan yang telah di peroleh, maka dapat dikompokkan kembali menjadi data tahunan dari hasil rata-rata pembebanan per-tahun, dan ditunjukkan pada table 4.2

Table 4.2 Rata-Rata Pembebanan

Tahun	Pembebanan (AMP)
2009	524,167
2010	710,833
2011	684,167
2012	737,5
2013	691,667
2014	605
2015	650,417
2016	686,25

Dari data rata-rata pembebanan selama 8 tahun dapat dibuat grafik trend pebebanan transformator seperti Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik Trend Pembebanan Tahunan

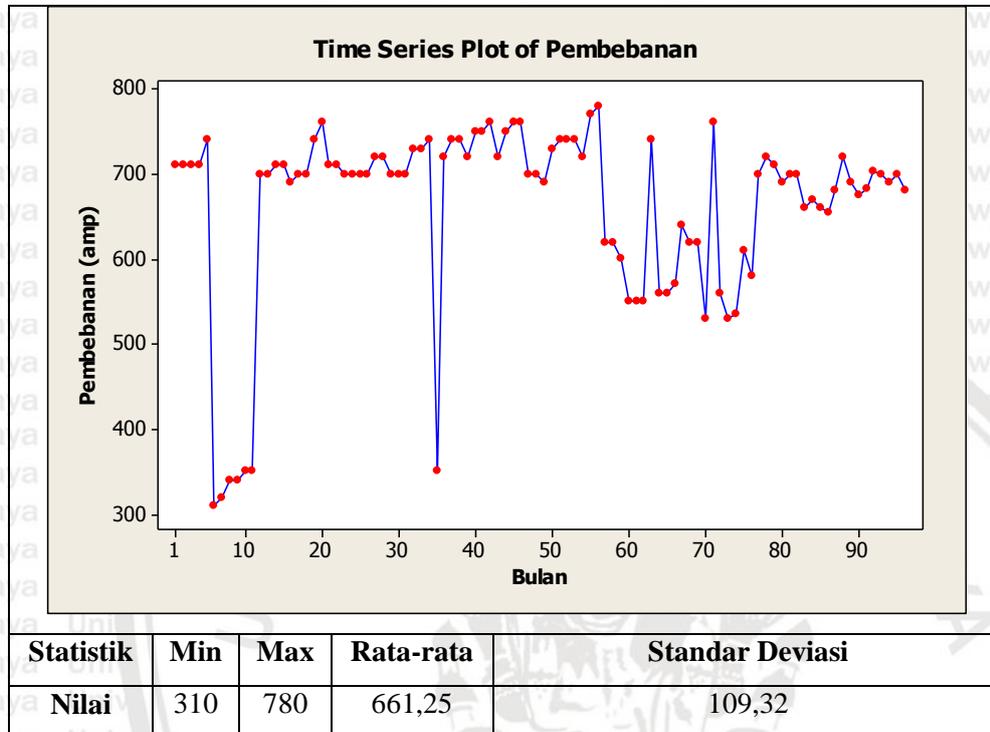
Bila dilihat pada grafik pada Gambar 4.2 dapat dilihat nilai rata-rata pembebanan terbesar untuk kurun waktu 8 tahun terjadi pada tahun 2012. Dengan rata-rata pembebanan sebesar 737,5 amp. Sedangkan rata-rata nilai pembebanan terkecil terjadi pada tahun 2009, yaitu sebesar 524,164 amp.

Namun pada kenyataannya pembebanan yang ada pada Gardu Induk Turen sangat tidak stabil dikarenakan adanya penambahan daya yang terjadi karena semakin banyaknya permintaan pasokan daya yang disalurkan pada wilayah sekitar Gardu Induk Turen, hal ini dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran daya untuk PT. PINDAD yang merupakan salah satu objek vital nasional. Oleh karena itu dibutuhkan peramalaan pembebanan untuk melihat stabilitas pembebanan yang terjadi pada transformator unit 1 dengan menggunakan pemodelan ARIMA.

4.3 Peramalan Data Pembebanan

4.3.1. Identifikasi Pola Data

Identifikasi pola data dimaksudkan untuk mengetahui pembebanan transformator di Gardu Induk Turen Malang dari tahun 2009 hingga tahun 2016. Hasil identifikasi pola dapat dilihat melalui gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4.3 Plot grafik data pembebanan bulanan GI Turen tahun 2009-2016

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa pembebanan transformator di GI Turen dari tahun 2009 hingga 2016 berpola acak. Hal ini dapat diketahui bahwa awal tahun 2009 pembebanan yang terjadi cenderung konstan, namun kemudian mengalami penurunan yang sangat signifikan pada bulan Juni tahun 2009. Dan kemudian mengalami peningkatan yang sangat signifikan pada bulan Desember tahun 2009. Hingga pada bulan September 2011 pembebanan Transformator di GI Turen mengalami peningkatan dan penurunan yang tidak terlalu signifikan. Pada bulan Oktober 2011 penurunan yang sangat signifikan kembali terjadi dan kembali dilanjutkan pada bulan November 2011 mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Pada bulan-bulan selanjutnya hingga pada tahun 2016 tidak terjadi peningkatan ataupun penurunan yang berarti seperti pada bulan Juni dan Desember tahun 2009, bulan Oktober dan November tahun 2011. Penurunan yang sangat signifikan pada bulan Juni tahun 2009 dan bulan Oktober 2011 terjadi karena pada saat periode tersebut minyak isolasi diganti dan dilakukan pemeliharaan, sehingga menyebabkan kondisi pembebanan pada periode tersebut mengalami penurunan yang sangat drastis.

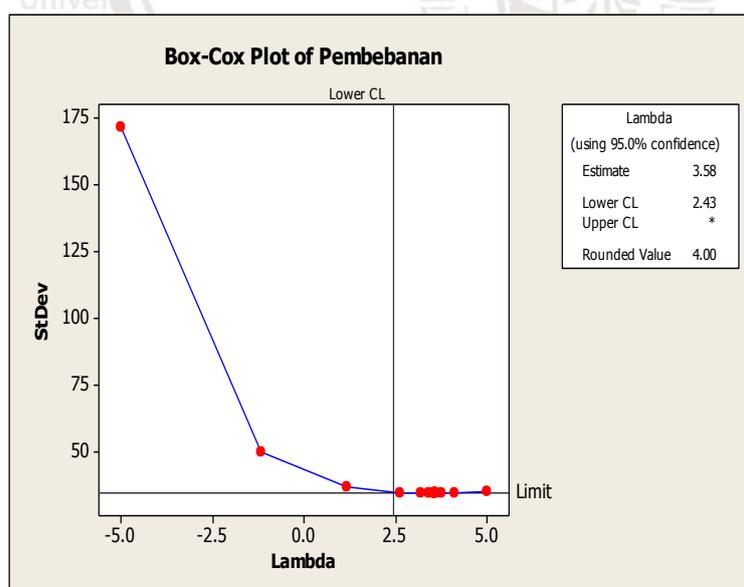
Berdasarkan perhitungan statistik, dapat diketahui bahwa pembebanan transformator di GI Turen dari tahun 2009 hingga tahun 2016 memiliki beban terendah sebesar 310 amp yang terjadi pada bulan Juni tahun 2011, sedangkan untuk pebebanan tertinggi sebesar 780 amp yang terjadi pada bulan Agustus tahun 2013. Rata-rata pembebanan pada transformator ini adalah sebesar 661,25 amp dengan standar deviasi sebesar 109,32 amp. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan transformator di GI Turen berpusat pada angka 661,25 amp dengan penyimpangan data sebesar 109,32 amp.

4.3.2. Pengujian Stasioneritas

4.3.2.1 Stasioner Terhadap Ragam

Pengujian stasioner digunakan untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah stasioner terhadap ragam atau tidak. Data yang dinyatakan stasioner terhadap ragam menunjukkan bahwa data tersebut telah stabil dalam ragam, sehingga dapat dilanjutkan untuk pengujian stasioneritas terhadap rata-rata.

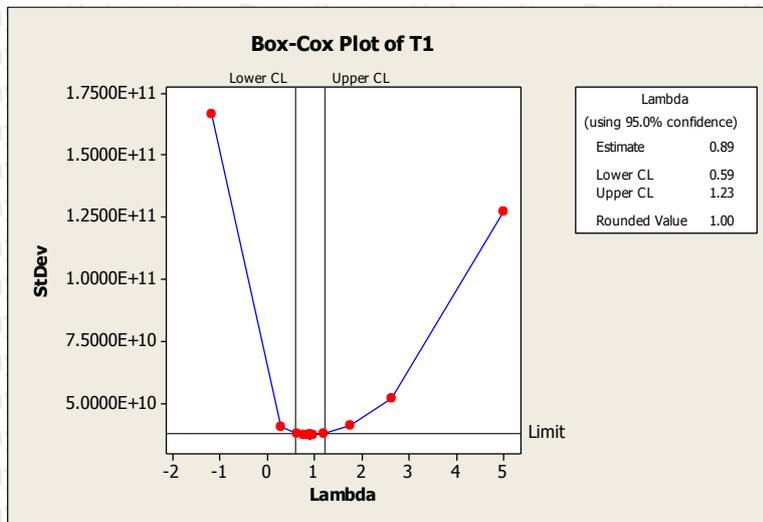
Pengujian stasioneritas terhadap ragam dilakukan dengan bantuan grafik Box-Cox. Kriteria pengujian menyatakan bahwa apabila *rounded value* bernilai 1 maka data tersebut dapat dinyatakan stasioner terhadap ragam, dan sebaliknya apabila *rounded value* tidak bernilai 1 maka data tersebut dinyatakan belum stasioner terhadap ragam, sehingga data pembebanan transformator harus dilakukan transformasi Box-Cox terlebih dahulu. Hasil pengujian stasioneritas dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini:



Gambar 4.4 Grafik pengujian stasioneritas pada data pembebanan

Berdasarkan grafik Box-Cox pada Gambar 4.4 diketahui bahwa nilai *rounded value* sebesar 4,00, sehingga dapat dikatakan bahwa data pembebanan transformator belum

stasioner terhadap ragam, dengan demikian maka perlu dilakukan transformasi Box-Cox untuk memperoleh data yang stasioner terhadap ragam. Gambar 4.5 merupakan hasil dari transformasi Box-Cox yang pertama.



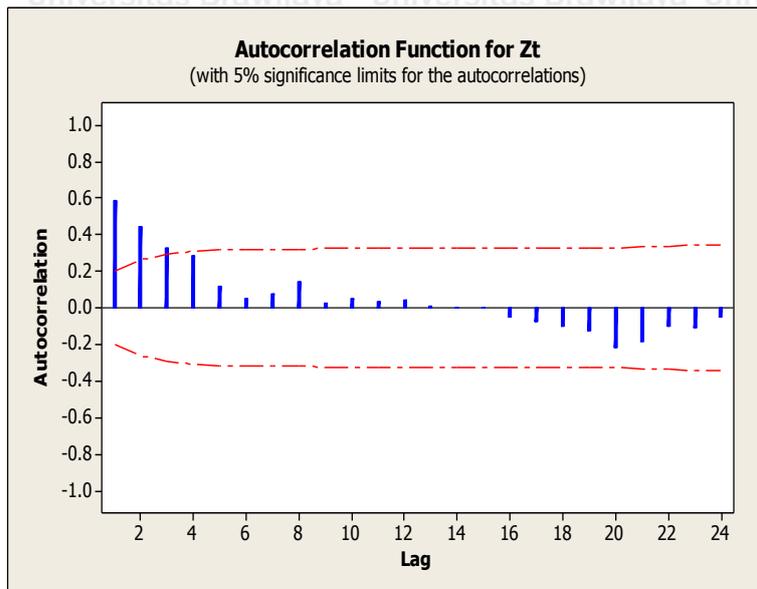
Gambar 4.5 Hasil transformasi Box-Cox pertama

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa nilai *rounded value* sebesar 1,00, sehingga dapat dikatakan bahwa data pembebanan telah stasioner terhadap ragam pada transformasi pertama.

4.3.2.2 Stasioneritas Terhadap Rara-rata

Pengujian stasioner terhadap rata-rata digunakan untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah stasioner terhadap rata-rata atau tidak. Data yang telah dinyatakan stasioner terhadap rata-rata menunjukkan bahwa data tersebut telah stabil dalam rata-rata, sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan pembentukan model dan untuk melakukan peramalan.

Pengujian stasioneritas terhadap rata-rata dilakukan dengan bantuan grafik ACF. Kriteria pengujian menyatakan apabila terdapat maksimal 3 lag pertama yang keluar dari garis *significance limits*, maka dapat dinyatakan bahwa data tersebut telah stasioner terhadap rata-rata. Namun apabila terdapat lebih dari 3 lag yang keluar dari *significance limits*, maka data tersebut dinyatakan belum stasioner terhadap rata-rata, sehingga data tersebut perlu dilakukan transformasi Difference. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian stasioner yang dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4.6.

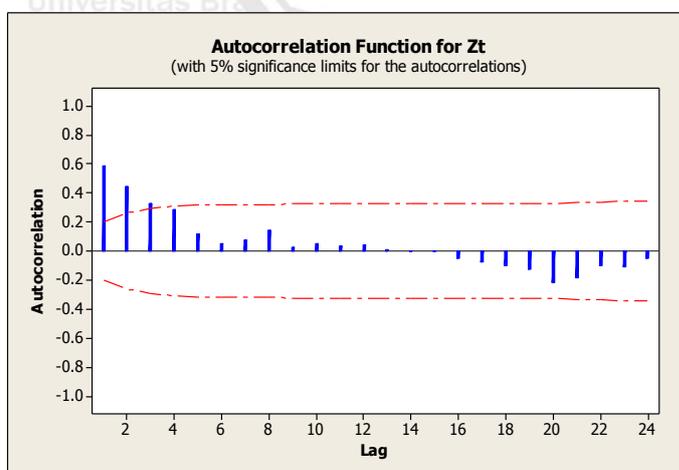


Gambar 4.6 Hasil transformasi Box-Cox pertama

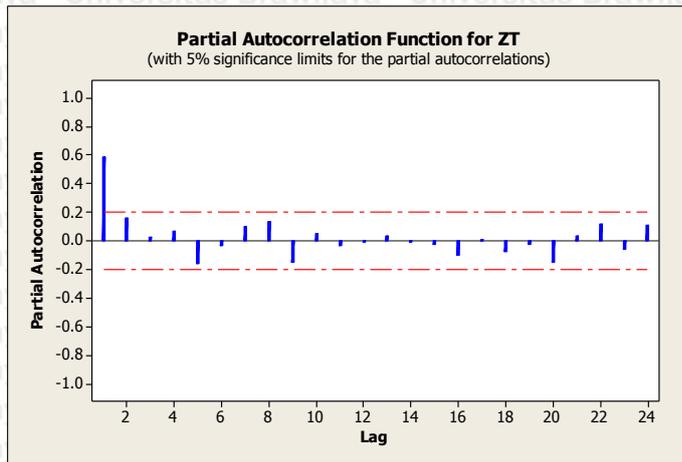
Berdasarkan Gambar 4.6 pada grafik ACF dapat diketahui bahwa terdapat 3 lag pertama yang keluar dari garis *significance limits*. Sehingga data pembebanan dapat dikatakan telah stasioner terhadap rata-rata.

4.3.3 Identifikasi Model ARIMA

Identifikasi model ARIMA dimaksudkan untuk mendapatkan model ARIMA (p,d,q) dari data yang telah stasioner. Model ARIMA (p,d,q) dapat diketahui melalui banyak lag yang keluar dari garis *significance limits* pada grafik ACF dan PACF. Lag yang keluar dari garis *significance limits* pada grafik ACF maka akan terbentuk model MA(q), sedangkan lag yang keluar dari garis *significance limits* pada grafik PACF maka akan terbentuk model AR(p), sedangkan banyaknya difference yang digunakan untuk mentransformasi data yang tidak stasioner dinyatakan sebagai orde d. Hasil dari nilai ACF dan PACF pada model ARIMA dapat diketahui sebagaimana grafik yang berada pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Grafik ACF untuk menentukan nilai MA(p)



Gambar 4.8 Grafik PACF untuk menentukan nilai AR(q)

Berdasarkan Gambar 4.7 pada grafik ACF dapat diketahui bahwa lag yang keluar dari garis *significance limits* adalah lag pertama hingga lag ketiga sehingga dapat diidentifikasi model MA(q) yang terbentuk adalah MA(3). Kemudian berdasarkan Gambar 4.8 pada grafik PACF dapat diketahui bahwa lag yang keluar dari garis *significance limits* adalah lag pertama sehingga dapat diidentifikasi model AR(p) yang terbentuk adalah AR(1).

Dengan demikian model tentative ARIMA yang terbentuk adalah sebagai berikut: (1,0,3)

- | | | |
|------------------|------------------|-----------------|
| 1. ARIMA (1,0,0) | 4. ARIMA (1,0,3) | 7. ARIMA(0,0,3) |
| 2. ARIMA (1,0,1) | 5. ARIMA(0,0,1) | |
| 3. ARIMA (1,0,2) | 6. ARIMA(0,0, 2) | |

4.3.4 Pengujian Kelayakan Model dalam ARIMA

Pengujian kelayakan model dalam ARIMA menggunakan uji Ljung-Box (Q) dengan hipotesis sebagai berikut:

H₀: Model layak

H₁: Model tidak layak

Kriteria pengujian menyebutkan apabila probabilitas Ljung-Box (Q) > *level of significance* ((α) =5%) maka H₀ diterima, sehingga dapat dikatakan bahwa model ARIMA yang terbentuk sudah layak, sebaliknya apabila probabilitas Ljung-Box (Q) ≤ *level of significance* ((α) =5%) maka H₁ ditolak, sehingga dapat dikatakan bahwa model ARIMA yang terbentuk tidak layak.

Berikut ini merupakan hasil pengujian kelayakan model yang dapat dilihat melalui Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian kelayakan model

Model ARIMA (p,d,q)	Probabilitas				Keterangan
	Lag 12	Lag 24	Lag 36	Lag 48	
ARIMA (1,0,0)	0,097	0,383	0,009	0,051	Tidak Layak
ARIMA (1,0,1)	0,433	0,847	0,486	0,744	Layak
ARIMA (1,0,2)	0,339	0,795	0,378	0,640	Layak
ARIMA (1,0,3)	0,307	0,754	0,306	0,553	Layak
ARIMA (0,0,1)	0,000	0,000	0,000	0,000	Tidak Layak
ARIMA (0,0,2)	0,000	0,000	0,000	0,000	Tidak Layak
ARIMA (0,0,3)	0,000	0,000	0,000	0,000	Tidak Layak

Berdasarkan hasil pengujian yang tertera pada lampiran dan ringkasan hasil pada Tabel 4.3 maka dapat diketahui bahwa model ARIMA (1,0,1), ARIMA (1,0,2), dan ARIMA (1,0,3) memiliki probabilitas yang lebih tinggi dari *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$) pada lag 12, lag 24, lag 36, lag 48. Hal menunjukkan bahwa model ARIMA (1,0,1), ARIMA (1,0,2), dan ARIMA (1,0,3) dinyatakan layak digunakan untuk meramalkan pembebanan transformator unit 1 di GI Turen. Sementara model ARIMA lainnya memiliki probabilitas yang kurang dari *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$). Hal ini menunjukkan bahwa residual pada model ARIMA tersebut dinyatakan tidak layak. Oleh karena itu model ARIMA (1,0,0), ARIMA (0,0,1), ARIMA (0,0,2), dan ARIMA (0,0,3) dinyatakan tidak layak digunakan untuk meramalkan pembebanan transformator unit 1 di GI Turen.

4.3.5 Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dimaksudkan untuk mendapatkan model ARIMA terbaik dari model yang layak. Pemilihan model ARIMA terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai *Mean Square* (MS). Apabila pada suatu model ARIMA memiliki nilai MS terkecil maka model tersebut merupakan model ARIMA yang terbaik. Berikut ini merupakan hasil pemilihan model terbaik yang dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pemilihan model terbaik berdasarkan nilai MS (*Mean Square*)

Model ARIMA (p,d,q)	Nilai Mean Square
ARIMA (1,0,1)	8050
ARIMA (1,0,2)	8124
ARIMA (1,0,3)	8009

Berdasarkan ringkasan Tabel diatas, maka dapat diketahui bahwa model ARIMA (1,0,3) memiliki nilai *mean square* terkecil. Dengan demikian model ARIMA (1,0,3) merupakan model ARIMA terbaik yang digunakan untuk meramalkan pembebanan transformator unit 1 di GI Turen.

4.3.6 Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dimaksudkan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sesuai dengan model terbaik. Kriteria pengujian menyatakan bahwa apabila probabilitas \leq *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$) maka pengaruh signifikan variabel bebas terhadap variabel terikat, dan sebaliknya apabila probabilitas lebih besar dari *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$) maka tidak ada pengaruh signifikan variabel bebas terhadap variabel terikat.

Berikut ini merupakan hasil hipotesis data pembebanan pada model ARIMA (1,0,3) yang dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil hipotesis data pembebanan pada model ARIMA (1,0,3)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	1,0001	0,0029	346,10	0,000
MA(1)	0,4008	0,1012	3,96	0,000
MA(2)	0,1468	0,1083	1,35	0,179
MA(3)	0,2469	0,1012	2,44	0,017

Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa model AR (1) menghasilkan nilai t-Statistic sebesar 346,10 dengan probabilitas sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai probabilitas \leq *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$). Dengan demikian terdapat pengaruh yang signifikan terhadap pembebanan transformator pada 1 periode sebelumnya terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini.

Model MA(1) menghasilkan nilai t-Statistic sebesar 3,96 dengan probabilitas sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai probabilitas \leq *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$). Dengan demikian terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kesalahan pembebanan transformator pada 1 periode sebelumnya terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini.

Model MA(2) menghasilkan nilai t-Statistic sebesar 1,35 dengan probabilitas sebesar 0,179. Hasil tersebut menunjukkan nilai probabilitas $>$ *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$). Dengan demikian tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kesalahan pembebanan transformator pada 2 periode sebelumnya terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini.

Model MA(3) menghasilkan nilai t-Statistic sebesar 2,44 dengan probabilitas sebesar 0,017. Hasil tersebut menunjukkan nilai probabilitas \leq *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$). Dengan demikian terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kesalahan pembebanan

transformator pada 3 periode sebelumnya terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini

4.3.7 Model Empirik ARIMA (1,0,3)

Model umum untuk ARIMA (1,0,3) adalah sebagai berikut:

$$\Delta Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1} + \theta_2 E_{t-2} + \theta_3 E_{t-3}$$

$$(Y_t - Y_{t-1}) = \phi_1 Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1} + \theta_2 E_{t-2} + \theta_3 E_{t-3}$$

$$Y_t = Y_{t-1} + \phi_1 Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1} + \theta_2 E_{t-2} + \theta_3 E_{t-3}$$

$$Y_t = (1 + \phi_1) Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1} + \theta_2 E_{t-2} + \theta_3 E_{t-3}$$

Sehingga terbentuk model empiric sebagai berikut :

$$\hat{Y}_t = (1 + \hat{\phi}_1) Y_{t-1} + \hat{\theta}_1 E_{t-1} + \hat{\theta}_2 E_{t-2} + \hat{\theta}_3 E_{t-3}$$

$$\hat{Y}_t = 2,0001 Y_{t-1} + 0,4008 E_{t-1} + 0,1468 E_{t-2} + 0,2469 E_{t-3}$$

Model tersebut dapat diartikan bahwa:

1. Koefisien model AR(1) sebesar 2,0001 menunjukkan bahwa pembebanan pada 1 periode sebelumnya berpengaruh positif dan signifikan terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini. Sehingga terjadinya peningkatan pembebanan transformator pada GI Turen sebesar 1 amp pada satu periode sebelumnya maka akan meningkatkan pembebanan transformator pada periode saat ini sebesar 2,0001.
2. Koefisien model MA(1) sebesar 0,4008 menunjukkan bahwa kesalahan pembebanan pada 1 periode sebelumnya berpengaruh positif dan signifikan terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini. Sehingga terjadinya peningkatan pembebanan transformator pada GI Turen sebesar 1 amp pada satu periode sebelumnya maka akan meningkatkan pembebanan transformator pada periode saat ini sebesar 0,4008.
3. Koefisien model MA(2) sebesar 0,1468 menunjukkan bahwa kesalahan pembebanan pada 2 periode sebelumnya berpengaruh positif dan tidak signifikan terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini. Sehingga terjadinya peningkatan pembebanan transformator pada GI Turen sebesar 1 amp pada 2 periode sebelumnya maka akan meningkatkan pembebanan transformator pada periode saat ini sebesar 0,1468, meskipun peningkatan tersebut tidak signifikan.
4. Koefisien model MA(3) sebesar 0,2469 menunjukkan bahwa kesalahan pembebanan pada 3 periode sebelumnya berpengaruh positif dan signifikan terhadap pembebanan transformator pada periode saat ini. Sehingga terjadinya

peningkatan pembebanan transformator pada GI Turen sebesar 1 amp pada 3 periode sebelumnya maka akan meningkatkan pembebanan transformator pada periode saat ini sebesar 0,2469.

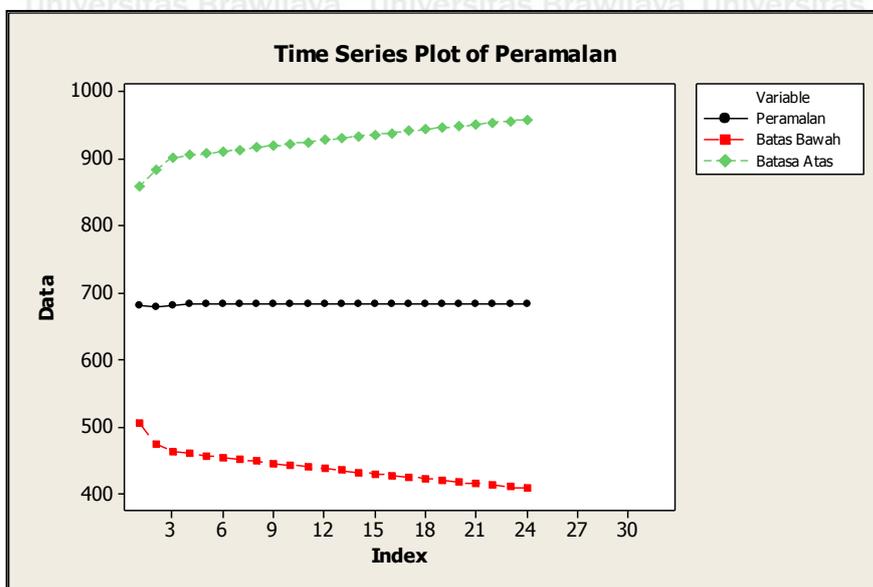
4.3.8 Peramalan

Hasil dari identifikasi model terbaik diperoleh model ARIMA (1,0,3) yang selanjutnya digunakan untuk melakukan peramalan 24 periode kedepan dari data pembebanan transformator di GI Turen dengan hasil peramalan yang akan ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Hasil peramalan pembebanan pada GI Turen selama 24 periode

Series	Forecast	Lower	Upper
Januari 2017	681,788	506,347	857,23
Februari 2017	679,178	474,647	883,709
Maret 2017	681,968	462,566	901,37
April 2017	682,029	459,679	904,38
Mei 2017	682,09	456,829	907,351
Juni 2017	682,151	454,017	910,286
Juli 2017	682,212	451,239	913,186
Agustus 2017	682,273	448,496	916,051
September 2017	682,334	445,785	918,884
Oktober 2017	682,395	443,106	921,685
November 2017	682,457	440,457	924,456
Desember 2017	682,518	437,838	927,197
Januari 2018	682,579	435,248	929,91
Februari 2018	682,64	432,685	932,595
Maret 2018	682,701	430,149	935,253
April 2018	682,762	427,639	937,885
Mei 2018	682,823	425,154	940,492
Juni 2018	682,884	422,694	943,075
Juli 2018	682,945	420,257	945,634
Agustus 2018	683,006	417,844	948,169
September 2018	683,068	415,453	950,683
Oktober 2018	683,129	413,083	953,174
November 2018	683,19	410,735	955,644
Desember 2018	683,251	408,408	958,094

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui peramalan pembebanan transformator di GI Turen cenderung mengalami peningkatan dari bulan Januari 2017 hingga bulan Desember 2018. Secara visual hasil peramalan dinyatakan pada grafik pada Gambar 4.9 berikut ini:



Gambar 4.9 Grafik hasil peramalan pembebanan pada GI Turen selama 24 bulan

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa pembebanan transformator di GI Turen diramalkan akan terjadi peningkatan hingga bulan Desember 2018.

Sedangkan untuk nilai kesalahan pada peramalan ini adalah

$$\begin{aligned} \sum PE_t &= \frac{X_t - F_t}{X_t} 100 \\ &= 146.746 \\ MAPE &= \frac{\sum_{i=1}^n |PE_i|}{n} \\ &= 2,39271\% \end{aligned}$$

Nilai MAPE (*Mean Absolute Percentaged Error*) sebesar 2,39271%. Artinya tingkat akurasi dari metode ARIMA tersebut sebesar 93,88868%, hasil tersebut menunjukkan bahwa model ARIMA layak digunakan untuk memperkirakan nilai pembebanan pada Transformator Unit 1 GI Turen

4.4 Data Pengujian Minyak

Data hasil pengujian minyak transformator diambil dari transformator 1 di Gardu Induk Turen Malang. Hasil pengujian minyak menggunakan metode DGA (*Dissolve Gas Analysis*) didapatkan hasil-hasil gas yang terkandung dalam minyak transformator unit 1.

Ketika dilakukan pengujian minyak transformator didapatkan hasil TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) yang tinggi pada waktu tertentu hal ini menandakan bahwa

penentuan waktu pemeliharaan terhadap transformator tidak bisa jika hanya dilihat dari data harian penggunaan transformator saja, melainkan juga melibatkan kondisi dari minyak isolasi. Sehingga penentuan waktu pemeliharaan didasarkan pada hasil uji DGA yang dihitung dengan menggunakan metode ARIMA. dan ditampilkan dalam Tabel 4.7 berikut, Data pembebanan Gardu Induk Turen Unit 1 perbulan dalam satuan *ampere*

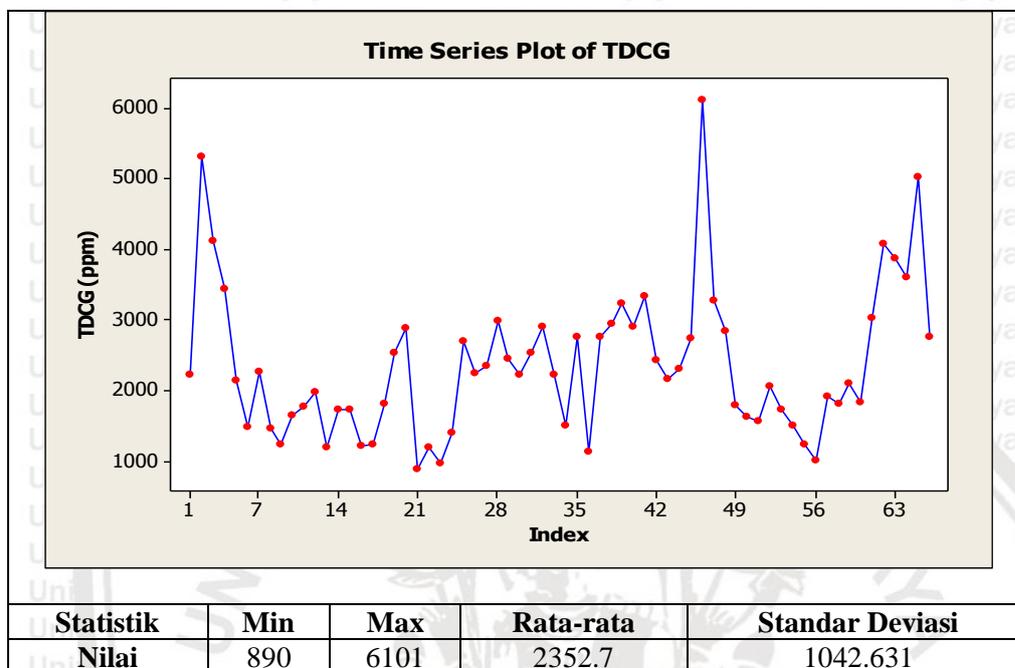
Table 4.7 Data TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) dalam satuan ppm (*part per million*)

Periode	Nilai TDCG	Periode	Nilai TDCG
Jan-Feb 2006	2227	Juli-Agus 2011	1512
Mar-Apr 2006	5308	Sep-Okt 2011	2752
Mei-Jun2006	4109	Nov-Des2011	1130
Juli-Agus 2006	3427	Jan-Feb 2012	2750
Sep-Okt 2006	2137	Mar-Apr 2012	2951
Nov-Des 2006	1476	Mei-Jun2012	3221
Jan-Feb 2007	2255	Juli-Agus 2012	2898
Mar-Apr 2007	1462	Sep-Okt 2012	3326
Mei-Jun2007	1235	Nov-Des2012	2426
Juli-Agus 2007	1655	Jan-Feb 2013	2153
Sep-Okt 2007	1763	Mar-Apr 2013	2298
Nov-Des 2007	1968	Mei-Jun2013	2745
Jan-Feb 2008	1201	Juli-Agus 2013	6106
Mar-Apr 2008	1732	Sep-Okt 2013	3274
Mei-Jun2008	1723	Nov-Des2013	2849
Juli-Agus 2008	1223	Jan-Feb 2014	1796
Sep-Okt 2008	1226	Mar-Apr 2014	1630
Nov-Des 2008	1821	Mei-Jun2014	1574
Jan-Feb 2009	2539	Juli-Agus 2014	2061
Mar-Apr 2009	2890	Sep-Okt 2014	1731
Mei-Jun2009	890	Nov-Des2014	1504
Juli-Agus 2009	1184	Jan-Feb 2015	1237
Sep-Okt 2009	966	Mar-Apr 2015	1013
Nov-Des 2009	1399	Mei-Jun2015	1906
Jan-Feb 2010	2697	Juli-Agus 2015	1812
Mar-Apr 2010	2252	Sep-Okt 2015	2098
Mei-Jun2010	2345	Nov-Des2015	1826
Juli-Agus 2010	2975	Jan-Feb 2016	3028,37
Sep-Okt 2010	2452	Mar-Apr 2016	4064,29
Nov-Des2010	2231	Mei-Jun2016	3877,02
Jan-Feb 2011	2523	Juli-Agus 2016	3596,11
Mar-Apr 2011	2893	Sep-Okt 2016	5028,5
Mei-Jun2011	2226	Nov-Des2016	2761

4.5 Peramalan Data TDCG

4.5.1. Identifikasi Pola Data

Identifikasi pola data dimaksudkan untuk mengetahui kondisi gas yang terkandung pada transformator di GI Turen dari tahun 2006 hingga tahun 2016. Hasil identifikasi pola data dapat dilihat melalui Gambar 4.10 berikut ini:



Gambar 4.10 Plot grafik data TDCG di GI Turen tahun 2006-2016

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa TDCG pada minyak isolator di transformator unit 1 GI Turen dari tahun 2006 hingga tahun 2016 berpola acak. Hal ini dapat diketahui bahwa pada periode Mei-Juni 2006 mengalami penurunan. Namun pada Juli-Agustus 2006 mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Dan selama tahun 2008 hingga 2009 kandungan gas yang terkandung pada transformator mengalami penurunan yang drastis dari periode September–Oktober 2006. Hingga pada periode Januari - Februari tahun 2010 nilai TDCG cenderung mengalami peningkatan, meskipun terjadi penurunan yang tidak terlalu signifikan pada beberapa periode. Namun pada periode September-Desember 2011 penurunan yang sangat signifikan kembali terjadi. Pada tahun 2016 nilai TDCG cenderung mengalami peningkatan.

Berdasarkan perhitungan statistik, diketahui bahwa nilai TDCG dari tahun 2006 hingga tahun 2016 paling rendah yaitu sebesar 890 ppm yang terjadi pada periode Mei-Juni tahun 2009. Sedangkan nilai TDCG paling tinggi yaitu sebesar 6101ppm yang terjadi pada periode Juli-Agustus tahun 2013. Rata-rata nilai TDCG pada minyak isolator di transformator unit 1 GI Turen adalah sebesar 2352,7ppm dengan standar deviasi sebesar

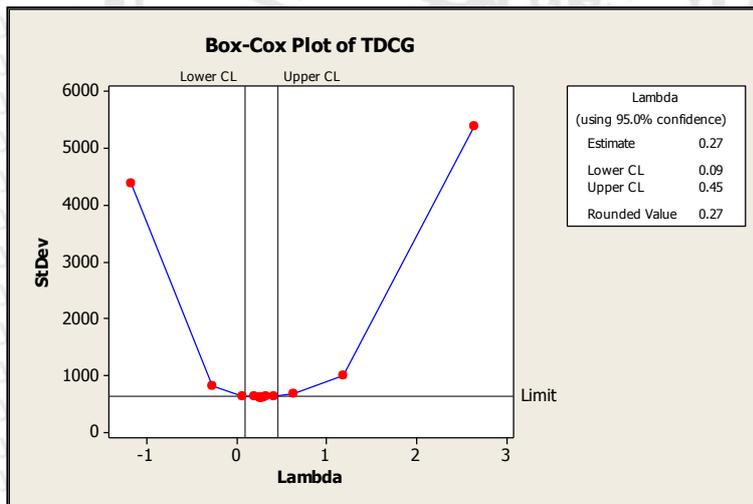
1042,631ppm Hal ini berarti bahwa nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi di transformator unit 1 berpusat pada angka 2352,7ppm dengan penyimpangan data sebesar 1042,631ppm

4.5.2. Pengujian Stasioneritas

4.5.2.1 Stasioner Terhadap Ragam

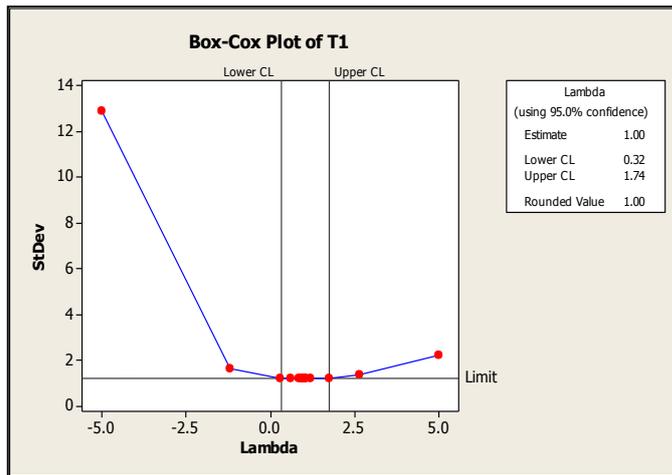
Pengujian stasioner digunakan untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah stasioner terhadap ragam atau tidak. Data yang telah dinyatakan stasioner terhadap ragam berarti data tersebut telah stabil dalam ragam, sehingga dapat dilanjutkan untuk pengujian stasioneritas terhadap rata-rata.

Pengujian stasioneritas terhadap ragam dilakukan dengan bantuan grafik Box-Cox. Kriteria pengujian menyatakan bahwa apabila *rounded value* bernilai 1 maka data akan dinyatakan stasioner terhadap ragam, dan apabila *rounded value* tidak bernilai 1 maka data akan dinyatakan belum stasioner terhadap ragam, sehingga data nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi harus dilakukan transformasi Box-Cox. Hasil pengujian stasioner dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4.11 berikut ini:



Gambar 4.11 Grafik pengujian stasioneritas pada data TDCG

Berdasarkan grafik Box-Cox yang terdapat pada Gambar 4.11 diketahui bahwa nilai *rounded value* sebesar 0,27, sehingga dapat dikatakan bahwa data nilai TDCG belum stasioner terhadap ragam. Dengan demikian perlu dilakukan transformasi Box-Cox untuk memperoleh data yang stasioner terhadap ragam. Gambar 4.12 merupakan hasil dari transformasi Box-Cox yang pertama.



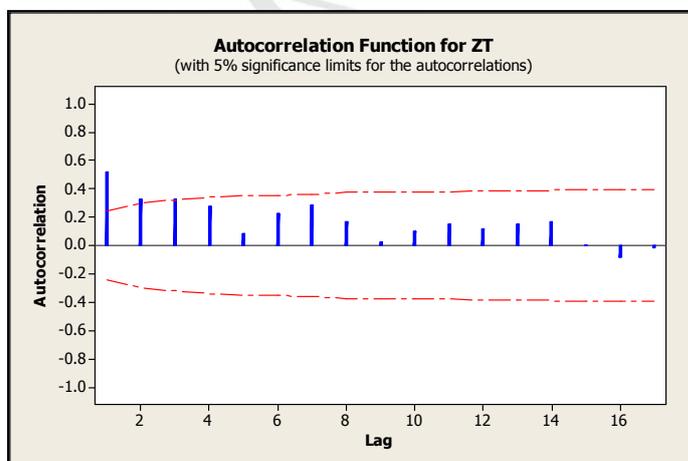
Gambar 4.12 Hasil transformasi Box-Cox yang pertama

Berdasarkan grafik Box-Cox pada Gambar 4.12 diketahui bahwa nilai *rounded value* sebesar 1,00. Sehingga dapat dikatakan bahwa data nilai TDCG stasioner terhadap ragam.

4.5.2.2 Stasioneritas Terhadap Rata-rata

Pengujian stasioner terhadap rata-rata digunakan untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah stasioner terhadap rata-rata atau tidak. Data yang telah dinyatakan stasioner terhadap rata-rata menunjukkan bahwa data tersebut telah stabil dalam rata-rata, sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan pembentukan model dan untuk melakukan peramalan.

Pengujian stasioneritas terhadap rata-rata dilakukan dengan bantuan grafik ACF. Kriteria pengujian menyatakan apabila terdapat maksimal 3 lag pertama yang keluar dari garis *significance limits*, maka dapat dinyatakan bahwa data tersebut telah stasioner terhadap rata-rata. Namun apabila terdapat lebih dari 3 lag yang keluar dari significant limits, maka data tersebut dinyatakan belum stasioner terhadap rata-rata, sehingga data tersebut perlu dilakukan transformasi Difference. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian stasioner yang dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4.13



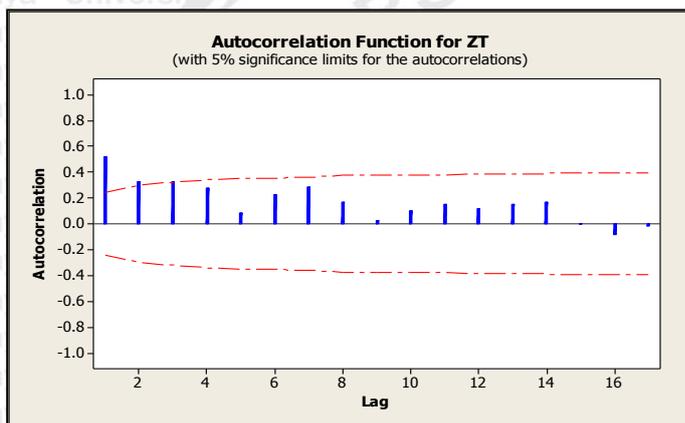
Gambar 4.13 Grafik hasil pengujian stasioner

Berdasarkan grafik ACF pada Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa terdapat 3 lag pertama yang keluar dari garis significance limits. Sehingga data nilai TDCG dapat dikatakan telah stasioner terhadap rata-rata

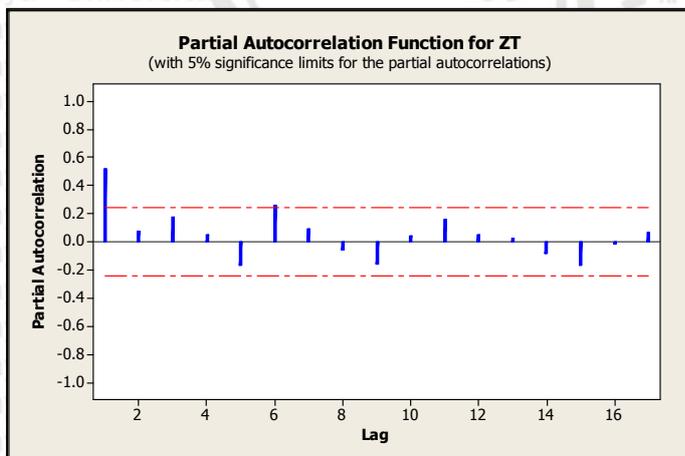
4.5.3 Identifikasi Model ARIMA

Identifikasi model ARIMA dimaksudkan untuk mendapatkan model ARIMA (p,d,q) dari data yang telah stasioner. Model ARIMA (p,d,q) dapat diketahui melalui banyak lag yang keluar dari garis *significance limits* pada grafik ACF dan PACF. Lag yang keluar dari garis *significance limits* pada grafik ACF maka akan terbentuk model MA(q), sedangkan lag yang keluar dari garis *significance limits* pada garis PACF maka akan terbentuk model AR(p), sedangkan banyaknya difference yang digunakan untuk mentransformasi data yang tidak stasioner dinyatakan sebagai orde d. Hasil dari nilai ACF dan PACF pada model ARIMA dapat diketahui sebagaimana grafik yang berada pada Gambar 4.14 dan .Gambar

4.15



Gambar 4.14 Grafik ACF untuk menentukan nilai MA(p)



Gambar 4.15 Grafik PACF untuk menentukan nilai AR(q)

Berdasarkan Gambar 4.14 pada grafik ACF dapat diketahui bahwa lag yang keluar dari garis *significance limits* adalah lag pertama sehingga dapat diidentifikasi model MA(q)

yang terbentuk adalah MA(3). Kemudian berdasarkan Gambar 4.15 pada grafik PACF dapat diketahui bahwa lag yang keluar dari garis *significance limits* adalah lag pertama sehingga dapat diidentifikasi model AR(p) yang terbentuk adalah AR(2). Dengan demikian model tentative ARIMA yang terbentuk adalah sebagai berikut: (2,0,3)

4.5.4 Pengujian Kelayakan Model dalam ARIMA

Pengujian kelayakan model dalam ARIMA menggunakan uji Ljung-Box (Q) dengan

- | | | |
|-------------------|-------------------|------------------|
| 1. ARIMA (2,0,3) | 2. ARIMA(2,0,2) | 3. ARIMA(2,0,1) |
| 4. ARIMA (2,0,0) | 5. ARIMA (1,0,3) | 6. ARIMA (1,0,2) |
| 7. ARIMA (1,0,1) | 8. ARIMA (1,0,0) | 9. ARIMA (0,0,3) |
| 10. ARIMA (0,0,2) | 11. ARIMA (0,0,1) | |

hipotesis sebagai berikut:

H0: Model layak

H1: Model tidak layak

Pada kriteria pengujian disebutkan apabila probabilitas Ljung-Box (Q) > *level of significance* ($\alpha = 5\%$) maka H0 diterima, sehingga dapat dikatakan bahwa model ARIMA yang terbentuk sudah layak, sebaliknya apabila probabilitas Ljung-Box (Q) \leq *level of significance* ($\alpha = 5\%$) maka H0 ditolak, sehingga dapat dikatakan bahwa model ARIMA yang terbentuk tidak layak.

Berikut ini merupakan hasil pengujian kelayakan model yang dapat dilihat melalui Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pengujian kelayakan model

Model ARIMA (p,d,q)	Probabilitas				Keterangan
	Lag 12	Lag 24	Lag 36	Lag 48	
ARIMA (2,0,3)	0,652	0,970	0,992	0,999	Layak
ARIMA (2,0,2)	0,762	0,984	0,997	0,999	Layak
ARIMA (2,0,1)	0,795	0,983	0,997	0,999	Layak
ARIMA (2,0,0)	0,051	0,426	0,801	0,927	Layak
ARIMA (1,0,3)	0,062	0,620	0,906	0,971	Layak
ARIMA (1,0,2)	0,025	0,416	0,714	0,795	Tidak Layak
ARIMA (1,0,1)	0,862	0,987	0,997	0,999	Layak
ARIMA (1,0,0)	0,144	0,716	0,937	0,988	Layak
ARIMA (0,0,3)	0,116	0,499	0,812	0,549	Layak
ARIMA (0,0,2)	0,131	0,732	0,930	0,979	Layak
ARIMA (0,0,1)	0,115	0,685	0,906	0,931	Layak

Berdasarkan hasil pengujian yang tertera pada lampiran dan ringkasan hasil pada Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa semua model memiliki probabilitas yang > *level of*

significance ($(\alpha) = 5\%$) kecuali ARIMA (1,0,2) karena nilai pada lag 12 < *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$). Hal ini menunjukkan semua model ARIMA kecuali ARIMA (1,0,2) dinyatakan layak digunakan untuk meramalkan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi pada transformator unit 1 di GI Turen .

4.5.5 Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dimaksudkan untuk mendapatkan model ARIMA terbaik dari model yang layak. Pemilihan model ARIMA terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai *Mean Square* (MS). Apabila pada suatu model ARIMA memiliki nilai MS terkecil maka model tersebut merupakan model ARIMA yang terbaik. Berikut ini merupakan hasil pemilihan model terbaik yang dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil pemilihan model terbaik berdasarkan nilai MS (*Mean Square*)

Model ARIMA (p,d,q)	Nilai Mean Square
ARIMA (2,0,3)	1713431
ARIMA (2,0,2)	1683383
ARIMA (2,0,1)	1667204
ARIMA (2,0,0)	1938665
ARIMA (1,0,3)	2637912
ARIMA (1,0,1)	1645254
ARIMA (1,0,0)	2120541
ARIMA (0,0,3)	1784609
ARIMA (0,0,2)	2560528
ARIMA (0,0,1)	2843609

Berdasarkan ringkasan Tabel di atas, dapat diketahui bahwa model ARIMA (1,0,1) memiliki nilai *mean square* terkecil. Dengan demikian model ARIMA (1,0,1) merupakan model ARIMA yang terbaik digunakan untuk meramalkan nilai TDGC yang terkandung pada minyak isolasi pada transformator unit 1 di GI Turen.

4.5.6 Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dimaksudkan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sesuai dengan model terbaik. Kriteria pengujian menyatakan bahwa apabila probabilitas \leq *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$) maka pengaruh signifikan variabel bebas terhadap variabel terikat, dan sebaliknya apabila probabilitas lebih besar dari *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$) maka tidak ada pengaruh signifikan variabel bebas terhadap variabel terikat.

Berikut ini merupakan hasil pengujian hipotesis data nilai TDCG di GI Turen Malang model ARIMA (1,0,1), yang dapat dilihat melalui Tabel 4.10 berikut ini,
Tabel 4.10 Hasil hipotesis data nilai TDCG pada model ARIMA (1,0,1)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	1,0007	0,0223	44,93	0,000
MA(1)	0,7824	0,0845	9,26	0,000

Berdasarkan Tabel 4.10 diketahui bahwa model AR(1) menghasilkan nilai t-Statistic sebesar 44,93 dengan probabilitas sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai probabilitas < *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$.) Dengan demikian terdapat pengaruh yang signifikan terhadap nilai TDCG pada 1 periode sebelumnya terhadap nilai TDCG pada periode saat ini.

Model MA(1) menghasilkan nilai t-Statistic sebesar 9,26 dengan probabilitas sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai probabilitas < *level of significance* ($(\alpha) = 5\%$.) Dengan demikian terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kesalahan nilai TDCG pada 1 periode sebelumnya terhadap TDCG pada periode saat ini.

4.5.7 Model Empirik ARIMA (1,0,1)

Model umum ARIMA (1,0,1) adalah sebagai berikut :

$$\Delta Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1}$$

$$(Y_t - Y_{t-1}) = \phi_1 Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1}$$

$$Y_t = Y_{t-1} + \phi_1 Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1}$$

$$Y_t = (1 + \phi_1) Y_{t-1} + E_t + \theta_1 E_{t-1}$$

Sehingga terbentuk model empiric sebagai berikut :

$$\hat{Y}_t = (1 + \hat{\phi}_1) Y_{t-1} + \hat{\theta}_1 E_{t-1}$$

$$\hat{Y}_t = 2,0007 Y_{t-1} + 0,7824 E_{t-1}$$

Model tersebut dapat diartikan bahwa :

1. Koefisien model AR(1) sebesar 2,0007 berarti TDCG satu periode sebelumnya berpengaruh positif dan signifikan terhadap TDCG pada periode saat ini. Hal ini berarti terjadinya peningkatan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi sebesar 1ppm pada satu periode sebelumnya maka akan meningkatkan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi periode saat ini sebesar 2,0007.
2. Koefisien model MA(1) sebesar 0,7824 berarti kesalahan nilai TDCG satu periode sebelumnya berpengaruh positif dan signifikan terhadap nilai TDCG

pada periode saat ini. Hal ini berarti terjadinya peningkatan kesalahan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi sebesar 1 ppm pada satu periode sebelumnya maka akan meningkatkan TDCG yang terkandung pada minyak isolasi periode saat ini sebesar 0,7824.

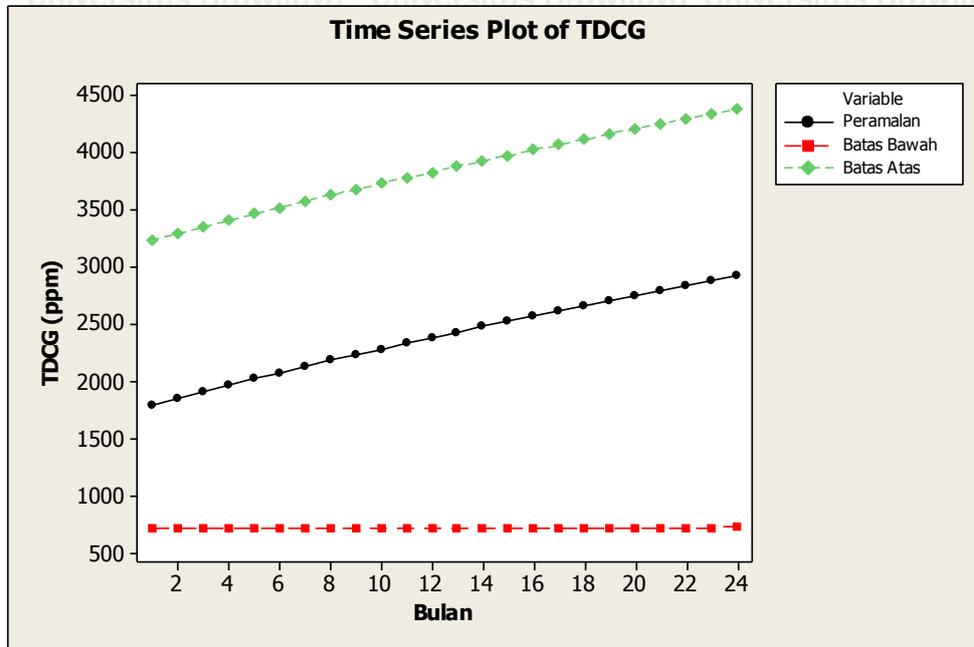
4.5.8 Peramalan

Hasil identifikasi model terbaik diperoleh model ARIMA (1,0,1) yang selanjutnya digunakan untuk melakukan peramalan 24 periode kedepan dari data nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi transformator unit 1 di GI Turen dengan hasil peramalan yang akan di tunjukan pada Tabel 4.11 sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil peramalan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi transformator unit 1 pada GI Turen selama 24 periode

Series	Batas Bawah	Peramalan	Batas Atas
Januari 2017	717,54	1797,01	3232,08
Februari 2017	718,01	1855,76	3291,79
Maret 2017	718,49	1913,25	3350,24
April 2017	718,97	1969,57	3407,51
Mei 2017	719,45	2024,78	3463,68
Juni 2017	719,93	2078,96	3518,82
Juli 2017	720,41	2132,16	3572,98
Agustus 2017	720,89	2184,44	3626,22
September 2017	721,37	2235,84	3678,58
Oktober 2017	721,85	2286,42	3730,12
November 2017	722,33	2336,21	3780,88
Desember 2017	722,81	2385,26	3830,88
Januari 2018	723,3	2433,59	3880,18
Februari 2018	723,78	2481,24	3928,79
Maret 2018	724,26	2528,24	3976,76
April 2018	724,74	2574,62	4024,11
Mei 2018	725,23	2620,4	4070,86
Juni 2018	725,71	2665,62	4117,04
Juli 2018	726,19	2710,28	4162,67
Agustus 2018	726,68	2754,42	4207,77
September 2018	727,16	2798,05	4252,37
Oktober 2018	727,65	2841,19	4296,49
November 2018	728,13	2883,87	4340,13
Desember 2018	728,62	2926,09	4383,32

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui peramalan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi transformator unit 1 di GI Turen Malang cenderung mengalami peningkatan dari bulan Januari 2017 hingga bulan Desember 2018. Secara visual hasil peramalan dinyatakan dalam grafik yang terdapat pada Gambar 4.16 berikut :



Gambar 4.16 Grafik hasil peramalan nilai TDCG yang terkandung pada minyak isolasi transformator unit 1 pada GI Turen selama 24 bulan

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.16 dapat diketahui bahwa nilai TDCG pada minyak isolasi di GI Turen diramalkan akan terjadi peningkatan hingga bulan Desember 2018.

Sedangkan untuk nilai kesalahan pada peramalan ini adalah

$$\begin{aligned} \sum PE_t &= \frac{X_t - F_t}{X_t} 100 \\ &= -173.842 \\ MAPE &= \frac{\sum_{i=1}^n |PE_i|}{n} \\ &= 7,243408\% \end{aligned}$$

Nilai MAPE (*Mean Absolute Percentaged Error*) sebesar 7,243408%. Artinya tingkat akurasi dari metode ARIMA tersebut sebesar 92,75659% hasil tersebut menunjukkan bahwa model ARIMA layak digunakan untuk memperkirakan nilai pembebanan pada Transformator Unit 1 GI Turen

BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisis, maka diperoleh kesimpulan bahwa pola yang terbentuk dari nilai pembebanan maupun nilai TDCG merupakan pola time series dimana semakin lama polanya akan semakin naik, dan apabila tidak dilakukan pemeliharaan lebih lanjut maka pola tersebut akan semakin naik.
 - A. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh kesimpulan bahwa model terbaik dari metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) yang digunakan untuk melakukan peramalan pembebanan pada GI Turen adalah ARIMA (1,0,3) sedangkan ARIMA yang digunakan untuk melakukan peramalan nilai TDCG pada GI Turen adalah ARIMA (1,0,1).
 - B. Peramalan TDCG dengan menggunakan ARIMA (1,0,1) memiliki nilai MAPE (Mean Absolute Percentaged Error) sebesar 7,25%. Artinya tingkat akurasi dari metode ARIMA tersebut adalah 92,75%. Hal ini menunjukkan bahwa metode ARIMA layak digunakan untuk peramalan nilai TDCG pada minyak isolasi di transformator unit 1 GI Turen.
- 2a. Peramalan nilai TDCG pada minyak isolasi diketahui cenderung mengalami peningkatan dari bulan Januari tahun 2017 hingga bulan Desember 2018 dengan nilai peramalan sebesar 1797,01 ppm, dimana nilai terendahnya sebesar 717,54ppm dan nilai tertinggiya 3232,08ppm. Menurut Tabel IEEE Limits, nilai peramalan pada bulan Januari 2017 sebesar 1797,01 ppm atau pada tingkat 2 dimana pada tingkatan ini nilai TDCG mulai tinggi, ada kemungkinan timbulnya gejala-gejala kegagalan yang harus mulai diwaspadai, sehingga perlu dilakukan pengambilan sampel minyak lebih rutin dan sering. Dan waktu yang tepat untuk mulai dilakukan pemeliharaan adalah pada bulan Juni 2018
- 2b. Peramalan pembebanan transformator di GI Turen Malang cenderung mengalami peningkatan dari bulan Januari tahun 2017 hingga bulan Desember tahun 2018 dimana nilai peramalan pada bulan Desember tahun 2018 yaitu sebesar 683,21 amp dengan nilai terendah sebesar 408,408amp dan nilai tertinggiya mencapai angka 958,094amp, sehingga waktu yang tepat untuk dilakukan pemeliharaan

adalah pada bulan januari 2017 karena nilai batas maksimum untuk transformator ini adalah 600 amp.

5.2 Saran

- A. Sebaiknya daya yang menuju ke PT. PINDAD diarahkan ke transformator yang lain agar dapat mengurangi pembebanan pada transformator unit 1, sehingga pembebanan pada tranformator unit 1 menjadi lebih stabil.
- B. Perlu dilakukan filter minyak lebih sering agar nilai pembebanan tidak melebihi batas normal, seperti yang terjadi pada bulan juli tahun 2009 dimana setelah dilakukannya filter minyak isolasi, yg membuat nilai pembebanan menjadi turun



DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, L. (1994). *Peramalan Bisni*. Yogyakarta: BPF.
- Box, G.E.P., & Jenkins, G.M. (1976). *Time Series Analysis Forecasting and Control, 2nd Edition*. San Francisco: Holden-Day.
- Bowerman, B.L., O'Connell, R. T., & Koehler, AB. (2005). *Forecasting, Time series, and Regression, Fourth Edition*. USA: Thomson Learning, Inc.
- Corder, Anthony. (1995). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta: Erlangga.
- Cryer, J.D. (1986). *Time Series Analysis*. Boston: PWS-KENT Publishing. Company.
- Henke, J., E. Arthur, G. Dean, W. Wichern. (2003). *Peramalan Bisnis. Edisi Ketujuh*. Jakarta: Prenhallindo.
- Hardityo, Rahmat. (2008). *Deteksi dan Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Analisis Gas terlarut*. Skripsi tidak dipublikasikan. Depok: Universitas Indonesia
- IEEE Std C57.104-(2008), *Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineer, Inc.
- Khair, A. (2011). *Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek menggunakan Kombinasi Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) dengan Regresi Linier Antara Suhu dan Daya Listrik*. Skripsi Tidak dipublikasikan. Depok: Universitas Indonesia.
- Makridakis, S. & Wheelwright, S.C. (1999). *Method dan Aplikasi Peramalan. Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Mulyana. (2004). *Analisis Deret Waktu*. Sumedang: Universitas Padjajaran.
- Mulyono, Sri. (2000). *Peramalan Bisnis dan Ekonometrika. Edisi Kesatu*. Jakarta: Erlangga.
- Nachrowi, N.D & Usman, H. (2006). *Pendekatan Populer dan Praktis Ekonometrika Untuk Analisis Ekonomi dan Keuangan*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- PT. PLN. (2003). *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta: PT PLN. (Persero) P3B
- PT.Pindad. <http://www.bumn.go.id/pindad/halaman/134> (diakses 10 Oktober 2016).
- Sumanto. (1996). *Teori Transformator*. Yogyakarta: Andi.
- Stefani. (2015). *Analisis Prediktif Maintenance Transformator Utama Unit 1 Di PLTA Sutami*. Skripsi Tidak dipublikasikan. Depok: Universitas Brawijaya.

Wei, William.W.S. (2006). *Time Series Analysis, Univariate and Multivariate Methods.*

Seond Edition. Canada: Addison Wesley Publishing Company.

Wulandari, Diah. (2011). *Studi Analisis Penjadwalan Pemeliharaan Transformator Daya 150kV di PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali Berdasarkan Prediksi Karakteristik Minyak Isolasi.* Skripsi Tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November



LAMPIRAN

Lampiran 1: Data Beban Tertinggi Bulanan Trafo Daya GI Turen

A. Tahun 2009



PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAFODAYA GI TUREN TAHUN 2009

BLN	TRAFODAYA 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA								JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA	
	TGL	JAM	kV	AMP	MW	MVAR	SUHU				OLTC
							OIL	COIL			
1	29	19:00	20,2	710	25,0	4,0	60		13	7	24
2	11	19:00	20,6	710	25,0	4,2	59		13	8	24
3	10	19:00	20,4	710	25,0	4,6	60		13	7	24
4	22	19:00	20,3	710	24,8	4,6	62		13	6	24
5	5	19:00	20,0	740	25,2	4,8	64		11	5	24
6	16	19:00	20,6	310	9,6	3,8	39	59	13	8	24
7	28	19:00	20,4	320	9,8	3,8	31	52	13	12	24
8	25	19:00	20,5	340	10,2	4,5	35	56	12	12	24
9	16	19:01	20,2	340	10,2	4,5	36		12	11	24
10	22	19:00	20,6	350	10,6	4,2	39	59	13	10	24
11	12	19:00	20,2	350	10,4	4,2	40	59	12	7	24
12	4	19:00	20,0	700	23,0	4,2	52		12	6	24

B. Tahun 2010

PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

**BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAF0 DAYA GI TUREN
TAHUN 2010**

BLN	TRAF0 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA									JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA
	TGL	JAM	KV	AMP	MW	MVAR	SUHU		OLTC		
							OIL	COIL			
1	22	19:00	20,2	700	24,0	4,0	58		13		24
2	15	19:00	20,1	710	24,4	4,0	62		12		24
3	1	19:00	20,4	710	24,0	4,0	60		12		24
4	5	19:00	20,1	690	23,6	2,2	58	-	13		24
5	27	19:00	20,0	700	24,0	4,2	60	-	13		24
6	10	19:00	20,0	700	24,4	4,0	60	-	12		24
7	22	19:01	20,2	740	24,6	4,0	60		12		24
8	13	19:00	20,2	760	24,6	87,8	50	-	13		24
9	2	19:00	20,0	710	24,6	4,2	46	-	13		24
10	6	19:00	20,1	710	24,0	3,8	47	-	13		24
11	27	19:00	20,2	700	24,0	4,5	46	-	13		24
12	6	19:00	20,2	700	23,8	4,0	42	-	12		24



C. Tahun 2011



PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAF0 DAYA GI TUREN TAHUN 2011

BLN	TRAF0 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA									JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA
	TGL	JAM	KV	AMP	MW	MVAR	SUHU		OLTC		
							OIL	COIL			
1	4	19:00	20,2	700	24,2	4,0	45	-	12		24
2	1	19:00	20,2	700	24,2	4,0	44	-	12		24
3	2	19:00	20,1	720	24,4	3,8	44	-	12		24
4	2	19:00	20,1	720	24,4	3,8	44	-	12		24
5	6	19:00	20,0	700	24,2	4,0	45	-	12		24
6	1	19:00	20,2	700	24,0	4,0	44	-	13		24
7	27	19:00	20,2	700	24,2	4,0	44	-	13		24
8	29	19:00	20,1	730	25,2	4,0	42	-	12		24
9	29	19:00	20,1	730	25,2	4,0	43	-	13		24
10	10	19:00	20,1	740	25,0	4,0	42	-	12		24
11	16	19:00	20,2	350	10,4	3,5	46	59	13		24
12	5	19:00	20,2	720	25,2	4,0	44	-	14		24



D. Tahun 2012

PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAFU DAYA GI TUREN TAHUN 2012

BLN	TRAFU 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA								JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA	
	TGL	JAM	KV	AMP	MW	MVAR	SUHU				OLTC
							OIL	COIL			
1	12	19:00	20,0	740	25,6	4,0	43	-	13	24:00:00	
2	16	19:00	20,0	740	25,6	4,0	42	-	13	24:00:00	
3	5	19:00	20,2	720	24,6	4,0	45	-	13	20:41:00	
4	26	19:00	20,2	750	23,4	4,0	44	-	13	24:00:00	
5	1	19:00	20,2	750	25,5	4,0	42	-	13	24:00:00	
6	5	19:00	20,2	760	25,6	4,0	43	-	13	20:41:00	
7	23	19:00	19,0	720	21,6	3,0	43	-	13	24:00:00	
8	13	19:00	20,2	750	22,5	4,0	40	-	13	24:00:00	
9	14	19:00	20,2	760	22,8	4,0	43	-	43	24:00:00	
10	8	19:00	20,0	760	25,4	4,0	43	-	13	24:00:00	
11	17	19:00	20,1	700	21,0	4,0	43	-	12	24:00:00	
12	16	19:00	20,1	700	23,8	3,8	36	-	13	24:00:00	



E. Tahun 2013



PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAFODAYA GI TUREN TAHUN 2013

BLN	TRAFO 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA									JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA
	TGL	JAM	KV	AMP	MW	MVAR	SUHU		OLTC		
							OIL	COIL			
1	19	19:00	20,1	690	24,0	4,0	44	-	12		24:00:00
2	8	19:00	20,0	730	25,0	4,0	13	-	11		24:00:00
3	4	19:00	20,2	740	25,4	4,0	39	-	13		24:00:00
4	2	19:00	20,1	740	25,4	4,0	43	-	13		24:00:00
5	7	19:00	20,2	740	22,2	4,0	47	-	13		24:00:00
6	13	19:00	20,1	720	21,3	4,0	44	-	13		24:00:00
7	18	19:00	20,2	770	23,1	4,0	40	-	13		24:00:00
8	5	19:00	20,2	780	26,5	4,0	46	-	11		20:41:00
9	18	19:00	20,2	620	18,6	4,0	40	-	13		24:00:00
10	1	19:00	20,2	620	18,6	4,0	44	-	13		24:00:00
11	6	19:00	20,1	600	18,0	2,5	47	-	15		24:00:00
12	2	19:00	20,0	550	16,5	2,5	48	-	15		24:00:00

F. Tahun 2014



PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAFODAYA GI TUREN TAHUN 2014

BLN	TRAFODAYA 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA									JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA
	TGL	JAM	kV	AMP	MW	MVAR	SUHU		OLTC		
							OIL	COIL			
1	16	19:00	20,2	550	16,5	2,4	45		13		24:00:00
2	3	19:00	20,0	550	16,5	2,5	47	-	14		24:00:00
3	2	19:00	20,2	740	22,2	2,4	45	-	13		24:00:00
4	23	19:00	20,0	560	16,8	2,5	45	-			24:00:00
5	12	19:00	20,2	560	16,8	2,6	46	-			24:00:00
6	18	19:00	20,2	570	17,1	2,5	43	-			24:00:00
7	22	19:00	20,2	640	19,2	2,5	44	-			24:00:00
8	22	19:00	20,3	620	18,6	2,5	44	-			24:00:00
9	12	19:00	20,1	620	18,6	2,5	43	-			24:00:00
10	29	19:00	20,0	530	15,9	2,5	43	-			24:00:00
11	24	19:00	20,0	760	21,6	2,5	44	-			24:00:00
12	11	19:00	20,2	560	16,8	2,5	44	-			24:00:00



G. Tahun 2015



PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAF0 DAYA GI TUREN TAHUN 2015

BLN	TRAF0 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA								JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA	
	TGL	JAM	KV	AMP	MW	MVAR	SUHU				OLTC
							OIL	COIL			
1	9	19:00	20,2	530	15,9	2,5	45	-		24:00:00	
2	3	19:00	20,2	535	15,8	2,5	42	-		24:00:00	
3	3	19:00	20,2	610	18,3	2,5	42	-		24:00:00	
4	6	19:00	20,2	580	17,4	2,5	45	-		24:00:00	
5	20	19:00	20,2	700	21,0	2,5	44	-		24:00:00	
6	20	19:00	20,2	720	21,6	2,5	44	-		24:00:00	
7	1	19:00	20,2	710	21,3	2,5	43	-		24:00:00	
8	14	19:00	20,2	690	20,7	2,5	44	-		24:00:00	
9	7	19:00	20,2	700	21,0	2,5	44	-		24:00:00	
10	11	19:00	20,2	700	21,0	2,5	44	-		24:00:00	
11	5	19:00	20,2	660	18,0	2,5	44	-		20:41:00	
12	28	19:00	20,2	670	20,1	2,5	44	-		24:00:00	

H. Tahun 2016



PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

BEBAN TERTINGGI BULANAN TRAF0 DAYA GI TUREN TAHUN 2016

BLN	TRAFO 1 ALSTHOM 70/20 KV 30 MVA									JMLH KERJA OLTC	JMLH JAM KERJA
	TGL	JAM	kV	AMP	MW	MVAR	SUHU		OLTC		
							OIL	COIL			
1	9	19:00	20,2	660	19,8	2,5	45	-			24:00:00
2	19	19:00	20,2	655	19,7	2,5	43	-			24:00:00
3	17	19:00	20,2	680	20,4	2,5	44	-			24:00:00
4	10	19:00	20,2	720	21,6	2,5	44	-			18:50:00
5	25	19:00	20,2	690	20,7	2,5	43	-			24:00:00
6	16	19:00	20,2	675	19,5	2,5	43	-			24:00:00
7	26	19:00	20,2	682	20,4	2,5	44	-			24:00:00
8	5	19:00	20,2	703	21,0	2,5	44	-			20:41:00
9	24	19:01	20,2	700	20,0	2,5	44	-			24:00:00
10	16	19:02	20,3	690	22,0	2,5	43	-			25:00:00
11	5	19:03	20,2	700	20,4	2,5	44	-			26:00:00
12	1	19:04	20,3	680	21,0	2,5	43	-			27:00:00



Lampiran 2: data TDCG



PT. PLN (PERSERO) UNIT BISNIS STRATEGIS
PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

NO.	GARDU INDUK	T R A F O				TABEL IEEE LIMITS (Kondisi Level)				GAS
		NO.	MERK	DAYA (MVA)	RATIO (kV)	Kond. 1	Kond. 2	Kond. 3	Kond. 4	
						100	700	1800	>1800	Hydrogen (H2)
1	TUREN	1	ALSTHOM	30	70/20					Nitrogen (N2)
						120	400	1000	>1000	Methane (CH4)
						350	570	1400	>1400	Carbon Monoxide (CO)
						2500	4000	10000	>10000	Carbon Dioxide (CO2)
						50	100	200	>200	Ethylene (C2H4)
						65	100	150	>150	Ethane (C2H6)
						1	9	35	> 35	Acetylene (C2H2)
						720	1920	4630	>4630	Total Dissolves Combustible Gases (TDCG)

Konsentrasi Gas Terdeteksi												
ppm (v/v)												
Tanggal Pengujian												
01/05/06	03/09/06	05/11/06	07/13/06	09/07/06	11/23/06	01/11/07	03/08/07	05/24/07	07/05/07	09/13/07	11/08/07	01/10/08
20,000	1,714	1,029	324,000	221,000	666,000	136	65,000	85,000	89,000	20,000	36	964,000
727,613	910,344	1337,930	1012,800	1832,680	503,362	421,479	617,723	1254,950	976,697	1356,290	1109,100	906,524
24,000	3,508	186,000	122,000	7,000	168,000	1,000	8,000	10,000	12,000	4,000	9,000	3,000
18,000	0	2,818	975,000	0	2,500	0	0	84,000	361,000	0	9,000	0
941,000	13,334	17,852	14,416	1,656	0	0	2,105	2,277	3,192	464,000	1,436	326,000
80,000	37,000	43,000	34,000	5,000	62,000	0	1,000	0	0	0	1,000	0
41,000	48,000	33,000	35,000	2,000	31,000	0	1,000	75,000	0	2,000	8,000	1,000
44,000	2,000	0	0	0	0	0	0	0	0	30,000	0	0
2227,000	5308,000	4109,000	3427,000	2137,000	1476,000	2255,000	1462,000	1235,000	1655,000	1763,000	1968,000	1201,000

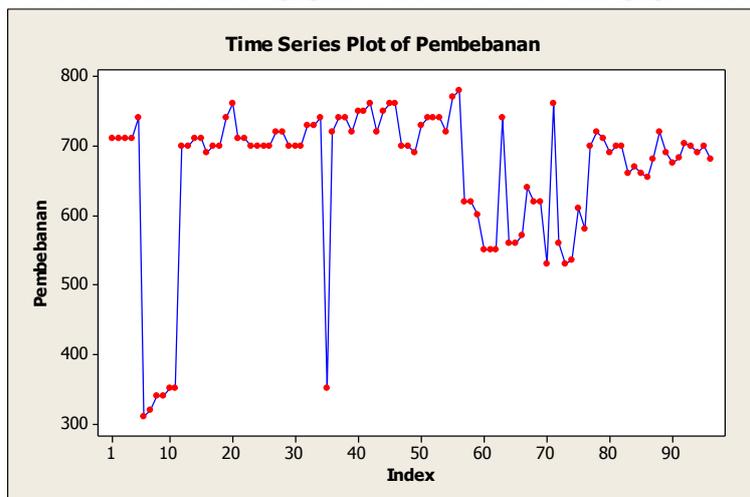
Konsentrasi Gas Terdeteksi											
ppm (v/v)											
Tanggal Pengujian											
03/20/08	05/15/08	07/17/08	09/04/08	11/27/08	01/08/09	03/12/09	05/07/09	07/09/09	09/03/09	11/26/09	01/21/10
35,000	57,000	64,000	20,000	20,000	51,000	62,000	45,000	42,000	31,000	32,000	99,000
1521,620	1021,900	1407,480	1312,330	1436,200	1107,920	1048,120	1132,090	1456,560	1140,500	1313,190	639,807
11,000	16,000	14,000	6,000	10,000	14,000	20,000	20,000	22,000	18,000	20,000	32,000
251,000	652,000	643,000	0	183,000	464,000	743,000	799,000	1,063	817,000	935,000	2,536
3,381	4,923	6,340	1,507	1,801	3,557	6,635	4,792	4,880	3,032	5,073	4,598
5,000	7,000	2,000	0	3,000	10,000	6,000	17,000	1,000	25,000	11,000	29,000
0	0	0	0	0	0	56,000	9,000	56,000	74,000	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000	2,000
1732,000	1723,000	1223,000	1226,000	1821,000	2539,000	2890,000	890,000	1184,000	966,000	1399	2697,000

Konsentrasi Gas Terdeteksi											
ppm (v/v)											
Tanggal Pengujian											
03/11/10	05/14/10	07/22/10	09/09/10	11/18/10	01/21/11	03/03/11	05/12/11	07/14/11	09/15/11	11/10/11	01/05/12
95,000	166,000	128,000	152,000	20,000	20,000	52,000	42,000	56,000	145,000	82,000	20,000
1363,550	1283,970	1323,800	1028,190	1067,100	1362,000	654,504	1365,340	1058,790	1364,720	705,427	1041,570
32,000	13,000	33,000	18,000	4,000	5,000	16,000	15,000	21,000	29,000	21,000	423,000
2,121	1,818	1,771	2,226	0	0	1,002	743,000	1,396	2,017	1,416	0
12,174	2,954	3,734	2,223	159,000	183,000	2,313	3,381	4,983	3,213	3,239	348,000
4,000	31,000	17,000	45,000	1,000	3,000	6,000	0	14,000	9,000	0	0
0	0	0	12,000	0	1,000	16,000	23,000	24,000	0	2,000	1,000
1,000	17,000	27,000	0	0	0	0	0	1,000	26,000	10,000	57,000
2252	2345,000	2975,000	2452,000	2231,000	2523,000	2893,000	2226,000	1512,000	2752,000	1130,000	2750,000

Konsentrasi Gas Terdeteksi											
ppm (v/v)											
Tanggal Pengujian											
03/29/12	05/24/12	07/19/12	09/20/12	11/01/12	01/17/13	03/21/13	05/23/13	07/11/13	09/19/13	11/07/13	01/17/14
59,000	148,000	176,000	131,000	121,000	159,000	66,000	41,291	67,000	20,000	20,000	20,000
1305,950	1019,770	1395,390	1063,130	1067,230	1023,670	1227,420	1118,470	1117,290	1112,050	1389,790	1120,190
11,000	23,000	25,000	25,000	23,000	27,000	1,000	21,000	22,000	1,287	19,000	19,000
445,000	1,640	1,889	1,744	1,279	1,962	1,022	1,516	1,455	0	1,147	1,388
1,724	3,258	3,406	3,584	2,357	2,199	3,285	10,624	8,623	6,779	6,053	6,015
0	0	0	0	0	1,000	5,000	3,000	0	9,000	32,000	4,000
0	0	0	0	1,000	0	2,000	0	0	1,000	2,000	82,000
0	9,000	8	9,000	3,000	5,000	3,000	4,000	8,000	9,000	26,000	7,000
2951,000	3221,000	2898,000	3326,000	2426,000	2153,000	2298	2745,000	6106,000	3274,000	2849,000	1796,000

Lampiran 3. Identifikasi Pola Data Pembebanan

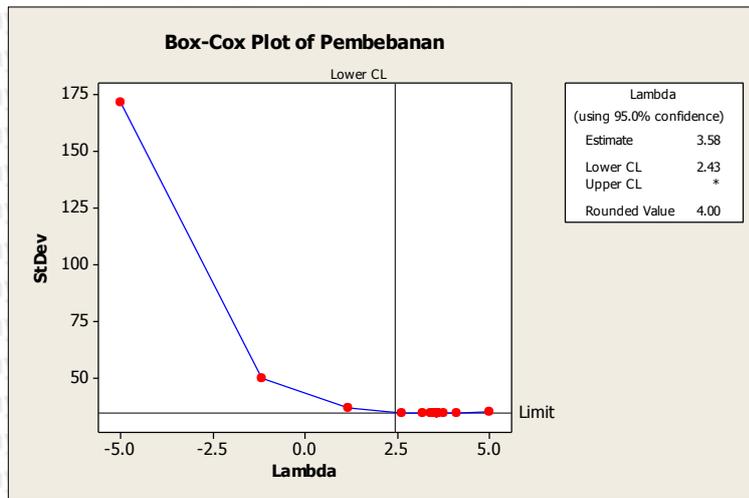
Plot Data Bulanan untuk Data Pembebanan dari Tahun 2009 - 2016



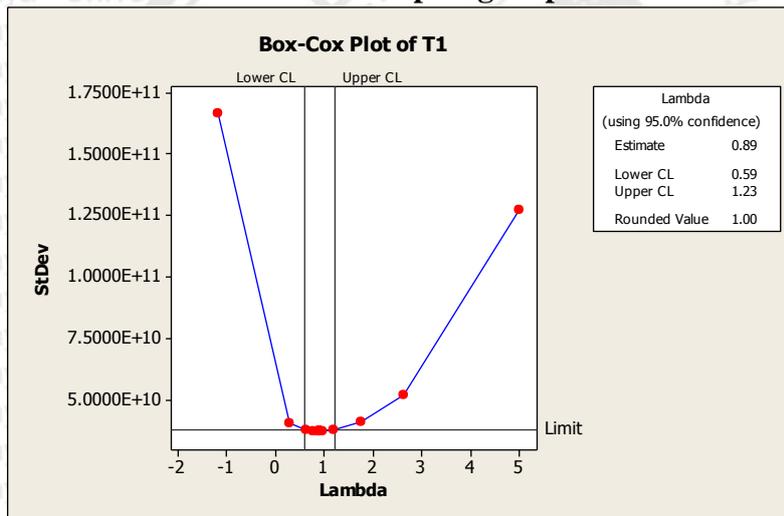
Lampiran 4. Pembentukan Model ARIMA untuk Data Pembebanan

A. Pengujian Stasioner

1. Stasioneritas terhadap Ragam pada Data Awal



2. Stasioneritas terhadap Ragam pada Data Transformasi 1

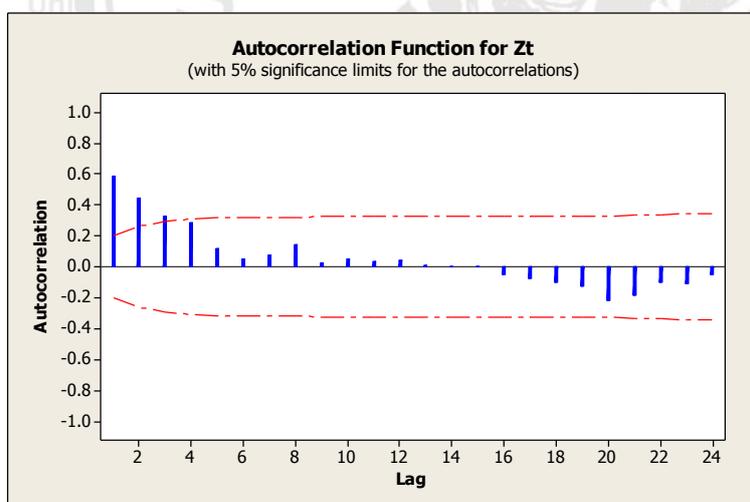


B. Identifikasi Model ARIMA

1. Plot ACF Pembebanan

Autocorrelation Function: ZT

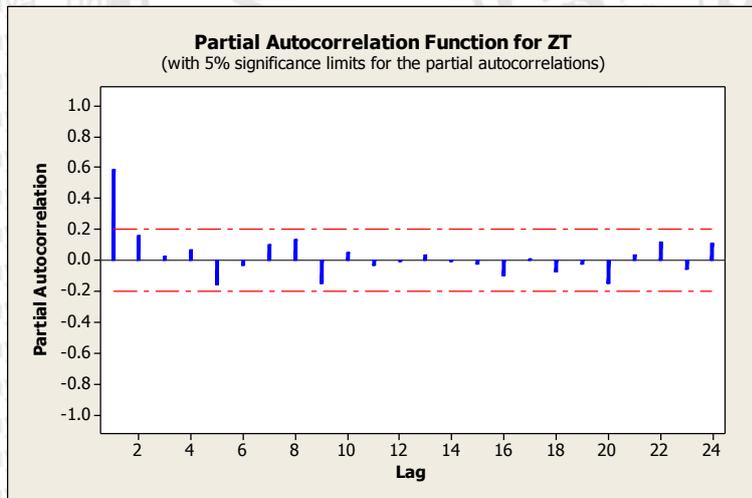
Lag	ACF	T	LBO
1	0.584260	5.72	33.81
2	0.447111	3.38	53.81
3	0.326759	2.22	64.61
4	0.283579	1.83	72.84
5	0.118387	0.74	74.29
6	0.051201	0.32	74.56
7	0.072126	0.45	75.11
8	-0.139346	0.86	77.19
9	-0.022580	0.14	77.24
10	0.050299	0.31	77.52
11	0.032663	0.20	77.64
12	0.040552	0.25	77.82
13	0.006688	0.04	77.83
14	0.001216	0.01	77.83
15	0.000036	0.00	77.83
16	-0.051585	-0.32	78.14
17	-0.071851	-0.44	78.75
18	-0.103653	-0.63	80.05
19	-0.126900	-0.77	82.02
20	-0.216730	-1.31	87.83
21	-0.183059	-1.09	92.04
22	-0.102900	-0.60	93.38
23	-0.110291	-0.65	94.95
24	-0.050757	-0.30	95.29



2. Plot PACF Data Pembebanan

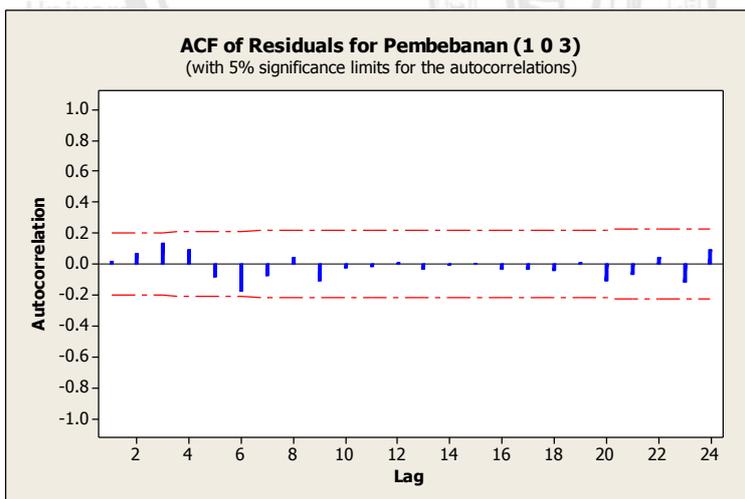
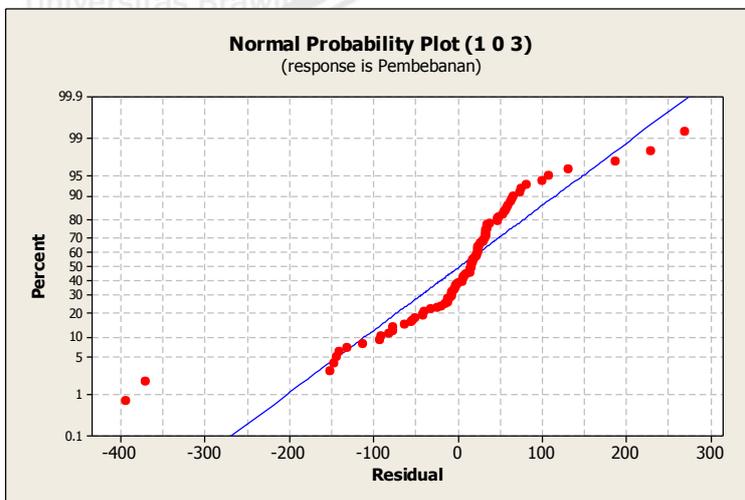
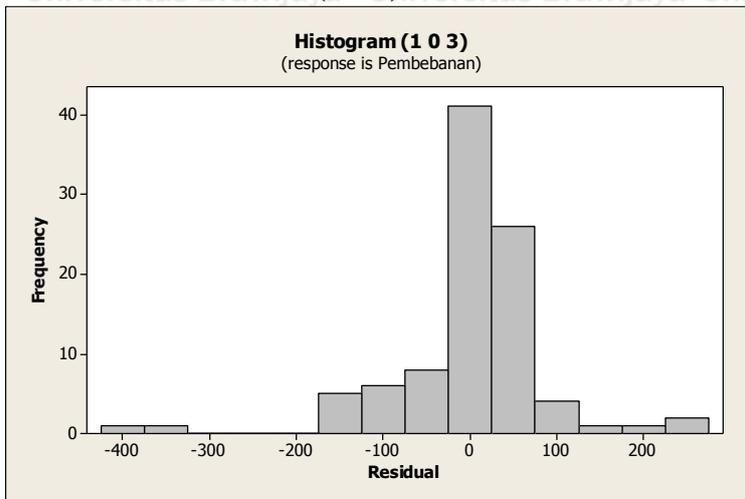
Partial Autocorrelation Function: ZT

Lag	PACF	T
1	0.584260	5.72
2	0.160559	1.57
3	0.021295	0.21
4	0.069971	0.69
5	-0.156820	-1.54
6	-0.037403	-0.37
7	0.099131	0.97
8	0.136546	1.34
9	-0.146541	-1.44
10	0.050054	0.49
11	-0.030548	-0.30
12	-0.008779	-0.09
13	0.033989	0.33
14	-0.011821	-0.12
15	-0.021959	-0.22
16	-0.098282	-0.96
17	0.010346	0.10
18	-0.075984	-0.74
19	-0.029253	-0.29
20	-0.151358	-1.48
21	0.034610	0.34
22	0.115214	1.13
23	-0.062691	-0.61
24	0.109290	1.07



C. Pengujian Kelayakan Model dalam ARIMA

1. Model ARIMA (1 0 3)



Pemodelan ARIMA

Estimates at each iteration

Iteration	SSE	Parameters				
0	69619976	0.100	0.100	0.100	0.100	
1	38583956	0.250	-0.002	0.101	0.111	
2	19413290	0.365	-0.152	0.054	0.142	
3	7926371	0.515	-0.244	-0.065	0.123	
4	5947684	0.665	-0.122	0.001	0.152	
5	2589249	0.815	-0.040	-0.010	0.126	
6	896095	0.965	0.102	-0.014	0.074	
7	761383	0.997	0.252	0.039	0.079	
8	748632	0.999	0.349	0.053	0.090	
9	746707	0.999	0.362	0.057	0.112	
10	745398	1.000	0.366	0.068	0.128	
11	744310	1.000	0.370	0.078	0.144	
12	743346	1.000	0.374	0.087	0.158	
13	742471	1.000	0.377	0.095	0.170	
14	741678	1.000	0.381	0.103	0.182	
15	740971	1.000	0.384	0.110	0.193	
16	740361	1.000	0.387	0.117	0.203	
17	739857	1.000	0.390	0.123	0.212	
18	739462	1.000	0.392	0.128	0.220	
19	739167	1.000	0.394	0.133	0.226	
20	738956	1.000	0.396	0.136	0.232	
21	738811	1.000	0.398	0.140	0.236	
22	738714	1.000	0.399	0.142	0.240	
23	738650	1.000	0.400	0.144	0.243	
24	738607	1.000	0.400	0.146	0.245	
25	738580	1.000	0.401	0.147	0.247	

** Convergence criterion not met after 25 iterations **

* WARNING * Back forecasts not dying out rapidly

Back forecasts (after differencing)

Lag	-96 - -91	618.914	618.858	618.803	618.748	618.692	618.637
Lag	-90 - -85	618.582	618.526	618.471	618.415	618.360	618.305
Lag	-84 - -79	618.249	618.194	618.139	618.084	618.028	617.973
Lag	-78 - -73	617.918	617.862	617.807	617.752	617.696	617.641
Lag	-72 - -67	617.586	617.531	617.475	617.420	617.365	617.310
Lag	-66 - -61	617.254	617.199	617.144	617.089	617.034	616.978
Lag	-60 - -55	616.923	616.868	616.813	616.757	616.702	616.647
Lag	-54 - -49	616.592	616.537	616.482	616.426	616.371	616.316
Lag	-48 - -43	616.261	616.206	616.151	616.096	616.040	615.985
Lag	-42 - -37	615.930	615.875	615.820	615.765	615.710	615.655
Lag	-36 - -31	615.600	615.544	615.489	615.434	615.379	615.324
Lag	-30 - -25	615.269	615.214	615.159	615.104	615.049	614.994
Lag	-24 - -19	614.939	614.884	614.829	614.774	614.719	614.664
Lag	-18 - -13	614.609	614.554	614.499	614.444	614.389	614.334
Lag	-12 - -7	614.279	614.224	614.169	614.114	614.059	614.004
Lag	-6 - -1	613.949	613.894	613.839	613.784	613.729	628.176
Lag	0 - 0	662.045					

Back forecast residuals

Lag	-96 - -91	-0.111	-0.155	-0.189	-0.237	-0.272	-0.301
Lag	-90 - -85	-0.330	-0.354	-0.375	-0.395	-0.411	-0.426
Lag	-84 - -79	-0.439	-0.451	-0.461	-0.470	-0.478	-0.485
Lag	-78 - -73	-0.491	-0.497	-0.501	-0.506	-0.509	-0.513
Lag	-72 - -67	-0.516	-0.518	-0.521	-0.523	-0.524	-0.526
Lag	-66 - -61	-0.527	-0.528	-0.529	-0.530	-0.531	-0.532

Lag	-60	-	-55	-0.533	-0.533	-0.534	-0.534	-0.534	-0.535
Lag	-54	-	-49	-0.535	-0.535	-0.535	-0.536	-0.536	-0.536
Lag	-48	-	-43	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536
Lag	-42	-	-37	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536
Lag	-36	-	-31	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536
Lag	-30	-	-25	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536
Lag	-24	-	-19	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536	-0.536
Lag	-18	-	-13	-0.536	-0.536	-0.535	-0.535	-0.535	-0.535
Lag	-12	-	-7	-0.535	-0.535	-0.535	-0.535	-0.535	-0.535
Lag	-6	-	-1	-0.535	-0.535	-0.535	-0.535	-0.535	13.966
Lag	0	-	0	39.200					

Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SE Coef	T	P	
AR	1	1.0001	0.0029	346.10	0.000
MA	1	0.4008	0.1012	3.96	0.000
MA	2	0.1468	0.1083	1.35	0.179
MA	3	0.2469	0.1012	2.44	0.017

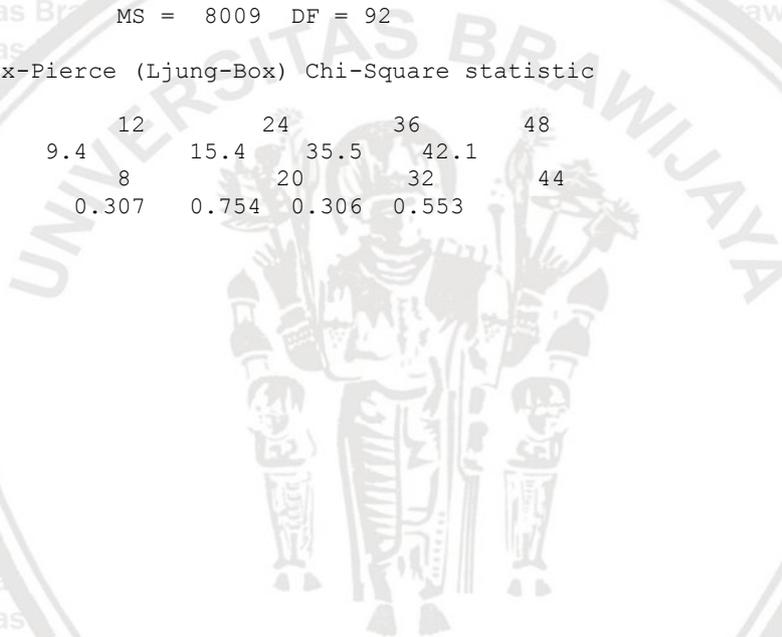
Number of observations: 96

Residuals: SS = 736824 (backforecasts excluded)

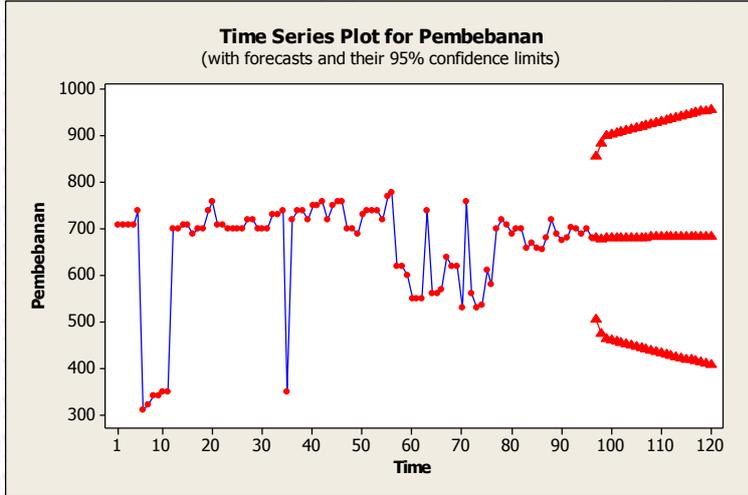
MS = 8009 DF = 92

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

Lag		12	24	36	48
Chi-Square	9.4	15.4	35.5	42.1	
DF	8	20	32	44	
P-Value	0.307	0.754	0.306	0.553	



D. Peramalan 24 bulan ke depan



Forecasts from period 24

Period	Forecast	95% Limits		Actual
		Lower	Upper	
25	681.788	506.347	857.230	700.000
26	679.178	474.647	883.709	700.000
27	681.968	462.566	901.370	720.000
28	682.029	459.679	904.380	720.000
29	682.090	456.829	907.351	700.000
30	682.151	454.017	910.286	700.000
31	682.212	451.239	913.186	700.000
32	682.273	448.496	916.051	730.000
33	682.334	445.785	918.884	730.000
34	682.395	443.106	921.685	740.000
35	682.457	440.457	924.456	750.000
36	682.518	437.838	927.197	720.000
37	682.579	435.248	929.910	740.000
38	682.640	432.685	932.595	740.000
39	682.701	430.149	935.253	720.000
40	682.762	427.639	937.885	750.000
41	682.823	425.154	940.492	750.000
42	682.884	422.694	943.075	760.000
43	682.945	420.257	945.634	720.000
44	683.006	417.844	948.169	750.000
45	683.068	415.453	950.683	760.000
46	683.129	413.083	953.174	760.000
47	683.190	410.735	955.644	700.000
48	683.251	408.408	958.094	700.000



Lampiran 5. Perhitungan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE) Data*

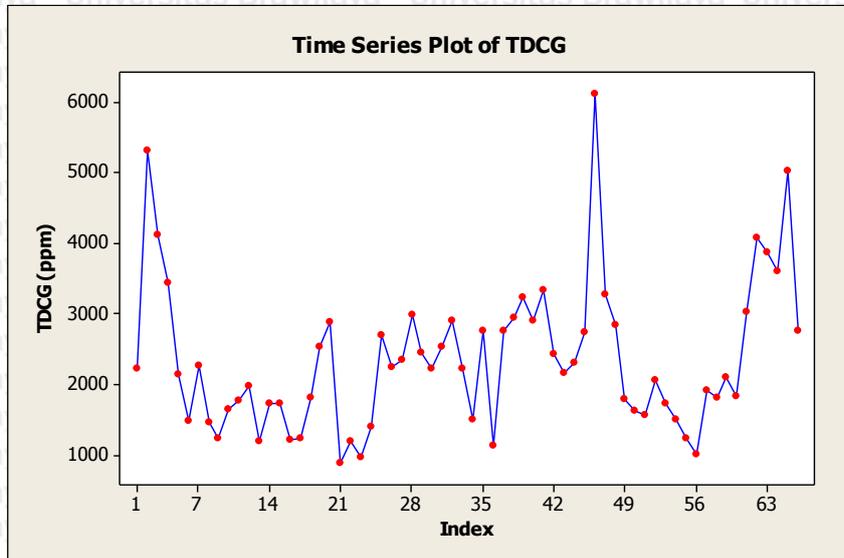
Pembebanan

NO	F_t	X_t	e_t	e_t/X_t	PE
1	681,788	700	18,212	0,02602	2,60171
2	679,178	700	20,822	0,02975	2,97457
3	681,968	720	38,032	0,05282	5,28222
4	682,029	720	37,971	0,05274	5,27375
5	682,09	700	17,91	0,02559	2,55857
6	682,151	700	17,849	0,0255	2,54985
7	682,212	700	17,788	0,02541	2,54114
8	682,273	730	47,727	0,06538	6,53794
9	682,334	730	47,666	0,0653	6,52958
10	682,395	740	57,605	0,07784	7,78445
11	682,457	750	67,543	0,09006	9,00573
12	682,518	720	37,482	0,05206	5,20583
13	682,579	740	57,421	0,0776	7,75959
14	682,64	740	57,36	0,07751	7,75135
15	682,701	720	37,299	0,0518	5,18041
16	682,762	750	67,238	0,08965	8,96506
17	682,823	750	67,177	0,08957	8,95693
18	682,884	760	77,116	0,10147	10,1468
19	682,945	720	37,055	0,05147	5,14652
20	683,006	750	66,994	0,08933	8,93253
21	683,068	760	76,932	0,10123	10,1226
22	683,129	760	76,871	0,10115	10,1146
23	683,19	700	16,81	0,02401	2,40142
24	683,251	700	16,749	0,02393	2,39271
Nilai MAPE					6,11316
Tingkat Akurasi					93,8868

TDCG

Lampiran 6. Identifikasi Pola Data TDCG

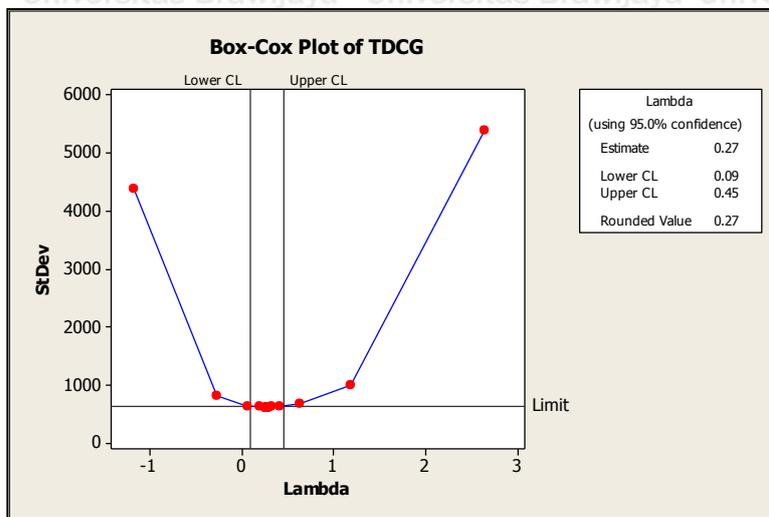
Plot Data TDCG dari Tahun 2006 - 2016



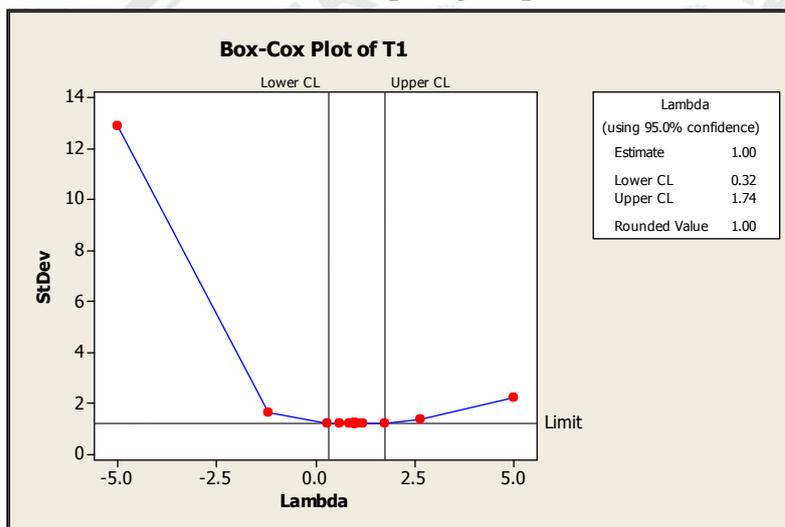
Lampiran 7. Pembentukan Model ARIMA Data TDCG

A. Pengujian Stasioner

A. Stasioneritas terhadap Ragam pada Data Awal



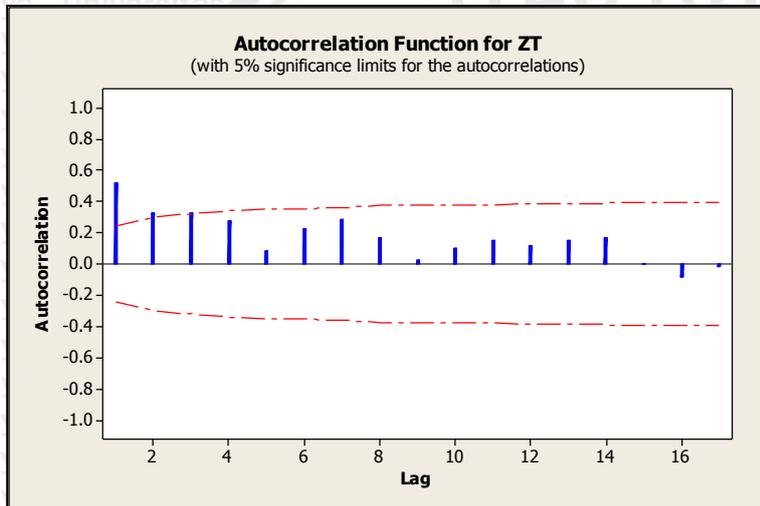
B. Stasioneritas terhadap Ragam pada Data Transformasi 1



B. Identifikasi Model ARIMA
1. Plot ACF TDCG

Autocorrelation Function: ZT

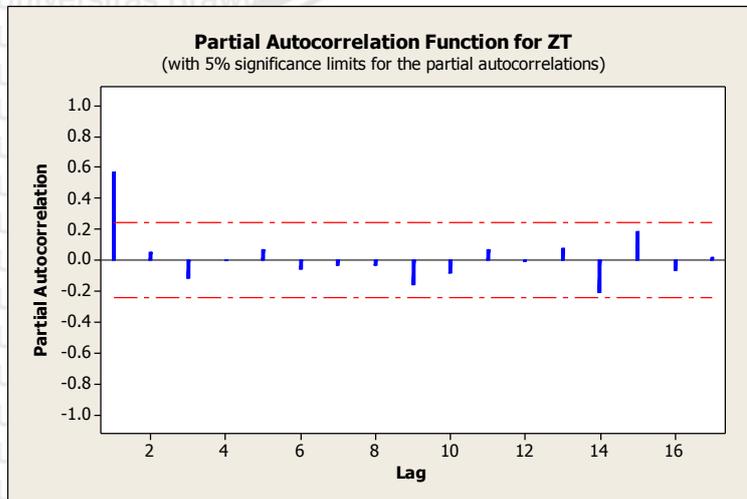
Lag	ACF	T	LBQ
1	0.570430	4.63	22.47
2	0.359967	2.28	31.55
3	0.148105	0.87	33.12
4	0.058546	0.34	33.36
5	0.052910	0.31	33.57
6	0.007584	0.04	33.57
7	-0.018404	-0.11	33.60
8	-0.058153	-0.34	33.86
9	-0.166841	-0.96	36.05
10	-0.221152	-1.26	39.97
11	-0.172613	-0.96	42.40
12	-0.126948	-0.70	43.74
13	-0.013979	-0.08	43.76
14	-0.119290	-0.65	44.99
15	-0.003507	-0.02	44.99
16	-0.034682	-0.19	45.10
17	0.003129	0.02	45.10



2. Plot PACE TDCG

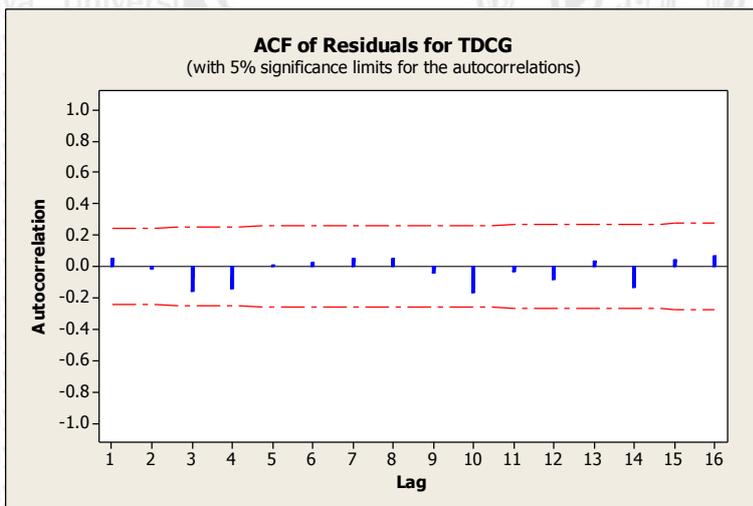
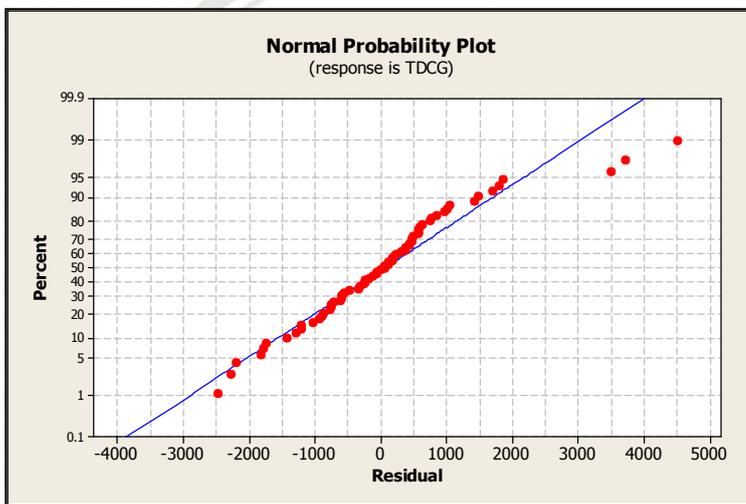
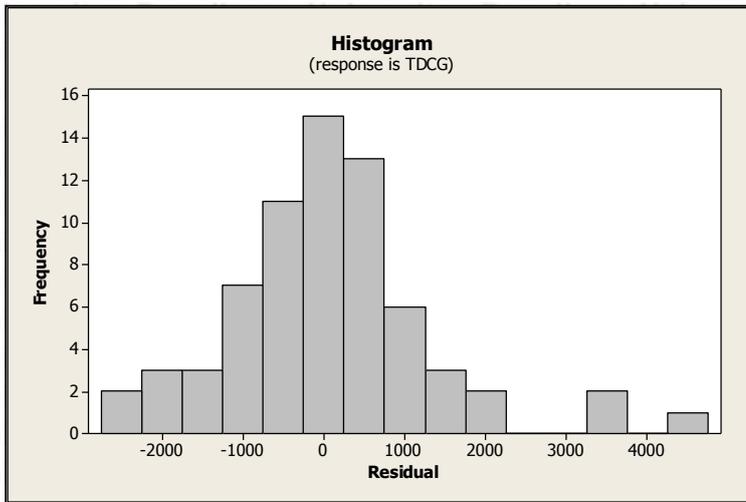
Partial Autocorrelation Function: ZT

Lag	PACF	T
1	0.570430	4.63
2	0.051254	0.42
3	-0.112870	-0.92
4	0.002231	0.02
5	0.066340	0.54
6	-0.054354	-0.44
7	-0.031556	-0.26
8	-0.036068	-0.29
9	-0.161176	-1.31
10	-0.087063	-0.71
11	0.063484	0.52
12	-0.009987	-0.08
13	0.077973	0.63
14	-0.207019	-1.68
15	0.184220	1.50
16	-0.069107	-0.56
17	0.017069	0.14



C. Pengujian Kelayakan Model dalam ARIMA

1. ARIMA (1,0,1)



Estimates at each iteration

Iteration	SSE	Parameters
0	301995115	0.100 0.100
1	201197075	0.250 -0.050
2	182560263	0.400 0.059
3	163343688	0.550 0.173
4	144285952	0.700 0.297
5	126351436	0.850 0.446
6	115165750	0.952 0.596
7	109854539	1.004 0.746
8	108958680	1.003 0.775
9	108709134	1.002 0.781
10	108627388	1.001 0.782
11	108601099	1.001 0.782

Relative change in each estimate less than 0.0010

* WARNING * Back forecasts not dying out rapidly

Back forecasts (after differencing)

Lag -98 - -93	2088.997	2087.606	2086.215	2084.825	2083.436	2082.048
Lag -92 - -87	2080.661	2079.275	2077.890	2076.506	2075.122	2073.740
Lag -86 - -81	2072.359	2070.978	2069.598	2068.220	2066.842	2065.465
Lag -80 - -75	2064.089	2062.714	2061.340	2059.967	2058.594	2057.223
Lag -74 - -69	2055.852	2054.483	2053.114	2051.746	2050.380	2049.014
Lag -68 - -63	2047.649	2046.285	2044.921	2043.559	2042.198	2040.837
Lag -62 - -57	2039.478	2038.119	2036.761	2035.404	2034.048	2032.693
Lag -56 - -51	2031.339	2029.986	2028.634	2027.282	2025.932	2024.582
Lag -50 - -45	2023.233	2021.886	2020.539	2019.193	2017.847	2016.503
Lag -44 - -39	2015.160	2013.817	2012.476	2011.135	2009.795	2008.456
Lag -38 - -33	2007.118	2005.781	2004.445	2003.110	2001.775	2000.442
Lag -32 - -27	1999.109	1997.777	1996.447	1995.117	1993.787	1992.459
Lag -26 - -21	1991.132	1989.805	1988.480	1987.155	1985.831	1984.508
Lag -20 - -15	1983.186	1981.865	1980.545	1979.226	1977.907	1976.589
Lag -14 - -9	1975.273	1973.957	1972.642	1971.328	1970.014	1968.702
Lag -8 - -3	1967.390	1966.080	1964.770	1963.461	1962.153	1960.846
Lag -2 - 0	1959.540	1958.234	1956.930			

Back forecast residuals

Lag -98 - -93	-2.786	-4.964	-6.666	-7.996	-9.034	-9.845
Lag -92 - -87	-10.477	-10.970	-11.353	-11.652	-11.883	-12.063
Lag -86 - -81	-12.201	-12.308	-12.389	-12.451	-12.498	-12.532
Lag -80 - -75	-12.557	-12.575	-12.588	-12.595	-12.599	-12.601
Lag -74 - -69	-12.600	-12.598	-12.594	-12.590	-12.584	-12.578
Lag -68 - -63	-12.571	-12.564	-12.557	-12.549	-12.542	-12.534
Lag -62 - -57	-12.526	-12.518	-12.510	-12.502	-12.494	-12.485
Lag -56 - -51	-12.477	-12.469	-12.461	-12.452	-12.444	-12.436
Lag -50 - -45	-12.428	-12.419	-12.411	-12.403	-12.395	-12.386
Lag -44 - -39	-12.378	-12.370	-12.362	-12.353	-12.345	-12.337
Lag -38 - -33	-12.329	-12.320	-12.312	-12.304	-12.296	-12.288
Lag -32 - -27	-12.279	-12.271	-12.263	-12.255	-12.247	-12.239
Lag -26 - -21	-12.230	-12.222	-12.214	-12.206	-12.198	-12.190
Lag -20 - -15	-12.182	-12.174	-12.165	-12.157	-12.149	-12.141
Lag -14 - -9	-12.133	-12.125	-12.117	-12.109	-12.101	-12.093
Lag -8 - -3	-12.085	-12.077	-12.069	-12.061	-12.052	-12.044
Lag -2 - 0	-12.036	-12.028	-12.020			

Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SE Coef	T	P	
AR	1	1.0007	0.0223	44.93	0.000
MA	1	0.7824	0.0845	9.26	0.000

Number of observations: 68

Residuals: SS = 108586740 (backforecasts excluded)

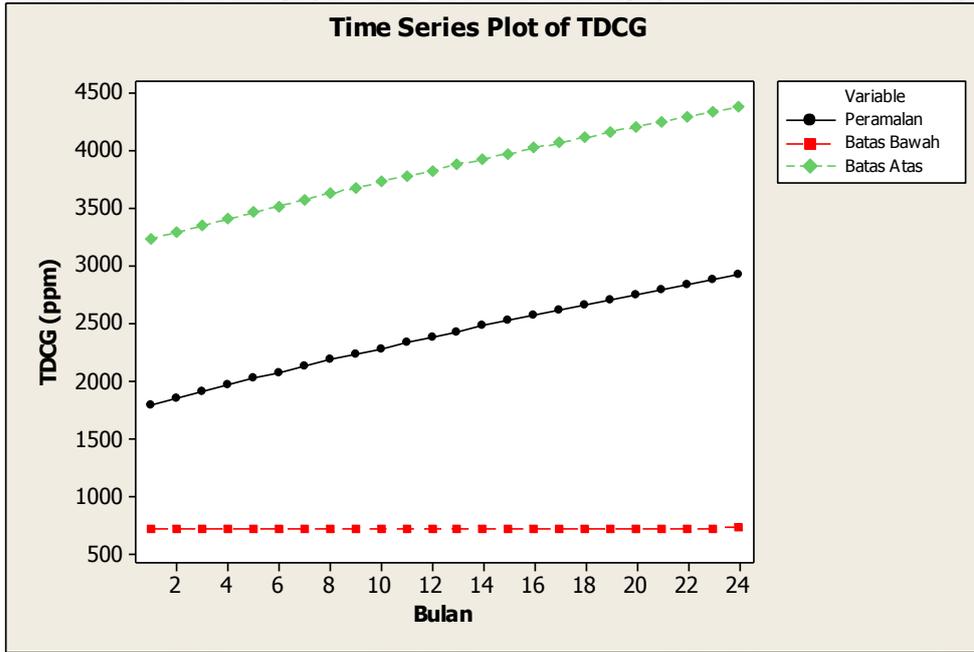
MS = 1645254 DF = 66

Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	5.4	9.9	15.7	21.0
DF	10	22	34	46
P-Value	0.862	0.987	0.997	0.999



D. Peramalan 24 bulan ke depan



Forecasts from period 25

95% Limits				
Period	Forecast	Lower	Upper	Actual
25	1797.01	717.54	3232.08	2437.00
26	1855.76	718.01	3291.79	2226.00
27	1913.25	718.49	3350.24	2697.00
28	1969.57	718.97	3407.51	2252.00
29	2024.78	719.45	3463.68	2745.00
30	2078.96	719.93	3518.82	1975.00
31	2132.16	720.41	3572.98	2452.00
32	2184.44	720.89	3626.22	1906.00
33	2235.84	721.37	3678.58	1504.00
34	2286.42	721.85	3730.12	2098.00
35	2336.21	722.33	3780.88	1821.00
36	2385.26	722.81	3830.88	2750.00
37	2433.59	723.30	3880.18	2227.00
38	2481.24	723.78	3928.79	1574.00
39	2528.24	724.26	3976.76	2255.00
40	2574.62	724.74	4024.11	2231.00
41	2620.40	725.23	4070.86	1731.00
42	2665.62	725.71	4117.04	2137.00
43	2710.28	726.19	4162.67	1906.00
44	2754.42	726.68	4207.77	2153.00
45	2798.05	727.16	4252.37	6101.00
46	2841.19	727.65	4296.49	5029.00
47	2883.87	728.13	4340.13	4064.00
48	2926.09	728.62	4383.32	3028.00



Lampiran 8: Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) Data TDCG

NO	F_t	X_t	e_t	e_t/X_t	PE
1	1797	2137	339,99	0,15909686	15,909
2	1855,8	2226	370,24	0,16632525	16,632
3	1913,3	2697	783,75	0,29060067	29,060
4	1969,6	2252	282,43	0,12541297	12,541
5	2024,8	2745	720,22	0,26237523	26,237
6	2079	1975	-104	-0,052638	-5,263
7	2132,2	2452	319,84	0,13044046	13,044
8	2184,4	1906	-278,4	-0,146086	-14,608
9	2235,8	1504	-731,8	-0,4865957	-48,659
10	2286,4	2098	-188,4	-0,0898093	-8,980
11	2336,2	1821	-515,2	-0,282927	-28,292
12	2385,3	2750	364,74	0,13263273	13,263
13	2433,6	2227	-206,6	-0,0927661	-9,276
14	2481,2	1574	-907,2	-0,5763914	-57,639
15	2528,2	2255	-273,2	-0,1211707	-12,117
16	2574,6	2231	-343,6	-0,1540206	-15,402
17	2620,4	1731	-889,4	-0,513807	-51,380
18	2665,6	2137	-528,6	-0,2473655	-24,736
19	2710,3	1906	-804,3	-0,4219727	-42,197
20	2754,4	2153	-601,4	-0,2793405	-27,934
21	2798,1	6101	-645,1	-0,2996052	-29,960
22	2841,2	5029	2187,3	0,4349826	43,498
23	2883,9	4064	1180,4	0,29043695	29,043
24	2926,1	3028	102,28	0,03377394	3,377
Nilai MAPE					7,243
Tingkat Akurasi					92,756