



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - KI141502

# PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI DINAMIS UNTUK PERENCANAAN PASOKAN DAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA SEKTOR INDUSTRI STUDI KASUS JAWA TIMUR

ARGYANTO DIMAS NINGPRAMUDA  
NRP 5112100109

Dosen Pembimbing  
Prof. Drs. Ec. Ir. Rianarto Sarno, M.Sc., Ph.D  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA  
Fakultas Teknologi Informasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016





**TUGAS AKHIR - KI141502**

**PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI DINAMIS  
UNTUK PERENCANAAN PASOKAN DAN  
KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA SEKTOR  
INDUSTRI STUDI KASUS JAWA TIMUR**

**ARGYANTO DIMAS NINGPRAMUDA**  
NRP 5112100109

Dosen Pembimbing  
Prof. Drs. Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA  
Fakultas Teknologi Informasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*



**FINAL PROJECT - KI141502**

# **DYNAMIC SIMULATION MODEL OF SUPPLY AND DEMAND ELECTRICITY FOR INDUSTRY SECTOR CASE STUDY EAST JAVA**

**ARGYANTO DIMAS NINGPRAMUDA**  
NRP 5112100109

Supervisor

Prof. Drs. Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTMENT OF INFORMATICS  
Faculty of Information Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI DINAMIS  
UNTUK PERENCANAAN PASOKAN DAN  
KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA SEKTOR  
INDUSTRI STUDI KASUS JAWA TIMUR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
pada  
Rumpun Mata Kuliah Manajemen Informatika  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Informatika  
Fakultas Teknologi Informasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ARGYANTO DIMAS NINGPRAMUDA**  
**NRP : 5112 100 109**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Drs. Ec. Ir. Rianarto Sarno, M.Sc.  
NIP: 195908031986011001



(pembimbing 1)

Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D  
NIP: 197004272005012001

(pembimbing 2)

**SURABAYA**  
**JUNI 2016**

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# **PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI DINAMIS UNTUK PERENCANAAN PASOKAN DAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA SEKTOR INDUSTRI STUDI KASUS JAWA TIMUR**

Nama Mahasiswa : Argyanto Dimas Ningpramuda  
NRP : 5121 100 109  
Jurusan : Teknik Informatika FTIf-ITS  
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Drs. Ec. Ir. Rianarto Sarno,  
M.Sc., Ph.D  
Dosen Pembimbing 2 : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRAK**

*Energi listrik merupakan salah satu faktor penting dalam pembangunan bagi setiap bangsa termasuk Indonesia. Energi listrik memiliki peran penting dalam bagi pembangunan baik dalam aspek ekonomi maupun kelistrikan. Mengetahui seberapa besar kebutuhan energi listrik di masa depan akan membawa banyak sekali keuntungan-keuntungan baik dalam bidang ekonomi maupun sosial. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terbatas dan harus digunakan seefisien mungkin, maka diperlukan upaya berupa langkah-langkah strategis yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dan seefisien mungkin.*

*Tugas akhir ini membahas bagaimana pemodelan dinamis dikombinasikan dengan metode ekonometri dapat membantu menghasilkan skenario konsumsi listrik terhadap sektor industri di masa depan. Pemodelan ini mempelajari struktur sistem yang kompleks dan untuk menguji skenario yang berbeda-beda. Juga besar jumlah variabel, yang mempengaruhi perilaku, dapat dipertimbangkan. Produsen listrik membutuhkan pengetahuan*

*dari total konsumsi energi listrik untuk mendukung bisnis mereka agar dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dengan seefisien mungkin, seperti keputusan kapan diperlukan investasi gardu induk baru.*

*Hasil dari permodelan dan simulasi dinamis digunakan untuk menganalisis permintaan energi listrik sektor industri berdasarkan kondisi saat ini dan memperkirakan permintaan listrik dibidang industri di masa depan serta bagaimana mengatasi permintaan energi listrik di masa depan.*

***Kata kunci: Simulasi Dinamis, Energi Listrik, Sektor Industri, Ekonometri.***

# **DYNAMIC SIMULATION MODEL OF SUPPLY AND DEMAND ELECTRICITY FOR INDUSTRI SEKTOR SEKTOR CASE STUDY EAST JAVA**

Student Name : Argyanto Dimas Ningpramuda  
Student ID : 5121 100 109  
Major : Informatics Department FTIf-ITS  
Advisor 1 : Prof. Drs. Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D  
Advisor 2 : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRACT**

*Electrical energy is one important factor in the development of every nation, including Indonesia. Electrical energy has an important role in the development of both the economic and electricity aspects. Knowing how much electrical energy needs in the future will bring a lot of benefits both in economic and social fields. Given the very large and important energy benefits of electricity while the power generation and energy sources are limited and must be used as efficiently as possible, efforts are needed in the form of strategic measures to support the provision of electrical energy optimally and efficiently as possible.*

*This works explores how dynamic modeling combined with econometric method can help generate electricity consumption scenario of the industry in the future. This modeling study the structure of complex systems and to test different scenarios. Also a large number of variables, which affect the behavior could be considered. Manufacturer of electricity requires knowledge of the total consumption of electrical energy to support their business in order to meet the needs of electrical energy as efficiently as possible, such as the decision when new investments are required substations.*

*The results of modeling and dynamic simulation is used to analyze the demand for electrical energy industry sector based on*

*current conditions and forecast electricity demand in the industry in the future as well as how to cope with demand for electric energy in the future.*

***Keywords: Dynamic Simulation, Electricity, Industry Sector, Econometric.***

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

### **PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI DINAMIS UNTUK PERENCANAAN PASOKAN DAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA SEKTOR INDUSTRI STUDI KASUS JAWA TIMUR**

Melalui lembar ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan penghormatan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat yang telah dilimpahkan kepada penulis selama ini.
2. Kedua orang tua penulis, Rebo Giyanto dan Astuti yang tiada lelahnya mencurahkan kasih sayang, doa, serta dukungan secara moral dan material kepada penulis dari lahir hingga detik ini.
3. Saudara kandung penulis, Agung Regiastanto dan Andam Dwisari Palupi yang selalu mendukung dan memberikan doa kepada penulis dalam menuntut ilmu hingga saat ini.
4. Keponakan kadung penulis, Saka, Ica, Bella, dan Varda, terima kasih telah memberi semangat dan senyumannya.
5. Bapak Riyanarto Sarno dan Ibu Erma Suryani selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing saya dalam pengerjaan tugas akhir ini selama empat bulan.
6. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Informatika ITS yang telah banyak menyampaikan ilmu bermanfaat bagi penulis baik ilmu kuliah maupun pelajaran hidup.
7. Teman-teman angkatan 2012 Jurusan Teknik Informatika ITS, khususnya teman kelompok tugas akhir ini yang telah menjadi teman seperjuangan dalam suka dan duka selama penyelesaian Tugas akhir ini.

8. Keluarga Marina Emas Timur 4/35, Ardhya, Fananda, Satriya, Wahyu, Metana, Fandy, dan terlebih Hafidh Azmi yang telah meninggal dengan tenang waktu proses penyelesaian S1 bersama-sama penulis. Terima kasih atas segala kenangan yang engkau berikan selama ini, semoga engkau tenang di sisinya.
9. Serta pihak-pihak lain yang namanya tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis telah berusaha sebaik-baiknya dalam menyusun tugas akhir ini. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan sebagai bahan perbaikan selanjutnya.

Surabaya, Juni 2016

Argyanto Dimas Ningpramuda

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR PERSAMAAN .....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan.....	8
1.3. Rumusan Permasalahan.....	8
1.4. Batasan Permasalahan .....	9
1.5. Manfaat.....	9
1.6. Sistematika Penulisan.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Kondisi Kelistrikan di Indonesia .....	11
2.2. Definisi Tarif Industri.....	14
2.3. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN Tahun 2015-2024.....	15
2.4. Data-data PT. PLN Distribusi dan PT. PLN P3B Jawa Timur .....	17
2.5. Simulasi Dinamis .....	17
2.6. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) .....	20
2.7. Metode Ekonometri .....	22
2.8. Dokumentasi Kebutuhan Listrik (DKL 3.2).....	23
2.9. Tools yang Digunakan.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Tahap Penelitian .....	25
3.2. Penjelasan Tahap Penelitian.....	27
3.2.1. Tahap Pemahaman Kondisi dan Situasi Sistem ..	27
3.2.2. Tahap Identifikasi Variabel Signifikan .....	27

3.2.3.	Pengembangan Diagram <i>Causal Loop</i> .....	28
3.2.4.	Tahap Pengembangan Diagram <i>Stock and Flow</i> .....	28
3.2.5.	Tahap Penentuan Ekuasi.....	29
3.2.6.	Tahap Simulasi .....	29
3.2.7.	Tahap Uji Validasi.....	29
3.2.8.	Tahap Pengembangan Skenario .....	30
3.2.9.	Tahap Analisis Perbandingan .....	31
3.2.10.	Tahap Dokumentasi.....	31
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		33
4.1	Gambaran Umum .....	33
4.2.	Pengumpulan Data .....	35
4.2.1.	Data Evaluasi Tarif PLN Distribusi Jawa Timur .....	35
4.2.2.	Data Gardu Induk PLN.....	38
4.2.3.	Data Pelanggan Daerah Metropolitan PLN .....	40
4.2.4.	Data Statistik PDRB Jawa Timur .....	42
4.3.	Pemahaman Sistem.....	46
4.4.	Identifikasi Variabel Signifikan .....	48
4.5.	Pemodelan Diagram <i>Causal Loop</i> .....	52
4.4.1	Hubungan Sebab Akibat Sistem Secara Umum ..	52
4.4.2	Hubungan Sebab Akibat <i>Supply</i> .....	53
4.4.3	Hubungan Sebab Akibat <i>Demand</i> .....	54
4.6.	Pemodelan Diagram <i>Stock and Flow</i> .....	57
4.5.1	Model <i>Supply</i> .....	58
4.5.2	Model PDRB Industri.....	63
4.5.3	Model <i>Demand</i> Industri.....	73
4.7.	Simulasi <i>Base Model</i> .....	84
4.8.	Uji Validasi .....	87
4.7.1	Validasi Tarif I-1 .....	88

4.7.2	Validasi Tarif I-2 .....	92
4.7.3	Validasi Tarif I-3 .....	96
4.7.4	Validasi Tarif I-4 .....	100
4.7.5	Validasi Total <i>Demand</i> Industri .....	103
4.9.	Pengembangan Skenario .....	107
4.9.1.	Skenario Tarif I-1 .....	108
4.9.2.	Skenario Tarif I-2 .....	110
4.9.3.	Skenario Tarif I-3 .....	112
4.9.4.	Skenario Tarif I-4 .....	115
4.9.5.	Skenario <i>Demand</i> Sektor Industri .....	117
4.9.6.	Skenario <i>Supply</i> Sektor Industri .....	119
4.10.	Analisis Perbandingan Simulasi Dinamis dengan Metode DKL 3.2.....	122
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		127
5.2.	Kesimpulan.....	127
5.3.	Saran.....	128
DAFTAR PUSTAKA.....		129
DAFTAR SIMBOL.....		131
LAMPIRAN .....		133
BIODATA PENULIS.....		145

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Tarif Dasar Listrik Sektor Industri .....	3
Gambar 1.2. Peta Jaringan Listrik di Jawa Timur .....	5
Gambar 2.1 Persentase Pemakaian Listrik Setiap Sektor Indonesia .....	12
Gambar 2.2. Contoh <i>Causal Loop Diagram</i> .....	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Peneliatian bagian 1 .....	25
Gambar 3.2. Diagram Alir Tahap Penelitian bagian 2 .....	26
Gambar 4.1 Bentuk Model Secara Umum .....	33
Gambar 4.2 Gambaran Umum Sistem .....	34
Gambar 4.3. Sudut Fasa Daya Aktif Reaktif Listrik .....	47
Gambar 4.4. <i>Causal Loop Diagram</i> Sistem Umum .....	53
Gambar 4.5. <i>Causal Loop Diagram Supply</i> Listrik.....	53
Gambar 4.6. <i>Causal Loop Diagram</i> PDRB ke Tarif.....	54
Gambar 4.7. <i>Causal Loop Diagram Demand</i> Listrik.....	56
Gambar 4.8. <i>Supply</i> APJ BJJ .....	59
Gambar 4.9. <i>Supply</i> APJ MJK.....	60
Gambar 4.10. <i>Supply</i> APJ SBU.....	61
Gambar 4.11. <i>Supply</i> Seluruh Jawa Timur .....	62
Gambar 4.12. <i>Script Curve Fitting</i> .....	64
Gambar 4.13. Hasil Persamaan dari <i>Curve Fitting</i> .....	65
Gambar 4.14. Hasil Kurva dari <i>Curve Fitting</i> .....	65
Gambar 4.15. Diagram <i>Stock and Flow</i> PDRB ke Tarif I-2.....	66
Gambar 4.16. Diagram <i>Stock and Flow</i> PDRB ke Tarif I-3.....	69
Gambar 4.17. <i>Demand</i> per Tarif Sektor Industri.....	73
Gambar 4.18. Hasil Regresi Fungsi Ekonometri Tarif I-3 Jawa Timur.....	75
Gambar 4.19. Daya Tersambung Tarif Sektor Industri.....	81
Gambar 4.20. Proyeksi Pertumbuhan <i>Demand</i> dan Ekspansi <i>Supply</i> yang Dibutuhkan di Masa Depan .....	82
Gambar 4.21. Grafik <i>Demand</i> Tarif I-1 Jawa Timur.....	84
Gambar 4.22. Grafik <i>Demand</i> Tarif I-2 Jawa Timur.....	85
Gambar 4.23. Grafik <i>Demand</i> Tarif I-3 Jawa Timur.....	85

Gambar 4.24. Grafik <i>Demand</i> Tarif I-4 Jawa Timur.....	86
Gambar 4.25. Grafik <i>Demand</i> Total Sektor Industri Jawa Timur	86
Gambar 4.26. Grafik Perbandingan Tarif I-1 APJ BJB .....	88
Gambar 4.27. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ MJK .....	89
Gambar 4.28. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ SBU .....	90
Gambar 4.29. Hasil Validasi Tarif I-1 Jawa Timur.....	91
Gambar 4.30. Grafik Perbandingan Tarif I-2 APJ BJB .....	92
Gambar 4.31. Grafik Perbandingan Tarif I-2 APJ MJK.....	93
Gambar 4.32. Grafik Perbandingan Tarif I-2 APJ SBU.....	94
Gambar 4.33. Grafik Perbandingan Tarif I-2 Jawa Timur .....	95
Gambar 4.34. Grafik Perbandingan Tarif I-3 APJ BJB .....	96
Gambar 4.35. Grafik Perbandingan Tarif I-3 APJ MJK.....	97
Gambar 4.36. Grafik Perbandingan Tarif I-3 APJ SBU.....	98
Gambar 4.37. Grafik Perbandingan Tarif I-3 Jawa Timur .....	99
Gambar 4.38. Grafik Perbandingan Tarif I-4 APJ BJB .....	100
Gambar 4.39. Grafik Perbandingan Tarif I-4 APJ MJK.....	101
Gambar 4.40. Grafik Perbandingan Tarif I-4 Jawa Timur .....	102
Gambar 4.41. Grafik Perbandingan <i>Demand</i> Industri APJ BJB	103
Gambar 4.42. Grafik Perbandingan <i>Demand</i> Industri APJ MJK .....	104
Gambar 4.43. Grafik Perbandingan <i>Demand</i> Industri APJ SBU .....	105
Gambar 4.44. Grafik Perbandingan <i>Demand</i> Industri Jawa Timur .....	106
Gambar 4.45. Skenario Tarif I-1 APJ BJB.....	108
Gambar 4.46. Skenario Tarif I-1 APJ MJK.....	108
Gambar 4.47. Skenario Tarif I-1 APJ SBU.....	109
Gambar 4.48. Skenario Tarif I-1 Jawa Timur .....	109
Gambar 4.49. Skenario Tarif I-2 APJ BJB.....	110
Gambar 4.50. Skenario Tarif I-2 APJ MJK.....	110
Gambar 4.51. Skenario Tarif I-2 APJ SBU .....	111
Gambar 4.52. Skenario Tarif I-2 Jawa Timur .....	112
Gambar 4.53. Skenario Tarif I-3 APJ BJB.....	112
Gambar 4.54. Skenario Tarif I-3 APJ MJK.....	113
Gambar 4.55. Skenario Tarif I-3 APJ SBU.....	114

Gambar 4.56. Skenario Tarif I-3 Jawa Timur .....	114
Gambar 4.57. Skenario Tarif I-4 APJ BJJ.....	115
Gambar 4.58. Skenario Tarif I-4 APJ MJK.....	115
Gambar 4.59. Skenario Tarif I-4 Jawa Timur .....	116
Gambar 4.60. Skenario <i>Demand</i> Industri APJ BJJ .....	117
Gambar 4.61. Skenario <i>Demand</i> Industri APJ MJK .....	117
Gambar 4.62. Skenario <i>Demand</i> Industri APJ SBU.....	118
Gambar 4.63. Skenario <i>Demand</i> Industri Jawa Timur .....	118
Gambar 4.64. Skenario <i>Supply</i> APJ BJJ .....	119
Gambar 4.65. Skenario <i>Supply</i> APJ SBU.....	120
Gambar 4.66. Skenario <i>Supply</i> APJ MJK .....	121
Gambar 4.67. Skenario <i>Supply</i> Jawa Timur .....	121

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Simbol dalam <i>Stock and Flow Diagram</i> .....	19
Tabel 4.1. Daya Tersambung Sektor Industri 2016.....	36
Tabel 4.2. Energi Terjual Sektor Industri 2016.....	37
Tabel 4.3. Gardu Induk APJ BJK.....	39
Tabel 4.4. Gardu Induk APJ MJK.....	39
Tabel 4.5. Gardu Induk APJ SBU .....	40
Tabel 4.6. Pelanggan Tarif I-1.....	41
Tabel 4.7. Pelanggan Tarif I-2.....	41
Tabel 4.8. Pelanggan Tarif I-3.....	41
Tabel 4.9. Pelanggan Tarif I-4.....	42
Tabel 4.10. PDRB Industri Jawa Timur 2012 .....	43
Tabel 4.11. PDRB Industri Jawa Timur 2013 .....	44
Tabel 4.12. PDRB Industri Jawa Timur 2014 .....	45
Tabel 4.13. Variabel Signifikan <i>Supply</i> Industri .....	49
Tabel 4.14. Variabel Signifikan <i>Demand</i> Industri.....	50
Tabel 4.15. Variabel Signifikan Peramalan.....	51
Tabel 4.16. Pemetaan Jenis Industri terhadap Tarif .....	55
Tabel 4.17. <i>Time Bounds</i> pada Simulasi .....	57
Tabel 4.18. <i>Auxiliary</i> Total <i>Supply</i> .....	62
Tabel 4.19. <i>Auxiliary</i> Total Daya Gardu Induk.....	63
Tabel 4.20. PDRB Industri Makanan .....	64
Tabel 4.21. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Makanan .....	67
Tabel 4.22. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Pertanian .....	67
Tabel 4.23. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Kertas dan Pecetakan.....	68
Tabel 4.24. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Tekstil.....	70
Tabel 4.25. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Kimia .....	70
Tabel 4.26. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Pertambangan .....	71
Tabel 4.27. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Nonlogam ...	71
Tabel 4.28. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Logam.....	72
Tabel 4.29. Tabel Data Pertumbuhan PDRB terhadap Tarif I-3 .	74

Tabel 4.30. Persamaan Ekonometri Tarif I-2 .....	76
Tabel 4.31. Persamaan Ekonometri Tarif I-3 .....	77
Tabel 4.32. Variabel Pertumbuhan Setiap Tarif Sektor Industri .	78
Tabel 4.33. Variabel <i>Demand</i> Tarif I-2 dan I-3 Sektor Industri..	78
Tabel 4.34. Variabel <i>Demand</i> Tarif I-1 Sektor Industri .....	79
Tabel 4.35. Variabel <i>Demand</i> Tarif I-4 Sektor Industri .....	80
Tabel 4.36. Variabel Total <i>Demand</i> Industri.....	80
Tabel 4.37. Variabel Utilisasi Penggunaan .....	83
Tabel 4.38. Variabel Kekurangan Pasokan Energi Listrik .....	83
Tabel 4.39. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ BJG.....	88
Tabel 4.40. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ MJK.....	89
Tabel 4.41. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ SBU .....	90
Tabel 4.42. Hasil Validasi Tarif I-1 Jawa Timur.....	91
Tabel 4.43. Hasil Validasi Tarif I-2 APJ BJG.....	92
Tabel 4.44. Hasil Validasi Tarif I-2 APJ MJK.....	93
Tabel 4.45. Hasil Validasi Tarif I-2 APJ SBU .....	94
Tabel 4.46. Hasil Validasi Tarif I-2 Jawa Timur.....	95
Tabel 4.47. Hasil Validasi Tarif I-3 APJ BJG.....	96
Tabel 4.48. Hasil Validasi Tarif I-3 APJ MJK.....	97
Tabel 4.49. Hasil Validasi Tarif I-3 APJ SBU .....	98
Tabel 4.50. Hasil Validasi Tarif I-3 Jawa Timur.....	99
Tabel 4.51. Hasil Validasi Tarif I-4 APJ BJG.....	100
Tabel 4.52. Hasil Validasi Tarif I-4 APJ MJK.....	101
Tabel 4.53. Hasil Validasi Tarif I-4 Jawa Timur.....	102
Tabel 4.54. Hasil Validasi <i>Demand</i> Industri APJ BJG .....	103
Tabel 4.55. Hasil Validasi <i>Demand</i> Industri APJ MJK.....	104
Tabel 4.56. Hasil Validasi <i>Demand</i> Industri APJ SBU.....	105
Tabel 4.57. Hasil Validasi <i>Demand</i> Industri Jawa Timur .....	106
Tabel 4.58. Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Tarif I-1 dan Tarif I-2 .....	123
Tabel 4.59. Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Tarif I-3 dan Tarif I-4 .....	123
Tabel 4.60. Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada <i>Demand</i> Sektor Industri.....	124

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1.....	23
Persamaan 3.1.....	29
Persamaan 3.2.....	30
Persamaan 4.1.....	46
Persamaan 4.2.....	46
Persamaan 4.3.....	46
Persamaan 4.4.....	58
Persamaan 4.5.....	58
Persamaan 4.6.....	63

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai garis besar tugas akhir yang meliputi latar belakang, tujuan, rumusan dan batasan permasalahan, metodologi pembuatan tugas akhir, dan sistematika penulisan.

### **1.1. Latar Belakang**

Energi listrik merupakan salah satu dari kebutuhan utama bagi manusia pada masa sekarang. Banyak kegunaan dari energi listrik dalam kehidupan sehari-hari masyarakat baik pada sektor rumah tangga, industri, fasilitas umum, maupun bisnis. Sektor industri memiliki peranan sangat penting bagi pertumbuhan perekonomian pemerintah, terutama pemerintahan negara berkembang seperti Indonesia. Kebutuhan energi listrik pada sektor industri merupakan kebutuhan yang terbanyak dalam konsumsi energi listrik dibandingkan sektor lainnya di Indonesia, hal tersebut dikarenakan dalam melakukan kegiatan perindustrian listrik merupakan kebutuhan utama untuk menjalankan peralatan-peralatannya, terutama alat berat seperti mesin produksi di industri-industri pabrik serta juga makin besarnya pertumbuhan industri di Jawa Timur yang merupakan provinsi dengan penghasilan terbanyak dari sektor industri makin pesat sehingga membutuhkan pasokan energi listrik besar untuk penggunaan mesin-mesin dan alat berat industri dengan kebutuhan listrik besar serta untuk keperluan energi listrik dan keperluan kantor atau tempat kerja bagi para pelaku pengguna energi listrik di sektor industri antara lain penerangan, peralatan elektronik dengan daya kecil seperti pendingin ruangan, komputer, dan lain-lain. Dikarenakan konsumsi akan energi listrik serta permintaan kebutuhan energi listrik yang semakin besar di masa depan meningkat pada sektor industri, maka diperlukan pemenuhan pasokan energi listrik yang besar pula. Sehingga pasokan energi listrik untuk memenuhi permintaan energi listrik pada sektor industri juga mengalami

pertumbuhan menyesuaikan seberapa banyak permintaan energi listrik di sektor industri sendiri. Pemenuhan permintaan energi listrik harus memperhatikan nilai ekonomis dan seefisien mungkin agar tidak terjadi kerugian bagi pihak pemasok energi listrik. Sehingga diperlukan perencanaan pasokan energi listrik terhadap permintaan kebutuhan energi listrik di sektor industri yang baik untuk meminimalisir kerugian serta untuk memperkirakan seberapa besar kebutuhan energi listrik di masa depan agar penambahan pasokan energi listrik sesuai dengan besarnya pertumbuhan kebutuhan energi listrik [1].

Tugas akhir ini membahas bagaimana memperkirakan pertumbuhan permintaan energi listrik serta pemenuhan pasokan untuk permintaan energi listrik di sektor industri agar seefisien mungkin dengan mempertimbangkan nilai ekonomis pasokan energi listrik yang terbatas dalam pengalokasian energi listrik. Perkiraan perkembangan pasokan dan permintaan energi listrik di sektor industri ini akan disajikan dengan pemodelan dinamis untuk memodelkan bagaimana pertumbuhan permintaan dan pasokan energi listrik sektor industri di masa depan dengan mempertimbangkan data-data yang berkaitan dengan permintaan dan pasokan energi listrik di sektor industri serta meramalkan perilaku dari pertumbuhan permintaan energi listrik di sektor industri untuk memperkirakan bagaimana model pertumbuhan energi listrik di sektor industri di masa depan secara dinamis. Kebutuhan energi listrik di sektor industri yang sangat besar sehingga kebutuhan energi listrik di sektor industri merupakan beban dasar dari pasokan energi listrik dari pelaku pemasokan energi listrik di Indonesia, yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN). Penggolongan pengguna energi listrik di sektor industri oleh PLN dibedakan berdasarkan tarif dan batas dayanya seperti yang tertera pada Gambar 1.1.

## TARIF DASAR LISTRIK UNTUK KEPERLUAN INDUSTRI

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	I-1/TR	450 VA	25.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 160 Blok II : di atas 30 kWh : 395	485
2.	I-1/TR	900 VA	31.500	Blok I : 0 s.d. 72 kWh : 315 Blok II : di atas 72 kWh : 405	600
3.	I-1/TR	1.300 VA	*)	765	765
4.	I-1/TR	2.200 VA	*)	790	790
5.	I-1/TR	3.500 VA s.d. 14 kVA	*)	915	915
6.	I-2/TR	di atas 14 kVA s.d. 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 800 Blok LWBP = 800 kVArh = 875 ****)	-
7.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 680 Blok LWBP = 680 kVArh = 735 ****)	-
8.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan LWBP = 605 kVArh = 605 ****)	-

Catatan :

\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

\*\*\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.

\*\*\*\*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):  
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.  
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

\*\*\*\*\*) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ( $1,4 \leq K \leq 2$ ), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.  
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

### Gambar 1.1. Tarif Dasar Listrik Sektor Industri

Sedangkan untuk dasar kebutuhan energi listrik dipenuhi dengan produksi listrik dari pembangkit listrik tenaga uap yang menghasilkan energi listrik terbesar dibandingkan pembangkit lain. Dengan memenuhi permintaan energi listrik di sektor industri, PLN meletakkan beban bahan baku batubara sebagai pasokan utamanya dan kebutuhan energi listrik tambahan dari pembangkit listrik tenaga air untuk memasok kekurangan kebutuhan energi

listriknya. Dikarenakan pembangkit listrik tenaga air di Indonesia bergantung pada energi dari debit aliran air pada sebagian besar sungai sedangkan debit air sendiri di Indonesia bergantung pada musim penghujan karena aliran sungai dipengaruhi oleh banyaknya air pada turunnya hujan yang terjadi hanya di musim penghujan saja, maka pada pemenuhan kebutuhan energi listrik di sektor industri berfokus pada pembangkit listrik tenaga batubara karena selain murah biaya produksinya juga bahan baku produksi energi listriknya hanya bergantung ada ketersediaan batubara. Terbatasnya sumber daya yang ada sebagai pembangkit listrik mendasari bagaimana membuat perencanaan yang matang untuk memenuhi permintaan energi listrik yang semakin meningkat di masa depan.

Studi kasus yang dibahas pada tugas akhir ini adalah wilayah Jawa Timur. Di Jawa Timur sektor industri membutuhkan pasokan energi listrik paling besar dibandingkan sektor lainnya. Pemasok energi listrik utama di Jawa Timur adalah pembangkit listrik tenaga uap Paiton yang bahan bakunya adalah batubara, pembangkit listrik tenaga gas dan uap Gresik, serta pembangkit listrik tenaga air Brantas. PLTU Paiton dan PLTGU Gresik merupakan pemasok utama pada beban dasar kebutuhan energi listrik di Jawa Timur yang didukung oleh PLTA Brantas untuk mengatasi beban puncak yang terjadi pada saat kebutuhan energi listrik di Jawa Timur kurang pada sektor industri. Dengan biaya operasional yang rendah maka pembangkit listrik yang bahan bakunya merupakan batubara sehingga dari segi ekonomi pemasok energi listrik, PLN dapat memasok energi listrik dengan biaya murah bagi masyarakat terutama untuk kebutuhan energi listrik di sektor industri yang membutuhkan energi listrik yang paling besar di Jawa Timur. Sedangkan pembangkit listrik tenaga air dioperasikan ketika terjadi kekurangan pasokan energi listrik pada beban dasar yang merupakan kebutuhan energi listrik di sektor industri, hal tersebut juga disebabkan sumber daya dari pembangkit listrik tenaga air sangat bergantung pada musim penghujan dan sumber daya airnya sendiri juga terbatas penggunaannya karena

memerlukan bendungan untuk menyimpan debit air dari aliran sungai. Pada sisi permintaan akan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat memaksa Perusahaan Listrik Negara atau PLN menentukan solusi untuk mengatasi permasalahan kebutuhan energi listrik di sektor industri karena sektor industri merupakan roda perekonomian masyarakat yang sangat penting dan harus disegerakan penanganannya agar tidak mengganggu perekonomian negara, terutama di Jawa Timur. Permasalahan yang muncul di Jawa Timur adalah terbatasnya gardu induk untuk mendistribusikan energi listrik pada konsumen-konsumen PLN, sedangkan permintaan akan energi listrik di Jawa Timur terus tumbuh sehingga diperlukan ekspansi atau penambahan gardu induk di masa depan untuk mendistribusikan pasokan energi listrik ke konsumen. Perencanaan penempatan gardu induk yang baik dapat dilakukan jika perkiraan seberapa besar permintaan energi listrik di masa depan dapat diketahui serta kapan dan di daerah mana permintaan tersebut muncul [2]. Gambar 1.2 merupakan peta jaringan listrik di Jawa Timur yang menunjukkan keadaan jaringan gardu induk sebagai pasokan yang mendistribusikan energi listrik pada masa sekarang [1].



**Gambar 1.2. Peta Jaringan Listrik di Jawa Timur**

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah dapat memodelkan dan mensimulasikan secara dinamis berdasarkan waktu dalam pertumbuhan permintaan akan kebutuhan energi listrik dan pasokannya dan menemukan permasalahan kekurangan pasokan energi listrik dan pertumbuhan permintaan energi listrik yang terjadi pada model yang sesuai dengan kenyataan lapangannya, lalu dilakukan penanganan permasalahan tersebut dengan solusi untuk mengatasinya yang disimulasikan pada pemodelan dinamis. Selain itu untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur dengan melihat data tahun-tahun sebelumnya sebagai penentu perilaku pertumbuhan sektor industri di Jawa Timur. Data-data listrik tahun sebelumnya dihubungkan dengan data-data sekunder pertumbuhan industri di Jawa Timur yang berupa data pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto dari industri di Jawa Timur dari Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Timur. Setelah permintaan akan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur dapat diperkirakan akan dilakukan penanganan terhadap perkiraan permintaan energi listrik tersebut dari sisi pemasoknya, yaitu PLN baik dengan menambah gardu induk dengan memperhatikan kapan dan dimana gardu induk tersebut dibutuhkan untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit ke konsumen listrik di Jawa Timur. Pendekatan yang digunakan dalam perkiraan (*forecasting*) kebutuhan energi listrik di masa depan pada tugas akhir ini dari sisi konsumen atau disebut *Demand Side Management*, dengan melakukan tafsir data di masa depan dari data-data penggunaan energi listrik di masa lalu yang nantinya akan digunakan untuk menentukan seberapa besar energi listrik yang dibutuhkan di masa depan dan kapan dan dimana ekspansi gardu induk dibutuhkan oleh PLN.

Pemodelan dan simulasi dinamis digunakan karena permasalahan yang terjadi dalam pasokan dan permintaan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur bergerak berdasarkan waktu sehingga pemodelan dilakukan secara dinamis yang bergerak berdasarkan faktor waktu. Selain itu pemodelan dinamis dapat memperkirakan kebutuhan energi listrik di masa

depan berdasarkan perilaku yang diramalkan dari data-data sebelumnya dan dapat memungkinkan penentuan skenario terbaik dalam penanganan masalah yang terjadi pada tugas akhir ini untuk memutuskan kebijakan apa yang harus diambil oleh PLN dalam mengatasi permasalahan tersebut. Selain itu simulasi dinamis memungkinkan untuk membuat beberapa skenario yang berbeda untuk dibandingkan bagaimana perkiraan permintaan energi listrik di masa depan jika pertumbuhan faktor-faktor yang mempengaruhinya lebih naik atau turun dari keadaan normal.

Simulasi dan pemodelan dinamis dalam tugas akhir ini yang digunakan adalah pemodelan jangka panjang (*long-term model*). *Long-term model* digunakan untuk memodelkan permintaan kebutuhan energi listrik di sektor industri pada jangka waktu yang panjang [3]. Pemodelan jangka panjang dipilih karena pemodelan dengan *time step* ini cocok dengan data dari PLN yang mencatat data permintaan dan konsumsi energi listrik dari konsumen PLN per bulan dari Januari 2012 sampai Februari 2016 dengan total pencatatan konsumsi energi listrik sebanyak 50 bulan. Data historis tersebut pada model akan digunakan sebagai model dasar yang nantinya digunakan untuk pengujian kebenaran dari model terhadap data asli yang dicatat oleh PLN. Dalam kasus tugas akhir ini perkiraan (*forecasting*) permintaan energi listrik sektor industri di Jawa Timur dilakukan dengan melihat pola pertumbuhan industri di Jawa Timur dengan memperhatikan pengaruh dari pertumbuhan industri di Jawa Timur lalu menangani pertumbuhan permintaan tersebut dengan keputusan yang harus diambil oleh PLN terkait dengan penanganan permintaan energi listrik sektor industri di Jawa Timur seperti penentuan kapan ekspansi gardu induk untuk penambahan distribusi pasokan energi listrik kepada konsumen listrik, dan juga bisa digunakan untuk penentuan peletakan gardu induk baru dan kebijakan lainnya berdasarkan perkiraan permintaan energi listrik di masa depan pada model.

## **1.2. Tujuan**

Adapun tujuan yang ingin diperoleh dalam pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Memodelkan pertumbuhan kebutuhan listrik pada konsumsi energi listrik untuk sektor industri di Jawa Timur 12 tahun ke depan hingga tahun 2028.
2. Memahami mengapa dan bagaimana perubahan pada pertumbuhan kebutuhan energi listrik di Jawa Timur terjadi.
3. Mengetahui pengaruh pertumbuhan industri terhadap pertumbuhan kebutuhan energi listrik industri di Jawa Timur.
4. Menentukan seberapa besar kekurangan pasokan energi listrik di masa depan yang dikarenakan permintaan energi listrik industri yang tumbuh.
5. Mengetahui utilisasi penggunaan energi listrik dari daya pasang listrik oleh konsumen listrik di Jawa Timur.
6. Membandingkan mana yang lebih baik, metode simulasi dinamis dengan metode lama yang digunakan PLN, yaitu DKL 3.2.

## **1.3. Rumusan Permasalahan**

Perumusan masalah yang terdapat pada tugas akhir ini, antara lain adalah sebagai berikut.

1. Seberapa besar kebutuhan listrik pada konsumsi listrik sektor industri di Jawa Timur 12 tahun mendatang, yaitu sampai 2028.
2. Bagaimana perilaku pertumbuhan kebutuhan energi listrik di sektor industri dalam 12 tahun mendatang sampai 2028.

3. Bagaimana pengaruh pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) industri di Jawa Timur terhadap pertumbuhan kebutuhan energi listrik.
4. Bagaimana memproyeksikan kemungkinan skenario kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur.

#### **1.4. Batasan Permasalahan**

Batasan masalah yang terdapat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan dilakukan dengan pemodelan dinamis yang dikombinasikan dengan metode ekonometri.
2. Data yang digunakan adalah data dari konsumsi energi listrik dari PT. PLN Jawa Timur dari Januari 2012 sampai Februari 2016 dan data sekunder dari BPS berupa data PDRB industri Jawa Timur dari tahun 2012 sampai 2014.
3. Proyeksi kebutuhan energi listrik dilakukan pada sektor industri di Jawa Timur sampai tahun 2028

#### **1.5. Manfaat**

Adapun manfaat dari tugas akhir ini memiliki dua sasaran, yaitu manfaat teoritis dan praktis. Manfaat yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Manfaat teoritis berupa pengembangan model pasokan dan kebutuhan energi listrik dan skenario perkiraan pertumbuhan kebutuhan energi listrik yang dapat dikembangkan lebih lanjut.
2. Manfaat praktis berupa analisis dan solusi terhadap proyeksi pertumbuhan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur dan sebagai kajian pihak terkait untuk penentuan kebijakan strategis.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Buku tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran dari pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu, diharapkan dapat berguna bagi pembaca untuk melakukan pengembangan lebih lanjut. Buku tugas akhir terdiri atas bagian seperti berikut ini.

### **Bab I Pendahuluan**

Bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan pembuatan tugas akhir, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penyusunan tugas akhir.

### **Bab II Dasar Teori**

Bab ini membahas beberapa teori penunjang yang berhubungan dengan pokok pembahasan dan mendasari pembuatan tugas akhir ini.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

Bab ini membahas mengenai secara singkat teori bagaimana implementasi dan analisis pada model dilaksanakan.

### **Bab IV Analisis dan Pembahasan**

Bab ini berisi perancangan dan implementasi model serta analisis data dan hasil simulasi.

### **Bab V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis terhadap model. Bab ini membahas saran-saran untuk pengembangan model lebih lanjut.

### **Daftar Pustaka**

Merupakan daftar referensi yang digunakan untuk mengembangkan tugas akhir.

### **Lampiran**

Merupakan bab tambahan yang berisi data-data lampiran pengerjaan tugas akhir.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

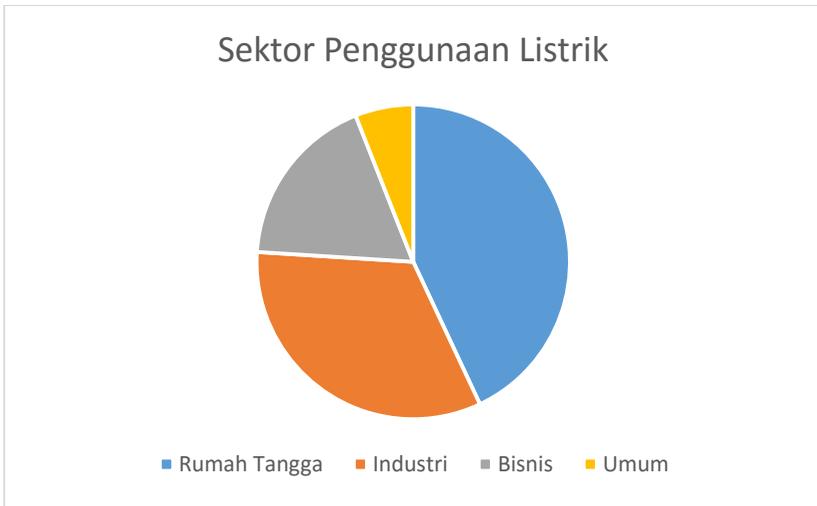
Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang menjadi dasar dari pembuatan tugas akhir. Teori-teori tersebut meliputi pengertian dan beberapa analisis terkait kondisi pada sektor industri, Metode Simulasi Dinamis, Metode DKL 3.2, data-data yang terkait dengan tugas akhir, dan Metode Ekonometri.

#### **2.1. Kondisi Kelistrikan di Indonesia**

Pada tugas akhir ini penggunaan listrik dibedakan menjadi empat sektor, yaitu:

1. Sektor umah tangga
2. Sektor industri
3. Sektor bisnis
4. Sektor umum (sosial dan publik)

Kondisi kelistrikan nasional hingga akhir 2014 berdasarkan catatan yang ada di Kementerian energi dan sumber daya mineral hingga akhir 2014 menunjukkan total kapasitas terpasang pembangkit 53.585 MW. 37.280 MW (70%) disumbangkan oleh PLN, *Independent Power Producer* (IPP) sebesar 10.995 MW (20%), *Public Private Utility* (PPU) sebesar 2.634 MW (5%), Izin Operasi Non-BBM (IO) sebesar 2.677 MW (5%). Konsumsi energi rata-rata 199 TWh sedangkan produksi tenaga listriknya 228 TWh (hanya PLN dan IPP). Rasio elektrifikasi nasional tercatat sebesar 84,35% [4]. Pemakaian listrik pergolongan terbesar untuk golongan rumah tangga yaitu sebesar 43%, disusul kemudian dengan industri sebesar 33%, bisnis 18% dan terakhir 6% publik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Persentase Pemakaian Listrik Setiap Sektor Indonesia**

Kondisi kelistrikan awal Maret 2015, total sistem kelistrikan di Indonesia terdapat 22 sistem, dengan perincian, enam dalam kondisi normal (cadangan > 20%), 11 siaga (cadangan kurang dari satu unit terbesar) dan lima defisit (pemadaman sebagian). Jenis energi untuk pengadaan tenaga listrik antara lain, batubara 52%, gas 24%, BBM (Bahan Bakar Minyak) 11,7%, air 6,4%, panas bumi 4,4% dan energi lainnya sebesar 0,4% [1]. Untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang terus tumbuh, pemerintah sedang mengupayakan penambahan kapasitas listrik sebesar 7.000 MW per tahun 35.000 MW dalam lima tahun. Pembagian pengadaan tambahan tenaga listrik dibagi berdasarkan zona, yaitu Sumatera sebesar 8,75 GW, Kalimantan 1,87 GW, Sulawesi 2,70 GW, Jawa dan Bali 20,91 GW, Nusa Tenggara 0,70 GW, Maluku 0,28 GW dan Papua 0,34 GW. Guna mendukung program tersebut, penambahan kapasitas listrik 35.000 MW, akan dibangun pula jaringan transmisi total di seluruh Indonesia sepanjang 46.597 km yang terdiri dari 2.689 km untuk 70 kV, 33.562 km untuk jaringan 150 kV, 5.262 km untuk 275 kV, 3.541 km untuk 500 kV, dan 1.543 km untuk jaringan 500 kV.

*Tariff adjustment* listrik bulan Desember 2015 telah ditetapkan. Sesuai Peraturan Menteri (Permen) Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 31/2014 sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri ESDM No 09/2015, *tariff adjustment* diberlakukan setiap bulan menyesuaikan perubahan nilai tukar mata uang Dollar Amerika terhadap mata uang Rupiah, harga minyak, dan inflasi bulanan. Dengan mekanisme *tariff adjustment*, tarif listrik setiap bulan memang dimungkinkan untuk turun, tetap, atau naik berdasarkan ketiga indikator tersebut. *Tariff adjustment* berlaku bagi golongan pelanggan yang sudah tidak disubsidi, yaitu rumah tangga daya 1.300 Volt Ampere (VA) ke atas, bisnis sedang daya 6.600 VA ke atas, industri besar daya 200.000 VA ke atas, kantor pemerintah daya 6.600 VA ke atas, lampu penerangan jalan umum (PJU) dan layanan khusus.

Pada bulan Desember 2015 secara umum tarif listrik bagi pelanggan yang sudah tidak disubsidi mengalami penurunan dibanding bulan sebelumnya. Golongan tarif rumah tangga sedang (R-2) daya 3.500 VA sampai 5.500 VA dan rumah tangga besar (R-3) daya 6.600 VA ke atas turun dari Rp. 1.533 kWh pada bulan November 2015 menjadi Rp. 1.509 per kWh pada bulan Desember 2015. Untuk golongan tarif bisnis sedang, industri besar, kantor pemerintah, PJU (Penerangan Jalan Umum) dan layanan khusus juga mengalami penurunan tipis dibandingkan bulan sebelumnya. Penurunan ini dipengaruhi tingkat inflasi yang rendah dan nilai tukar Rupiah yang menguat beberapa waktu terakhir. Berdasarkan perbandingan hasil analisis efisiensi terhadap seluruh sektor yang ada, maka sektor umum merupakan sektor yang paling besar terjadi pemborosan dalam penggunaan energi listrik yang ada. Sektor industri dan sektor bisnis merupakan sektor yang paling efisien dalam penggunaan energi listrik. Pendapatan riil sektor umum berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah permintaan energi listrik pada sektor umum.

Sementara untuk pelanggan rumah tangga kecil daya 450 VA dan 900 VA, bisnis dan industri kecil serta pelanggan sosial tarifnya tetap dan tidak diberlakukan *tariff adjustment*. Pelanggan

golongan tersebut masih diberikan subsidi oleh pemerintah. Mulai bulan Desember 2015, pelanggan PLN golongan tarif rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA diberlakukan mekanisme *tariff adjustment*. Hal ini menyusul penerapan *tariff adjustment* kepada 10 golongan tarif lainnya yang sudah berlaku sejak 1 Januari 2015 . Sebenarnya, tarif listrik bagi rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA harus sudah mengikuti mekanisme *tariff adjustment* saat itu, namun pemerintah dan PLN mengambil kebijakan untuk menunda penerapan *tariff adjustment* bagi pelanggan rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA. Pertimbangan saat itu adalah pelanggan golongan tersebut sudah mengalami kenaikan tarif listrik secara bertahap sejak Juli 2014 hingga November 2014. Selain itu penundaan juga untuk meringankan beban ekonomi pelanggan di kedua golongan tersebut.

## **2.2. Definisi Tarif Industri**

Pelanggan yang termasuk dalam golongan tarif industri adalah pelanggan yang sebagian atau seluruh tenaga listrik dari PT. PLN (Persero) digunakan untuk salah satu atau beberapa kegiatan berbentuk sebagai berikut:

1. Usaha kecil perorangan dan usaha industri rumahan.
2. Usaha industri perdagang skala kecil seperti koperasi unit desa atau industri kelompok usaha, dan perusahaan sejenis CV (*Commanditaire Vennootschap*).
3. Industri skala menengah, terutama makanan, pertanian, perkebunan, dan sejenisnya serta industri dengan pemakaian daya listrik menengah seperti industri kertas dan industri percetakan.
4. Industri sejenis PT (Perseroan Terbatas) dengan kebutuhan energi listrik besar seperti industri pertambangan, pengecoran logam, industri bahan baku nonlogam seperti

semen, industri tekstil dan industri produk dengan skala nasional.

5. Industri dengan skala sangat besar dengan kebutuhan energi listrik khusus seperti pengecoran logam dasar yang besar, industri makanan sangat besar, atau industri besar lainnya yang membutuhkan energi listrik yang khusus sehingga PLN harus menyediakan pasokan khusus tersendiri untuk memenuhi kebutuhan energi listrik industri terkait.

Berbeda dengan aturan Tarif Tenaga Listrik sebelumnya, usaha dengan kegiatan pengolahan yang memberikan nilai tambah atas sesuatu produk, kelompok tarif bisnis dan dimasukkan dalam kelompok industri. Kebijakan ini diambil demi konsistensi penerapan Klasifikasi Lapangan Usaha Indonesia (KLUI) atau *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC)*.

Pada saat sekarang ini tarif sektor industri di PLN secara garis besar dibagi menjadi empat, yaitu sebagai berikut [5]:

1. I-1 (Tegangan Rendah)
2. I-2 (Tegangan Menengah)
3. I-3 (Tegangan Tinggi)
4. I-4 (Tegangan Tinggi)

### **2.3. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN Tahun 2015-2024**

PT. PLN dalam melaksanakan peningkatan usaha penyediaan tenaga listrik yang terencana dengan baik menyusun sebuah dokumen perencanaan sepuluh tahunan yang disebut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL). RUPTL mempunyai tujuan untuk merencanakan pengembangan sistem kelistrikan jangka panjang, selain tujuan tersebut PT. PLN mempunyai tujuan rencana investasi yang efisien dan kehati-hatian dengan didasarkan kepada perencanaan yang baik, hal ini penting

dilakukan karena keputusan investasi di bisnis kelistrikan akan dituntut manfaatnya dalam jangka panjang. RUPTL merupakan sebuah pedoman pengembangan sistem kelistrikan bagi PT. PLN sepuluh tahun mendatang yang optimal, disusun untuk mencapai tujuan tertentu serta berdasarkan pada kriteria perencanaan dan kebijakan tertentu, dengan demikian pelaksanaan proyek-proyek kelistrikan di luar RUPTL yang dapat menurunkan efisiensi investasi perusahaan dapat dihindarkan [1].

Pada dasarnya tujuan penyusunan RUPTL adalah memberikan pedoman dan acuan pengembangan sarana kelistrikan PT. PLN dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik di wilayah usahanya secara lebih efisien dan lebih baik, sehingga dapat dihindari kerugian besar pada perusahaan sejak tahap perencanaan. Sasaran RUPTL yang ingin dicapai sepuluh tahun ke depan secara nasional adalah pemenuhan kebutuhan kapasitas dan energi listrik, peningkatan efisiensi dan kinerja sistem kelistrikan sejak dari tahap perencanaan yang secara umum meliputi:

1. Mengatasi kekurangan pasokan tenaga listrik yang terjadi di beberapa daerah.
2. Tercapainya pemenuhan kebutuhan kapasitas dan energi listrik setiap tahun dengan tingkat keandalan yang diinginkan secara *least cost*.
3. Tercapainya jenis bahan bakar (*fuel-mix*) yang lebih baik untuk menurunkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP).
4. Tercapainya pemanfaatan energi baru dan terbarukan utamanya panas bumi sesuai dengan program pemerintah, dan juga energi terbarukan lain seperti tenaga air.
5. Tercapainya rasio elektrifikasi yang digariskan oleh Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN), dan mencapai rasio elektrifikasi paling kecil 60% pada setiap provinsi.

6. Tercapainya keandalan dan kualitas listrik yang makin membaik.
7. Tercapainya angka rugi transmisi dan distribusi yang kecil.

#### **2.4. Data-data PT. PLN Distribusi dan PT. PLN P3B Jawa Timur**

Beberapa data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah data-data langsung yang diambil dari PT. PLN P3B Jawa Timur yang beralamat pada Jl. Suningrat No. 45 Taman berupa data yang berkaitan dengan pasokan energi listrik Jawa Timur dan data-data dari PT. PLN Distribusi Jawa Timur yang berkaitan dengan konsumsi dan kebutuhan energi listrik Jawa Timur. Data-data tersebut secara detail sebagai berikut [5]:

1. Data evaluasi tarif per bulan dari Januari 2012 sampai Februari 2016, yaitu berupa data konsumsi energi listrik (kWh), daya tersambung konsumen (VA), data rupiah pendapatan per tarif, serta evaluasi rata-rata jam nyala per tarif dalam satu bulan yang disajikan per Area Pelayanan Jaringan (APJ).
2. Peta jaringan kelistrikan Jawa Timur.
3. Pasokan energi listrik Jawa Timur dari total daya tampung seluruh gardu induk di Jawa Timur.

Selain data-data tersebut akan dibutuhkan data-data lebih lanjut di PLN Distribusi nantinya. Seperti, pemakaian listrik konsumsi bisnis, industri, rumah tangga, sosial, pergolongan tarif dan sebagainya.

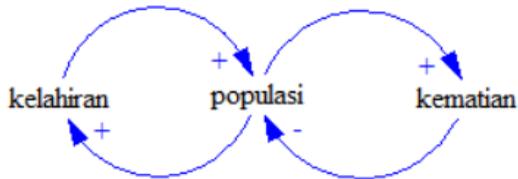
#### **2.5. Simulasi Dinamis**

Simulasi dinamis merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain suatu sistem dari permasalahan secara terstruktur layaknya *flowchart* yang setiap variabelnya memiliki keterkaitan satu sama lain [6]. Secara harfiah simulasi dinamis ditandai dengan ketergantungan antar variabel,

hubungan umpan balik, dan perputaran sebab akibat. Pendekatan sistem dinamis dalam melakukan simulasi dinamis sendiri dimulai dengan pendefinisian masalah secara dinamis dari waktu ke waktu, lalu dilanjutkan dengan pemetaan variabel-variabel terkait yang signifikan pada model yang akan dibangun dalam simulasi dinamis. Pada tahap ini dilakukan identifikasi variabel sebagai arus masuk atau keluar (*rate*) atau akumulasi (*level*) dalam sistem maupun variabel yang berpengaruh dengan persamaan tertentu dalam sistem (*auxiliary*) atau variabel biasa yang didapatkan informasinya dari variabel lain. Tahap selanjutnya merupakan tahap pengembangan model dan disimulasikan untuk mengumpulkan suatu informasi ataupun pengetahuan tertentu yang nantinya bisa digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan atau kebijakan dari hasil simulasi model yang berlaku.

Ada dua diagram yang digunakan untuk merepresentasikan suatu sistem dalam simulasi dinamis. Diagram yang pertama adalah *Causal Loop Diagram* (CLD). Diagram CLD digunakan sebagai kerangka berpikir untuk memahami hubungan sebab akibat dari suatu sistem. Hal penting yang perlu diperhatikan dari diagram CLD adalah tanda panah yang menjelaskan adanya hubungan antar variabel dalam sistem. Terdapat tanda plus (+) dan minus (-) di tanda panah yang menandakan sifat hubungan antar data. Tanda plus berarti meningkat atau menurunnya suatu variabel pada ekor tanda panah akan menyebabkan hal yang sama pada variabel pada kepala panah. Tanda minus berarti sebaliknya, yaitu menyebabkan hal kebalikan antar variabel yang berhubungan [7].

Gambar 2.2 merupakan contoh penggunaan hubungan plus minus terhadap variabel kelahiran, kematian, dan populasi. Gambar 2.2 menjelaskan bahwa semakin naik jumlah kelahiran maka akan mengakibatkan semakin naik pula populasi, begitupun sebaliknya, hal tersebut juga berlaku untuk pengaruh populasi terhadap kelahiran dan kematian. Sebaliknya semakin tinggi kematian mengakibatkan semakin rendahnya jumlah populasi, atau hubungan yang melemahkan atau terbalik.



**Gambar 2.2. Contoh Causal Loop Diagram**

Diagram yang kedua adalah *Stock and Flow* (SFD). Diagram SFD mempelajari sistem kompleks dengan memanfaatkan konsep sebab akibat. Pendekatan sistem dinamis berhubungan dengan *feedback* dari hubungan sebab akibat antar variabel di dalam model dan ada penundaan waktu yang berpengaruh pada sistem secara keseluruhan. Pada model sistem, simulasi dinamis harus melakukan inialisasi waktu dan mengatur *time step* dalam satuan waktu seperti tahun, bulan, hari, atau jam, selain itu juga harus mengatur seberapa jauh *time step* pada model sistem yang akan disimulasikan. Pada diagram SFD yang digunakan untuk simulasi terdapat persamaan-persamaan yang menghubungkan antar variabel secara kompleks pada diagram SFD. Ada tiga simbol penting pada diagram tersebut, simbol-simbol tersebut dijelaskan dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Simbol dalam Stock and Flow Diagram**

Nama	Simbol	Arti
<i>Level</i>		Akumulasi dari data pada waktu sebelumnya. Mempunyai nilai inisial pada <i>time step</i> awal.
<i>Rate</i>		Arus masuk dan keluar pada <i>level</i> yang mempengaruhi jumlah akumulasi pada waktu selanjutnya
<i>Auxiliary</i>		Variabel yang mempengaruhi variabel lain dengan persamaan tertentu terhadap variabel lain.

Fungsi-fungsi yang digunakan dalam simulasi dinamis antara lain adalah sebagai berikut:

1. **IF THEN ELSE**

Fungsi ini digunakan untuk pembeda suatu kondisi yang ditentukan oleh suatu syarat tertentu dan mempunyai hasil keluaran jika syarat terpenuhi atau jika syarat tidak terpenuhi. *Script* fungsi ini adalah *IF THEN ELSE(syarat, kondisi benar, kondisi salah)*.

2. **SIN**

Fungsi matematika yang nantinya akan digunakan dalam pencarian kurva pertumbuhan variabel tertentu di dalam simulasi berupa fungsi naik turun seperti lembah dan bukit. *Script* fungsi ini adalah *SIN(varibel)*. Dalam *curve fitting* variabel tersebut adalah satuan waktu pada model.

3. **MODULO**

Fungsi matematika berupa fungsi sisa bagi, dalam simulasi ini digunakan untuk mencari perulangan fungsi pertumbuhan variabel tertentu pada model yang *valid* terhadap data asli. *Script* fungsi ini adalah *MODULO(varibel, pembagi)*.

Dalam pemodelan simulasi dinamis akan setelah diagram SFD dibuat maka akan dilakukan uji validasi agar model menggambarkan keadaan aslinya. Selanjutnya bisa dilakukan skenario di masa depan untuk mengetahui bagaimana jika terjadi kenaikan atau penurunan suatu variabel pada model [8].

## **2.6. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)**

Produk domestik merupakan semua barang dan jasa sebagai hasil dari kegiatan-kegiatan ekonomi yang beroperasi di wilayah domestik, tanpa memperhatikan apakah faktor produksinya berasal atau dimiliki oleh penduduk daerah tersebut, merupakan produk domestik daerah yang bersangkutan. Pendapatan yang timbul oleh karena adanya kegiatan produksi tersebut merupakan pendapatan domestik. Kenyataan menunjukkan bahwa sebagian dari faktor produksi yang digunakan

dalam kegiatan produksi di suatu daerah berasal dari daerah lain atau dari luar negeri, demikian juga sebaliknya faktor produksi yang dimiliki oleh penduduk daerah tersebut ikut serta dalam proses produksi di daerah lain atau di luar negeri. Hal ini menyebabkan nilai produk domestik yang timbul di suatu daerah tidak sama dengan pendapatan yang diterima penduduk daerah tersebut. Dengan adanya arus pendapatan yang mengalir antar daerah ini (termasuk juga dari dalam ke luar negeri) yang pada umumnya berupa gaji, bunga, deviden dan keuntungan maka timbul perbedaan antara produk domestik dan produk regional.

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) adalah jumlah nilai tambah bruto (*gross value added*) yang timbul dari seluruh sektor perekonomian di suatu wilayah atau regional tertentu. Nilai tambah adalah nilai yang ditambahkan dari kombinasi faktor produksi dan bahan baku dalam proses produksi. Penghitungan nilai tambah adalah nilai produksi (*output*) dikurangi biaya antaranya [9]. Nilai tambah bruto mencakup komponen-komponen pendapatan faktor (upah, gaji, bunga, sewa tanah dan keuntungan), penyusutan, dan pajak tidak langsung dari netto. Jadi dengan menjumlahkan nilai tambah bruto dari masing-masing sektor dan menjumlahkan nilai tambah bruto dari seluruh sektor tadi, akan diperoleh Produk Domestik Regional Bruto atas dasar harga pasar, hal ini dikarenakan terdapat nilai tambah nominal Rupiah yang tidak langsung mempengaruhi penghitungan nilai tambah bruto dari PDRB itu sendiri.

PDRB industri Jawa Timur merupakan PDRB yang didapatkan dari usaha industri yang ada di Jawa Timur. Jenis-jenis industri di Jawa Timur dalam PDRB dipetakan sebagai berikut [9]:

1. Industri pertanian (pertanian, perkebunan, peternakan, kehutanan, dan perikanan).
2. Industri pertambangan (migas dan nonmigas) dan penggalian.
3. Industri pengolahan (makanan dan minuman, tekstil, kertas dan percetakan, bahan kimia, semen, dan bahan nonlogam, logam dasar dan besi).

#### 4. Industri makanan, minuman, dan jasa kecil.

Dalam model dan simulasi dinamis PDRB merupakan variabel eksternal yang dimasukkan ke dalam model kelistrikan sektor industri di Jawa Timur. Persamaan pertumbuhan PDRB pada model akan dicari dengan menggunakan *curve fitting* agar sesuai dengan data historis PDRB sebelumnya. *Curve fitting* merupakan pencarian fungsi yang sesuai dengan pencocokan data-data historis sebagai titik-titik pada suatu fungsi yang sesuai dengan suatu kurva fungsi. Pada model proses *curve fitting* fungsi pertumbuhan PDRB yang sesuai dengan naik turunnya data historis adalah fungsi sinus, itulah mengapa fungsi SIN dipakai dalam persamaan dalam model simulasi dinamis.

### 2.7. Metode Ekonometri

Metode ekonometri adalah metode analisis kuantitatif yang menghitung pertumbuhan masalah dalam model dan dikombinasikan dengan perubahan ekonomi yang sebenarnya didasarkan pada data faktual. Metode ekonometri menggabungkan tiga ilmu pokok yang berbeda seperti ekonomi, matematika, dan statistik. Hubungan antara data dari model dengan data sekunder seperti data ekonomi berubah menjadi persamaan matematika dan data yang nantinya disajikan sebagai data statistik [10].

Peramalan data di masa depan dengan metode ekonometri melibatkan variabel eksternal atau variabel sekunder terhadap variabel utama yang akan diramalkan atau *forecast*. Keterkaitan antara variabel sekunder terhadap perubahan variabel utama yang terlibat langsung memungkinkan untuk meramalkan data dengan lebih terperinci dan lebih akurat.

Metode ekonometri nantinya akan dikombinasikan dengan simulasi dinamis dengan melibatkan persamaan-persamaan ekonometri yang akan dimasukkan dalam model dinamis yang akan disimulasikan dan diramalkan di masa depan. Persamaan ekonometri dalam simulasi dinamis akan menentukan perilaku pertumbuhan kebutuhan listrik pada skenario model jika pertumbuhan naik atau turun dari keadaan normal [11].

Metode ekonometri diterapkan pada model dengan mencari hubungan antar hasil *curve fitting* fungsi pertumbuhan PDRB terhadap setiap tarif industri dengan pendekatan regresi untuk mencari persamaan ekonometri yang akan dimasukkan ke dalam ekuasi dalam model simulasi dinamis.

## 2.8. Dokumentasi Kebutuhan Listrik (DKL 3.2)

Model Dokumentasi Kebutuhan Listrik atau di singkat DKL 3.2 merupakan suatu model yang disusun dengan menggabungkan beberapa variabel eksternal, kecenderungan, dan analitis dengan pendekatan sektoral. Model DKL 3.2 digunakan PLN untuk menyusun proyeksi kebutuhan energi listrik.

Pada model DKL 3.2, pendekatan yang digunakan dalam menghitung kebutuhan energi listrik adalah dengan mengelompokkan pelanggan menjadi empat sektor, pembagiannya adalah sebagai berikut [12]:

1. Sektor rumah tangga, terdiri dari pemakai rumah tangga dan pemakai kecil (golongan tarif R-1, R-2, dan R-3).
2. Sektor bisnis, terdiri dari pemakai bisnis (golongan tarif B-1, B-2, dan B-3).
3. Sektor umum, terdiri dari pemakai gedung atau kantor pemerintah, lampu penerangan jalan umum, dan sosial. (golongan tarif S-1, S-2, S-3, P-1, P-2, dan P-3).
4. Sektor industri, terdiri dari pemakai industri dan hotel (golongan tarif I-1, I-2, I-3, dan I-4).

Perhitungan kebutuhan energi listrik sektor industri sendiri dicari dengan Persamaan 2.1.

$$E.I_n = E.I_{n-1} \left( 1 + eI \times \frac{gI}{100\%} \right) \quad (2.1)$$

Pada Persamaan 2.1  $E.I_n$  adalah jumlah energi listrik yang dibutuhkan sektor industri pada tahun tertentu.  $E.I_{n-1}$  adalah jumlah

kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan sektor industri pada tahun sebelumnya.  $eI$  adalah elastisitas listrik sektor industri, yaitu perbandingan antara pertumbuhan permintaan energi listrik sektor industri terhadap pertumbuhan PDRB sektor industri, sedangkan  $gI$  adalah nilai pertumbuhan dari PDRB sektor industri.

## 2.9. Tools yang Digunakan

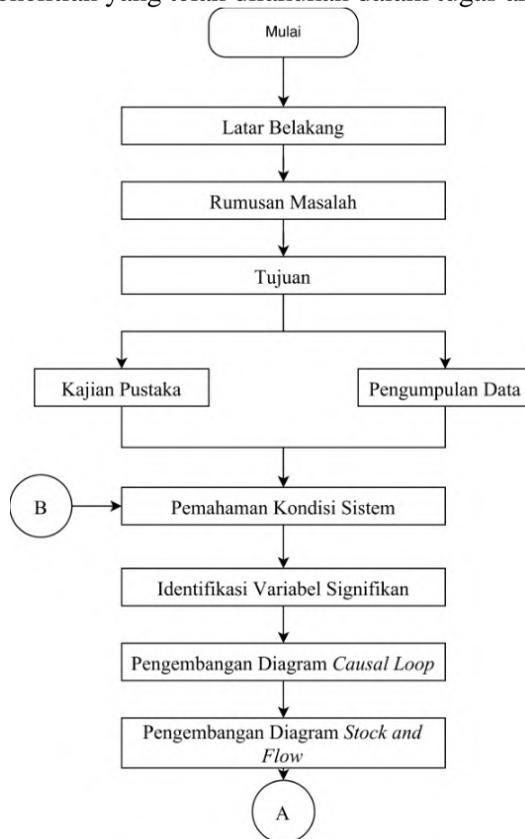
1. Ventana Simulator (Vensim PLE)  
Digunakan untuk membangun model dari simulasi dinamis baik secara struktural maupun fungsionalitas.
2. Minitab 17  
Digunakan untuk mencari fungsi persamaan regresi dari metode ekonometri yang diterapkan pada persamaan dalam variabel model simulasi dinamis.
3. Matlab R2014b  
Digunakan untuk mencari fungsi hasil dari *curve fitting* pertumbuhan PDRB industri yang diterapkan pada persamaan dalam variabel model simulasi dinamis.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

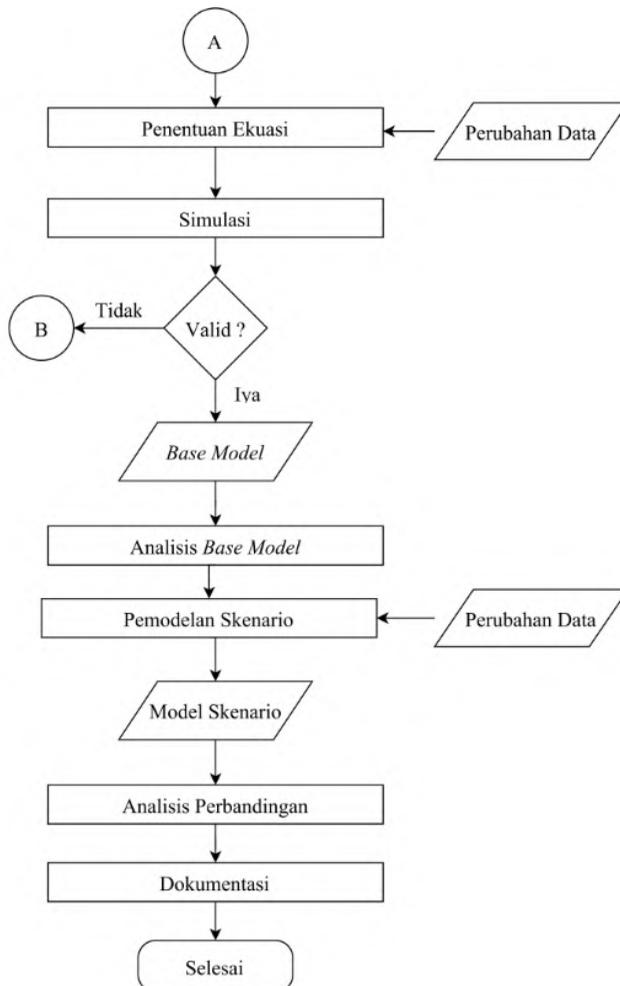
Bab ini membahas secara teori bagaimana analisis dan implementasi model dari simulasi dinamis dilakukan dan analisis model dilakukan.

### 3.1. Tahap Penelitian

Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 merupakan diagram alir tahapan penelitian yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini.



**Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian bagian 1**



**Gambar 3.2. Diagram Alir Tahap Penelitian bagian 2**

Tahap penelitian yang dilakukan disesuaikan dengan langkah-langkah analisis sistem dari permasalahan yang ada dan pembuatan pemodelan dinamis dengan menggunakan pendekatan simulasi dinamis dari awal penentuan masalah dengan latar

belakang sampai kesimpulan analisis dan dokumentasi akhir. Setiap tahapan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 akan dijelaskan lebih detail pada Subbab 3.2.

### **3.2. Penjelasan Tahap Penelitian**

Berikut ini akan dijelaskan secara lebih detail setiap langkah pada diagram alir tahapan penelitian yang dilakukan.

#### **3.2.1. Tahap Pemahaman Kondisi dan Situasi Sistem**

Pada tahap pemahaman kondisi dan situasi sistem dilakukan dengan tujuan untuk memahami karakteristik dan permasalahan yang terjadi pada sistem yang akan dibuat modelnya. Tahap ini juga dilakukan untuk memahami hubungan variabel-variabel yang terkait dalam sistem. Pemahaman sistem dimulai dengan menyelaraskan antara latar belakang masalah, rumusan masalah, dan tujuan yang ingin dicapai. Setelah selaras lalu dikaji kondisi dan situasi dari sistem saat ini dengan melakukan observasi pada data-data yang diperoleh sebelumnya dan melakukan kajian pustaka terkait dengan sistem.

#### **3.2.2. Tahap Identifikasi Variabel Signifikan**

Di dalam sistem tentu terdapat komponen-komponen atau variabel yang saling mempengaruhi oleh suatu hubungan sebab akibat tertentu. Komponen-komponen tersebut jika mempunyai pengaruh signifikan terhadap komponen-komponen lainnya pada sistem maka termasuk variabel signifikan yang harus dipetakan dan ditentukan parameter apa saja yang mempengaruhi setiap variabel signifikan tersebut. Hubungan sebab akibat antar variabel pada sistem menyebabkan variabel signifikan satu menjadi parameter bagi variabel signifikan lainnya. Penjabaran parameter variabel signifikan pada model harus secara sistematis agar tidak menyalahi kaidah model yang baik. Hasil dari identifikasi bertujuan untuk penyusunan variabel pada tahap pembuatan diagram *causal loop*.

### **3.2.3. Pengembangan Diagram *Causal Loop***

Saat seluruh variabel signifikan parameter yang mempengaruhinya selesai diidentifikasi, selanjutnya dilakukan pengembangan diagram *causal loop* (CLD) sebagai kerangka berpikir dari model simulasi dinamis. Pengembangan CLD digunakan untuk menggambarkan bagaimana hubungan dan keterkaitan antar variabel serta parameternya pada sistem. Pada saat pengembangan CLD sangat mungkin terjadi kekurangan atau ketidakcocokan variabel dan parameter yang ada pada sistem sehingga perlu dilakukan penambahan, perubahan, ataupun pengurangan variabel dan atau parameter agar kerangka berpikir pada CLD tidak salah dan mengakibatkan proses simulasi dinamis pada model tidak sesuai pada langkah selanjutnya.

### **3.2.4. Tahap Pengembangan Diagram *Stock and Flow***

Tahap ini dilakukan dengan didasari dari pengembangan CLD. Diagram *Stock and Flow* (SFD) merupakan cerminan dari proses bisnis dari sistem yang memungkinkan untuk dieksplorasi perilakunya dan diuji pengaruh perubahan pada struktur dan ketentuan yang mengatur perilakunya.

Pada SFD konseptual dalam CLD diubah lebih ke arah model yang dapat disimulasikan. SFD merupakan tahap paling penting karena merepresentasikan simulasi model dari sistem yang sebenarnya terjadi dan simulasinya sendiri sesuai dengan pendekatan simulasi dinamis. Dalam SFD dimasukkan ekuasi untuk menentukan hubungan antar data dalam model simulasi dinamis. Ekuasi dalam model juga bertujuan untuk memasukkan persamaan ekonometri yang akan digabungkan dengan metode simulasi dinamis pada tugas akhir ini.

Proyeksi kebutuhan dan pasokan listrik di masa depan dilakukan dalam SFD. Hasil proyeksi atau peramalan kebutuhan listrik di masa depan akan dijadikan acuan untuk menentukan ekspansi daya listrik yang dibutuhkan di masa depan.

### 3.2.5. Tahap Penentuan Ekuasi

Pada SFD model sistem terdapat komponen-komponen berupa parameter, *rate*, *level*, *auxiliary*. Setiap komponen pada SFD menggambarkan konseptual dari sistem sebenarnya sehingga agar model dapat disimulasikan maka setiap komponen dari model harus diberikan suatu persamaan atau ekuasi tertentu secara kuantitatif. Ekuasi didapatkan dari observasi pada variabel-variabel sistem dan dicari keterkaitannya dengan kajian pustaka. Penentuan ekuasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi yang mendukung pendekatan simulasi dinamis.

### 3.2.6. Tahap Simulasi

Tahap ini dapat dilakukan setelah tahap penentuan ekuasi selesai. Dengan adanya ekuasi pada setiap variabel pada model maka simulasi dapat dilakukan. Hal yang perlu diperhatikan pada simulasi adalah diperlukannya masukan data sekunder untuk masukan pada variabel dasar penentu hasil ekuasi. Data-data sekunder tersebut bersifat historis yang merepresentasikan kondisi sistem dari pada suatu waktu dulu hingga saat ini. Hasil proyeksi jangka panjang dari simulasi diperoleh dengan menggunakan masukan data sekunder.

### 3.2.7. Tahap Uji Validasi

Tahap uji validasi dilakukan untuk menentukan seberapa akurat hasil dari proyeksi dengan menggunakan data historis yang ada dengan ekuasi yang sudah ditentukan. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hasil dari simulasi terhadap data sebenarnya atau data asli.

Ada dua uji validasi yang dilakukan, yaitu uji *error* rata-rata (*mean comparison*) yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1 dan uji variasi amplitudo grafik (*variance comparison*) yang ditunjukkan pada Persamaan 3.2.

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{A} \quad (3.1)$$

$$E2 = \frac{|S_s - S_A|}{S_A} \quad (3.2)$$

$\bar{S}$  merupakan rata-rata dari data model, sedangkan  $\bar{A}$  merupakan rata-rata dari data sebenarnya.  $S_s$  merupakan standar deviasi dari data model, sedangkan  $S_A$  merupakan standar deviasi dari data sebenarnya. Kedua uji validasi tersebut akan menghasilkan suatu model yang valid jika nilai  $E1 \leq 5\%$  dan nilai  $E2 \leq 30\%$ . Apabila belum valid maka model harus diulang ke tahap pemahaman sistem lagi sampai model valid dan dianggap bisa menjadi *base model* dari model sistem yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. *Output* dari tahap ini menghasilkan suatu *base model*.

### 3.2.8. Tahap Pengembangan Skenario

Tahap ini bertujuan untuk memanipulasi model dan data dan ekuasi dari *base model* agar hasil simulasi sistem dapat dibandingkan untuk melihat skenario apa saja yang mungkin terjadi di masa depan.

Ada tiga skenario yang dikembangkan pada tahap ini, yaitu skenario optimis, *most likely*, dan pesimis. Skenario optimis merepresentasikan peningkatan yang lebih pada hasil simulasi model, sedangkan skenario pesimis merupakan kebalikannya. Skenario *most likely* merupakan proyeksi di masa depan dari *base model* yang tidak diubah sama sekali tetapi berbeda *time step*. Ketiga skenario tersebut digunakan untuk melihat bagaimana jika pertumbuhan energi listrik stabil dengan kurva sesuai masa lalu berupa skenario *most likely*, bagaimana jika pertumbuhan energi listrik dinaikkan sekitar 6% dalam satu tahun berupa skenario optimis, dan bagaimana jika pertumbuhan energi listrik turun sekitar 3% dalam satu tahun berupa skenario pesimis. Skenario yang paling mendekati data asli adalah skenario *most likely* sehingga skenario tersebut adalah skenario paling cocok yang digunakan untuk peramalan pertumbuhan energi listrik di masa depan.

Analisis terhadap ketiga skenario dimulai setelah hasil simulasi tahap skenario diperoleh maka dapat dilakukan perbandingan antara hasil simulasi ketiga skenario yang sudah disebutkan sebelumnya. Hasil perbandingannya akan dievaluasi dan dianalisis untuk menentukan semua kemungkinan yang bisa terjadi di masa depan.

### **3.2.9. Tahap Analisis Perbandingan**

Pada tahap ini hasil dari *base model* akan dibandingkan dengan hasil dari metode DKL 3.2 untuk membuktikan bahwa hasil dari simulasi dinamis mempunyai *error mean comparison* (E1) dan *error variance comparison* yang lebih kecil.

### **3.2.10. Tahap Dokumentasi**

Tahap dokumentasi merupakan tahap akhir diaman seluruh hasil simulasi pada tugas akhir dicatat dan didokumentasikan.

Pada tahap ini didapatkan hasil berupa kesimpulan dari hasil simulasi yang bisa dijadikan acuan sebagai pengambilan keputusan dan atau kebijakan terkait sebagai tindak lanjut dari proyeksi yang dilakukan pada simulasi yang mungkin terjadi di masa depan. Serta saran terhadap tugas akhir ini juga didapatkan untuk hasil yang lebih baik bagi penelitian selanjutnya.

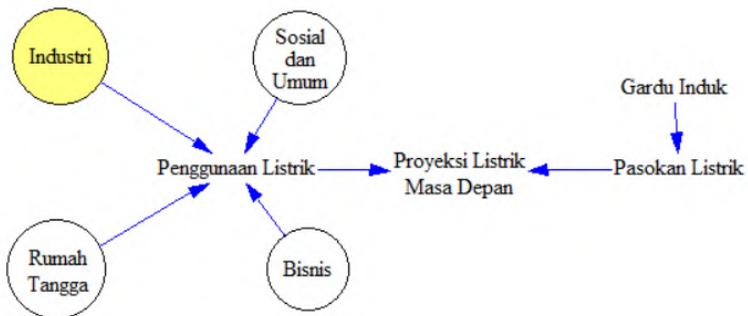
*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas pengerjaan tugas akhir yang telah dibahas pada Bab III. Dalam implementasinya, pengerjaan tugas akhir sewaktu-waktu dapat berubah.

### 4.1 Gambaran Umum

Kebutuhan listrik Jawa Timur dipasok oleh gardu induk dan didistribusikan ke sektor industri di Jawa Timur. Ada 16 APJ (Area Pelayanan Jaringan) di Jawa Timur, setiap APJ mempunyai perilaku permintaan yang berbeda. Penelitian ini menggabungkan data permintaan semua listrik dari seluruh 16 APJ di Jawa Timur.

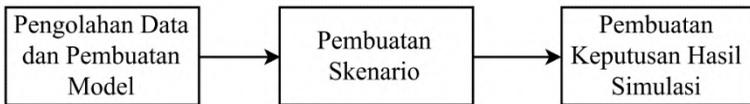


**Gambar 4.1 Bentuk Model Secara Umum**

Gambar 4.1 merupakan bentuk model yang akan dibuat secara umum. Pada penggunaan listrik pada sektor sosial dan umum, rumah tangga, serta bisnis akan dikerjakan oleh anggota kelompok tugas akhir lain, dikarenakan tugas akhir ini bersifat kelompok. Dalam setiap empat sektor terdapat beberapa perbedaan seperti faktor-faktor yang berkaitan dengan penggunaan dan perkembangan listrik. Sektor industri yang berwarna kuning pada Gambar 4.1 yang merupakan sektor industri yang penulis kerjakan dibagi menjadi empat tarif, yaitu tarif I-1 untuk industri kecil, tarif

I-2 untuk industri menengah, tarif I-3 untuk industri besar, dan tarif I-4 untuk industri sangat besar yang akan dijelaskan lebih detail pada Subbab 4.2.1. Pada pasokan atau *supply* listrik sendiri dipasok oleh gardu induk.

Pada setiap tarif pada sektor industri, dipengaruhi oleh faktor seperti faktor PDRB industri yang mempengaruhi pertumbuhan serta penggunaan listrik setiap tarif.



**Gambar 4.2 Gambaran Umum Sistem**

Pada Gambar 4.2 merupakan gambaran secara umum pengerjaan tugas akhir ini. Pertama merupakan pengolahan data serta pembuatan model dari keseluruhan sistem. Setelah semua model telah diverifikasi serta layak dianggap sebagai model yang valid, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan skenario. Skenario yang digunakan bisa lebih dari dua, sesuai kebutuhan dan kondisi. Setelah skenario selesai dibuat maka hasil dari skenario tersebut dapat dijadikan acuan untuk membuat kebijakan di masa depan, seperti ekspansi pasokan listrik berupa gardu induk maupun penambahan daya, serta data proyeksi skenario di masa depan dapat digunakan pada tugas akhir yang lain.

Di Jawa Timur sendiri pembagian wilayah distribusi energi listrik ke pelanggan dipetakan menjadi 16 APJ atau Area Pelayanan Jaringan. 16 APJ di Jawa Timur adalah sebagai berikut:

1. APJ SBU (Wilayah Surabaya Utara)
2. APJ SBS (Wilayah Surabaya Selatan)
3. APJ SBB (Wilayah Surabaya Barat)
4. APJ GSK (Wilayah Gresik dan sekitarnya)
5. APJ SDA (Wilayah Sidoarjo dan sekitarnya)
6. APJ PKS (Wilayah Pamekasan dan Madura lainnya)
7. APJ BJG (Wilayah Bojonegoro dan sekitarnya)

8. APJ MDN (Wilayah Madiun dan sekitarnya)
9. APJ MLG (Wilayah Malang dan sekitarnya)
10. APJ PSR (Wilayah Pasuruan dan sekitarnya)
11. APJ KDR (Wilayah Kediri dan sekitarnya)
12. APJ MJK (Wilayah Mojokerto dan sekitarnya)
13. APJ JBR (Wilayah Jember dan sekitarnya)
14. APJ BWG (Wilayah Banyuwangi dan sekitarnya)
15. APJ PNG (Wilayah Ponorogo dan sekitarnya)
16. APJ STB (Wilayah Situbondo dan sekitarnya)

## **4.2. Pengumpulan Data**

Berikut ini akan dipaparkan data-data yang digunakan untuk mendukung pengembangan model dari simulasi dinamis untuk perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur. Data yang dipaparkan belum seluruh data yang digunakan tetapi sudah merupakan sebagian besar data yang dapat mewakili data primer berupa data kelistrikan dan data sekunder berupa data PDRB industri dalam pengembangan model.

Data yang dipaparkan merupakan hasil pengumpulan data yang meliputi data berdasarkan aspek kelistrikan dan aspek ekonomi terkait kelistrikan sektor industri di PLN. Data kelistrikan terkait tersaji dalam laporan dan evaluasi data kelistrikan setiap tarif pelanggan PLN Jawa Timur serta data kelistrikan gardu induk di Jawa Timur dari 2012 hingga awal 2016, sedangkan data sekunder merupakan laporan BPS, yaitu berita resmi statistik pertumbuhan ekonomi di Jawa Timur pada akhir tahun 2014.

### **4.2.1. Data Evaluasi Tarif PLN Distribusi Jawa Timur**

Tabel 4.1 merupakan data jumlah daya tersambung (VA) kumulatif pelanggan sektor industri di Jawa Timur pada tahun 2016. Data kumulatif yang tercatat dari Januari 2012 sampai Februari 2016 sebanyak 50 bulan, data lain akan disertakan dalam lampiran. Daya tersambung sektor industri dibagi dalam delapan golongan tarif mulai dari I-1 TR s/d 450 VA sampai I-4 TT 30.000 kVA ke atas, seperti yang dipaparkan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1. Daya Tersambung Sektor Industri 2016**

Golongan Tarif	Realisasi (VA)	
	Januari	Februari
I-1 TR s/d 450 VA	4.950	4.950
I-1 TR s/d 900 VA	196.200	201.600
I-1 TR 1.300 VA	871.000	920.400
I-1 TR 2.200 VA	2.829.200	2.928.200
I-1 TR 3.500 VA s/d 14 kVA	29.753.00	30.032.400
I-2 TR > 14 kVA s/d 200 kVA	831.559.500	838,921.000
I-3 TM > 200 kVA	3.582.562.000	3.585.292.000
I-4 TT 30.000 kVA ke atas	929.660.000	929.660.000
JUMLAH I	5.377.436.350	5.387.960.550

Tabel 4.2 merupakan data jumlah energi listrik yang terjual (kWh) kumulatif pelanggan sektor industri di Jawa Timur. Data kumulatif tercatat dari Januari 2012 sampai Februari 2016 sebanyak 50 bulan, data kumulatif penjualan energi listrik (kWh) lain akan disertakan dalam lampiran. Seperti data daya tersambung kumulatif, data penjualan energi listrik sektor industri juga dipetakan dalam 8 golongan tarif mulai dari I-1 TR s/d 450 VA sampai I-4 TT 30.000 kVA ke atas.

Golongan tarif I-1 TR s/d 450 VA, I-1 TR s/d 900 VA, I-1 TR s/d 1.300 VA, dan I-1 TR s/d 2.200 VA pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 memiliki jumlah yang tidak signifikan sehingga data diabaikan dan tidak dimasukkan di dalam model. Sehingga hanya ada 4 variabel tarif sektor industri pada model dikarenakan tarif I-1 TR s/d 450 VA, I-1 TR s/d 900 VA, I-1 TR s/d 1.300 VA, dan I-1 TR s/d 2.200 VA bukan merupakan variabel yang mempengaruhi sistem secara signifikan.

**Tabel 4.2. Energi Terjual Sektor Industri 2016**

Golongan Tarif	Realisasi (kWh)	
	Januari	Februari
I-1 TR s/d 450 VA		
I	674	597
II	0	0
I-1 TR s/d 900 VA		
I	28.099	17.910
II	0	0
I-1 TR 1.300 VA	85.591	33.091
I-1 TR 2.200 VA	199.291	87.246
I-1 TR 3.500 VA s/d 14 kVA	2.256.000	2.096.150
I-2 TR > 14 kVA s/d 200 kVA	108.174.001	106.215.350
I-3 TM > 200 kVA	748.689.955	718.854.561
I-4 TT 30.000 kVA ke atas	273.405.487	246.107.640
<b>JUMLAH I</b>	<b>1.132.839.098</b>	<b>1.073.412.545</b>

Data daya tersambung serta penjualan energi listrik di Jawa Timur selain ditampilkan secara kumulatif juga dipetakan untuk setiap APJ per tarif sektor industri dengan total 16 APJ untuk keperluan model dengan data yang berbeda pada APJ berbeda pula. Pada kasus tugas akhir ini akan diambil tiga sampel APJ berbeda sebagai model dinamis. Ketiga APJ tersebut adalah APJ BJK, yaitu Bojonegoro dan sekitarnya yang merupakan daerah sepi dari aktivitas perekonomian perkotaan (nonmetropolis) dan pemukiman padat. APJ MJK, yaitu daerah Mojokerto dan sekitarnya yang merupakan daerah perindustrian padat tetapi tidak ramai aktivitas perkotaan (nonmetropolis). APJ SBU, yaitu daerah Surabaya Utara dengan aktivitas perekonomian perkotaan tinggi (metropolis) dan pemukiman padat tetapi tidak ada industri besar pada saat ini karena pemukiman yang padat penduduk.

#### **4.2.2. Data Gardu Induk PLN**

Total gardu induk di Jawa Timur ada 98 gardu yang dibagi dalam tiga daerah persebaran gardu di Jawa Timur, yaitu bagian tengah, bagian timur, dan bagian barat.

Pada bagian tengah terdapat 35 gardu induk, nama-nama gardu induk tersebut antara lain: Alta Prima, Babadan, Balong Bendo, Bangkalan, Buduran, Cerme, Darmo Grand, Driyorejo, Gilitimur, Karang Pilang, Kasih Jatim, Kenjeran, Krembangan, Krian, Kupang, Manyar, Ngangel, Pamekasan, Perak, Petrokimia, Porong, Rungkut, Sampang, Sawahan, Segoromadu, dan Sidoarjo.

Pada bagian timur terdapat 29 gardu induk, nama-nama gardu induk tersebut antar lain: Bangil, Banyuwangi, Blimbing, Bondowoso, Bulu Kandang, Bumicokro, Genteng, Gondang Wetan, Grati, Jember, Karang Kates, Kebon Agung, Kraksaan, Lawang, Lumajang, Paiton, Pakis, Pandaan, Pier, Polehan, Probolinggo, Purwosari, Selorejo, Sengguruh, Sengkaling, Situbondo, Sukorejo, Tanggul, Turen.

Pada bagian barat terdapat 34 gardu induk, nama-nama gardu induk tersebut antara lain: Babat, Banaran, Blitar, Bojonegoro, Caruban, Dolopo, Gitet Kediri, Jaya Kertas, Jombang, Lamongan, Magetan, Manisrejo, Mliwang, Mojoagung, Mojokerto, Mranggen, Pacitan, Nganjuk, Ngawi, Ngimbang, Ngoro, Paciran, Pare, Ploso, PLTA Tulungagung, PLTU Pacitan (Sudimoro), Ponorogo, Siman, Tarik, Trenggalek, Tuban, Tulungagung, dan Wlingi.

Gardu-gardu induk tersebut memasok daya listrik sektor industri ke seluruh APJ di Jawa Timur. Ada beberapa gardu induk yang memasok lebih dari satu APJ. Tugas akhir ini mengambil tiga sampel APJ seperti yang sudah dijelaskan pada Subbab 4.2.1. Gardu induk yang mendistribusikan pasokan energi listrik pada ketiga APJ tersebut dijelaskan pada Tabel 4.3 untuk APJ BJB, Tabel 4.4 untuk APJ MJK, dan Tabel 4.5 untuk APJ SBU.

**Tabel 4.3. Gardu Induk APJ BJB**

Nama Gardu Induk	Kapasitas Daya Tampung Maksimal dalam 1 Bulan (VA)
GI Lamogan	2.160.000.000
GI Mliwang	1.440.000.000
GI Paciran	1.440.000.000
GI Tuban	2.160.000.000
GI Bojonegoro	3.360.000.000
GI Babat	1.440.000.000

Terdapat enam gardu induk yang memasok listrik di APJ BJB seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Sedangkan APJ MJK dipasok oleh 11 gardu induk yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 karena jumlah pelanggan industri yang lebih banyak.

**Tabel 4.4. Gardu Induk APJ MJK**

Nama Gardu Induk	Kapasitas Daya Tampung Maksimal dalam 1 Bulan (VA)
GI Ngoro	4.320.000.000
GI Mojokerto	4.320.000.000
GI Kertosono	1.440.000.000
GI Mojoagung	1.440.000.000
GI Nganjuk	1.680.000.000
GI Ngimbang	1.440.000.000
GI Ploso	1.920.000.000
GI Siman	720.000.000
GI Tarik	480.000.000
GI Jaya Kertas	1.440.000.000
GI Jombang	1.440.000.000

**Tabel 4.5. Gardu Induk APJ SBU**

Nama Gardu Induk	Kapasitas Daya Tampung Maksimal dalam 1 Bulan (VA)
GI Tandes	2.040.000.000
GI Perak	1.440.000.000
GI Krembangan	3.840.000.000
GI Alta Prima	604.800.000
GI Kenjeran	3.840.000.000
GI Kupang	2.880.000.000
GI Ngagel	518.400.000
GI Sawahan	2.640.000.000
GI Simpang	2.208.000.000
GI Ujung	1.440.000.000
GI Undaan	1.440.000.000

Sedangkan pasokan energi listrik pada APJ SBU dipasol oleh 11 gardu induk. Pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Tabel 4.5 kapasitas daya tampung merupakan total maksimal pasokan listrik yang dapat didistribusikan ke APJ pendistribusiannya. Jumlah distribusi pada setiap APJ dari gardu induk akan disajikan dalam persentase jumlah daya listrik yang didistribusikan terhadap kapasitas daya maksimalnya.

#### **4.2.3. Data Pelanggan Daerah Metropolitan PLN**

Data pelanggan daerah metropolitan PLN yang didapatkan dari PT. PLN Distribusi Jawa Timur digunakan untuk memetakan jenis-jenis industri terhadap tarif sektor industri di PLN. Dengan melihat dari nama-nama pelanggan yang terdaftar pada setiap tarif sektor industri bisa dicari jenis industri apa saja yang banyak terdaftar sebagai tarif-tarif sektor industri yang ada.

Sebagai contoh diambil sampel dari data nama pelanggan daerah metropolitan di Jawa Timur seperti pada Tabel 4.6 untuk tarif I-1, Tabel 4.7 untuk tarif I-2, Tabel 4.8 untuk tarif I-3, Tabel 4.9 untuk tarif I-4.

**Tabel 4.6. Pelanggan Tarif I-1**

<b>No. Pelanggan</b>	<b>ID Pelanggan</b>	<b>Nama Pemilik</b>
AA0297364	511010297363	INDT KEM GULA CANADA
AA0202081	511010202082	HISHAM ALI ALHUREIBI
AA0062528	511010062526	PERC MODERN
AA0296230	511010296232	MAWARNI

**Tabel 4.7. Pelanggan Tarif I-2**

<b>No. Pelanggan</b>	<b>ID Pelanggan</b>	<b>Nama Pemilik</b>
AA0287038	511010287037	PERUS PLAST HOLYWOOD
AA0298666	511010298668	INDUSTI SANDAL HAFID
511200834770	511200834770	PT. SURYA CIPTA BARU
511209731033	511209731033	PT. KEMILAU BUMI SANTOSO

**Tabel 4.8. Pelanggan Tarif I-3**

<b>No. Pelanggan</b>	<b>ID Pelanggan</b>	<b>Nama Pemilik</b>
NA0536889	511200536882	PT. JASA KARYA
PB0596555	511810596556	PT. ADI PRIMA SURAP
NA0675066	511200675062	PT. AIR PRODUCT INDONESIA
BE1524056	511431524059	PT. PANAMAS

**Tabel 4.9. Pelanggan Tarif I-4**

No. Pelanggan	ID Pelanggan	Nama Pemilik
BE0985642	511430985642	PT. HANIL JAYA
BH1460647	511461460645	PT. MASPION
BG0017586	511450017585	PT. JATIM TAMAN STEEL
BG0034030	511450034034	PT. ISPAT INDO
BG0338347	511450338349	PT. MIWON INDONESIA
NA0143862	511200143867	PT. BARATA METAL

Dari data nama pelanggan sektor industri bisa dipetakan jenis-jenis industri terhadap jenis tarif sektor industri PLN untuk mencari hubungan antar data sekunder berupa PDRB terhadap data kelistrikan per tarif pada model sistem dinamis nantinya.

#### **4.2.4. Data Statistik PDRB Jawa Timur**

Data sekunder yang dilihat dari aspek perekonomian di Jawa Timur meliputi data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) untuk setiap jenis industri yang sudah dipetakan dalam data Berita Resmi Statistik BPS Pertumbuhan Ekonomi Jawa Timur.

Data perekonomian yang dipakai adalah PDRB, hal ini dikarenakan untuk memenuhi kaidah metode ekonometri diperlukan faktor luar berupa variabel yang berhubungan dengan perekonomian yang secara tidak langsung berhubungan dan mempengaruhi variabel kelistrikan yang ada pada model.

Data PDRB industri yang diambil atas dasar harga berlaku karena pendekatan pertumbuhan ekonomi dengan metode ekonometri paling cocok dengan data PDRB yang sesuai dengan harga yang berlaku saat itu juga. Data yang digunakan adalah data PDRB atas dasar harga berlaku dari tahun 2012 sampai tahun 2014 pada Berita Resmi Statistik BPS Pertumbuhan Ekonomi Jawa Timur. Tabel 4.10 menunjukkan nilai PDRB dari setiap jenis industri di Jawa Timur pada tahun 2012.

**Tabel 4.10. PDRB Industri Jawa Timur 2012**

Jenis Industri	PDRB Tahun 2012 (dalam juta rupiah)			
	Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV
Makanan Minuman dan Tembakau	35.301.072	37.250.547	39.700.546	41.150.155
Kertas dan Barang Cetak	8.761.838	9.225.158	9.110.306	8.735.918
Pertanian dan Perkebunan	43.725.862	39.487.256	38.944.819	31.781.999
Tekstil, Pakaian Jadi, dan Kulit	2.099.505	2.074.616	2.286.088	2.372.040
Pupuk, Kimia, dan Barang dari Karet	5.203.050	5.269.705	6.050.787	6.344.091
Pertambangan dan Penggalan	4.748.089	5.271.753	5.378.620	5.477.833
Semen dan Barang Galian bukan Logam	2.604.961	2.509.864	2.496.665	2.804.540
Logam Dasar Besi dan Baja	3.322.543	3.647.158	3.873.796	4.103.421

Pencatatan PDRB industri oleh BPS dilakukan setiap triwulan mulai dari Triwulan I sampai Triwulan IV sehingga diperlukan pencocokan data dengan mengasumsikan data setiap tengah bulan pada setiap triwulan adalah data pada Tabel 4.10 agar pemetaan hubungan PDRB terhadap tarif dapat dilakukan dengan *time step* dari Januari 2012 hingga Desember 2012 pada model.

**Tabel 4.11. PDRB Industri Jawa Timur 2013**

Jenis Industri	PDRB Tahun 2013 (dalam juta rupiah)			
	Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV
Makanan Minuman dan Tembakau	39.460.557	42.275.683	44.809.264	46.696.869
Kertas dan Barang Cetakan	9.024.350	9.838.961	10.004.378	10.055.804
Pertanian dan Perkebunan	47.624.497	42.949.233	43.489.365	35.194.634
Tekstil, Pakaian Jadi, dan Kulit	2.302.792	2.330.725	2.502.868	2.630.144
Pupuk, Kimia, dan Barang dari Karet	6.106.647	6.017.162	6.636.452	7.174.852
Pertambangan dan Penggalian	5.006.378	5.632.724	5.950.248	6.080.766
Semen dan Barang Galian bukan Logam	2.841.023	3.039.655	2.959.510	3.135.311
Logam Dasar Besi dan Baja	3.446.905	3.786.681	4.007.465	4.268.547

Tabel 4.11 menunjukkan nilai PDRB dari setiap jenis industri di Jawa Timur pada tahun 2013. Pencatatan PDRB industri oleh BPS dilakukan setiap triwulan mulai dari Triwulan I sampai Triwulan IV sehingga diperlukan pencocokan data dengan mengasumsikan data setiap tengah bulan pada setiap triwulan adalah data pada Tabel 4.11 agar pemetaan hubungan PDRB terhadap tarif dapat dilakukan dengan *time step* dari Januari 2013 hingga Desember 2013 pada model.

**Tabel 4.12. PDRB Industri Jawa Timur 2014**

Jenis Industri	PDRB Tahun 2014 (dalam juta rupiah)			
	Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV
Makanan Minuman dan Tembakau	45.415.859	47.596.217	48.471.398	52.811.560
Kertas dan Barang Cetak	10.147.598	11.173.466	12.115.582	11.258.473
Pertanian dan Perkebunan	52.698.588	46.563.451	50.154.664	40.040.313
Tekstil, Pakaian Jadi, dan Kulit	2.683.610	2.753.027	2.875.897	2.972.677
Pupuk, Kimia, dan Barang dari Karet	6.982.657	6.834.455	7.472.037	8.119.445
Pertambangan dan Penggalian	5.476.238	6.149.504	6.441.766	6.793.380
Semen dan Barang Galian bukan Logam	3.041.502	3.415.144	3.641.096	3.566.699
Logam Dasar Besi dan Baja	4.288.575	4.358.976	4.390.163	4.782.039

Tabel 4.12 menunjukkan nilai PDRB dari setiap jenis industri di Jawa Timur pada tahun 2014. Pencatatan PDRB industri oleh BPS dilakukan setiap triwulan mulai dari Triwulan I sampai Triwulan IV sehingga diperlukan pencocokan data dengan mengasumsikan data setiap tengah bulan pada setiap triwulan adalah data pada Tabel 4.12 agar pemetaan hubungan PDRB terhadap tarif dapat dilakukan dengan *time step* dari Januari 2014 hingga Desember 2014 model.

### 4.3. Pemahaman Sistem

Subbab ini membahas tentang pemahaman sistem kelistrikan yang saling mempengaruhi dalam model. Selain itu juga hubungan antar data dari variabel sekunder berupa PDRB ke variabel primer, yaitu variabel kelistrikan pada data PLN.

Pertama, variabel daya tersambung dengan satuan VA merupakan daya maksimal yang bisa dipakai pelanggan pada satu waktu tertentu, jika daya yang digunakan melebihi daya terpasang maka sekering listrik akan *off* dan listrik mati karena melebihi tegangan maksimal. Rumus daya terpasang sendiri dijelaskan dalam Persamaan 4.1.

$$P = V \times I \quad (4.1)$$

Pada Persamaan 4.1,  $P$  merupakan daya terpasang pelanggan, yaitu daya maksimal yang dapat digunakan pelanggan tersebut.  $V$  adalah tegangan listrik maksimal yang dapat semua peralatan listrik atau elektronik pelanggan dalam satu waktu.  $I$  adalah arus listrik maksimal yang mengalir di kabel listrik pelanggan saat peralatan elektronik digunakan.

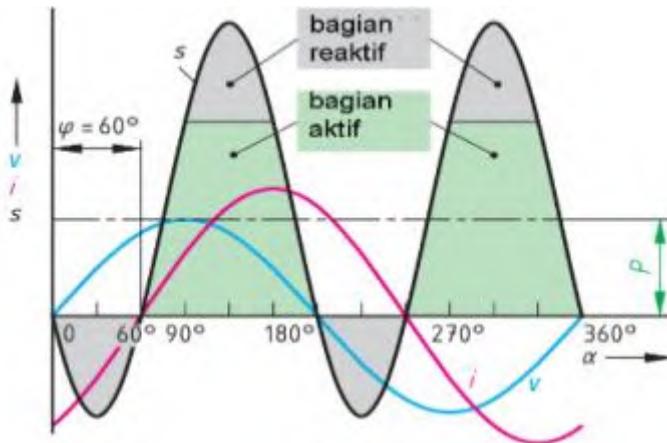
Variabel kedua adalah variabel energi listrik. Energi listrik adalah daya listrik aktif yang dipakai dengan lama suatu waktu tertentu. Misal penggunaan daya sebanyak 300 *watt* dalam waktu satu jam. Daya aktif dijelaskan dalam Persamaan 4.2, sedangkan energi listrik dijelaskan dalam Persamaan 4.3.

$$P_a = V \times I \times \cos \varphi \quad (4.2)$$

$$W = P_a \times \Delta t \quad (4.3)$$

$P_a$  pada Persamaan 4.2 dan Persamaan 4.3 adalah daya aktif, yaitu daya yang secara nyata benar-benar digunakan oleh beban kebutuhan listrik dari peralatan elektronik pelanggan. Satuan dari daya aktif adalah *watt*.  $V$  dan  $I$  pada Persamaan 4.2 dan

Persamaan 4.3 sama dengan Persamaan 4.1. Sedangkan  $\cos \varphi$  adalah faktor daya atau sudut fasa dari penggunaan listrik, dijelaskan dalam Gambar 4.3. Nilai  $\cos \varphi$  pada daya aktif PLN normalnya adalah 0,8. Sehingga untuk mengubah dari daya tersambung menjadi daya aktif yang digunakan nilainya harus dikalikan dengan nilai  $\cos \varphi$  normal 0,8 seperti pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3. Sudut Fasa Daya Aktif Reaktif Listrik**

Terakhir adalah variabel sekunder yang merupakan PDRB yang mempunyai satuan rupiah. Secara tidak langsung PDRB mempengaruhi penggunaan energi listrik sehingga kebutuhan energi listrik naik seiring dengan pertumbuhan PDRB. Satuan PDRB rupiah sehingga tidak dapat dihubungkan secara langsung dengan variabel energi listrik. Hubungan tidak langsung pada model didapatkan dari pertumbuhan PDRB terhadap pertumbuhan kebutuhan energi listrik setiap tarif industri PLN di Jawa Timur. Hal tersebut dikarenakan satuan pertumbuhan baik listrik maupun PDRB dalam bentuk persentase sehingga secara satuan hubungan kedua variabel tersebut benar. Hubungan antar variabel benar jika satuan variabel-variabel dalam model tersebut dapat dikonversikan dengan benar pula.

#### 4.4. Identifikasi Variabel Signifikan

Pengembangan perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur pada tugas akhir ini berfokus pada peramalan jumlah kebutuhan energi listrik di masa depan sehingga dapat diketahui seberapa besar dan kapan juga pasokan energi listrik yang dibutuhkan di masa depan ketika *resource* yang ada saat ini tidak bisa memenuhi kebutuhan energi listrik pelanggan.

Penelitian dalam tugas akhir ini mencoba untuk memahami sudut pandang dari pengusaha pemasok listrik agar dapat merencanakan ekspansi *resource*, dalam hal ini gardu induk dengan baik dalam hal mengatasi kebutuhan energi listrik yang semakin tumbuh di sisi pelanggan. Perencanaan yang matang dapat dilakukan jika kita mengetahui pertumbuhan kebutuhan energi listrik di masa depan.

Model dapat dibagi menjadi dua bagian secara garis besar, yaitu model pasokan energi listrik atau *supply* pada seluruh sektor, termasuk sektor industri di Jawa Timur dan model kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur atau *demand*.

Tabel 4.13 menunjukkan variabel-variabel signifikan apa saja yang berpengaruh pada *supply* listrik dari sektor industri di Jawa Timur. Distribusi daya gardu induk dipengaruhi oleh daya maksimal distribusi yang didapat dari data olahan yang diolah setelah menghitung data mentah gardu induk PLN Distribusi dan P3B Jawa Timur. Data jumlah daya maksimal terdistribusi didapatkan setelah menjumlahkan seluruh daya yang dapat didistribusikan oleh penyulang-penyulang yang terdapat pada gardu induk pada data gardu induk di Jawa Timur. Penyulang adalah jaringan listrik PLN yang terdapat pada gardu induk dengan tegangan kecil sekitar 20 kV yang berfungsi secara langsung menyalurkan pasokan energi listrik ke jaringan listrik pelanggan dari gardu induk. Dikarenakan jumlah penyulang yang sangat banyak sehingga tidak perlu dimasukkan dalam model. Pada model *supply* total Jawa Timur dicari total distribusi dari semua APJ sehingga tidak diperlukan pemetaan gardu induk mendistribusikan

*supply* energi listrik ke APJ mana saja. Data yang dimasukkan dalam model pada *supply* adalah gardu induk yang mendistribusikan energi listrik ke APJ terkait.

**Tabel 4.13. Variabel Signifikan *Supply* Industri**

Variabel Signifikan	Parameter
Distribusi daya gardu induk ke APJ (VA)	Jumlah daya maksimal terdistribusi ke APJ
	Daya maksimal distribusi
Total daya tampung gardu induk (VA)	Distribusi daya gardu induk ke APJ 1
	Distribusi daya gardu induk ke APJ 2
	Distribusi daya gardu induk ke APJ n
<i>Supply</i> APJ (VA)	Distribusi daya gardu induk 1 ke APJ
	Distribusi daya gardu induk 2 ke APJ
	Distribusi daya gardu induk n ke APJ

Variabel-variabel signifikan pada *demand* listrik sektor industri di Jawa Timur dipaparkan dalam Tabel 4.14. Dikarenakan naik turunnya pertumbuhan PDRB atau dalam istilah lain sering disebut *Growth Domestic Product* (GDP) dari perindustrian di Jawa Timur maka pendekatan fungsi untuk mencari grafik nilai pertumbuhan PDRB adalah grafik sinus, hal tersebut mengakibatkan faktor yang mempengaruhi grafik sinus tersebut adalah variabel waktu dan menggunakan data pertumbuhan dari masa lalu untuk meramalkan fungsi grafik sinus yang mendekati nilai dari data-data di masa lalu. Cara peramalan fungsi kurva berdasarkan data-data di masa lalu dengan memperhatikan variabel waktu disebut *curve fitting*.

**Tabel 4.14. Variabel Signifikan *Demand* Industri**

Variabel Signifikan	Parameter
Pertumbuhan PDRB jenis industri (dalam %)	Waktu
	Data masa lalu
Pertumbuhan <i>Demand</i> per Tarif	Pertumbuhan PDRB jenis industri
	Persamaan Ekonometri
Total <i>Demand</i> Industri (kWh)	<i>Demand</i> Tarif I-1
	<i>Demand</i> Tarif I-2
	<i>Demand</i> Tarif I-3
	<i>Demand</i> Tarif I-4
Total <i>Demand</i> APJ Seluruh Sektor (kWh)	Total <i>Demand</i> Industri
	Total <i>Demand</i> Rumah Tangga
	Total <i>Demand</i> Bisnis
	Total <i>Demand</i> Sosial dan Publik

Pertumbuhan *demand* per tarif sektor industri dapat dicari dengan menghubungkan pertumbuhan data-data pertumbuhan PDRB masing-masing industri terkait yang telah diramalkan sebelumnya dengan pendekatan fungsi grafik sinus. Pertumbuhan *demand* per tarif sektor industri dicari dengan metode ekonometri dengan pendekatan regresi yang memperhatikan aspek ekonomi yaitu PDRB industri itu sendiri, aspek statistik berupa penyajian data di masa lalu pada tabel untuk mencari pendekatan fungsi yang sesuai, dan aspek matematika dengan pendekatan regresi untuk mencari persamaan dari pertumbuhan *demand* sektor industri. Metode ekonometri digunakan setelah dilakukan pemetaan PDRB jenis-jenis industri terhadap tarif sektor industri.

Total *demand* industri didapatkan dengan menjumlahkan *demand* seluruh tarif sektor industri di Jawa Timur mulai dari I-1,

I-2, I-3, sampai I-4. Sedangkan total *demand* seluruh sektor baik dalam APJ atau seluruh Jawa Timur didapatkan dari penjumlahan *demand* keempat sektor, yaitu industri, rumah tangga, bisnis, dan umum.

Variabel-variabel yang didapatkan dari perhitungan untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik di masa depan dan perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik dijelaskan dalam Tabel 4.15.

**Tabel 4.15. Variabel Signifikan Peramalan**

Variabel Signifikan	Parameter
Pertumbuhan PDRB jenis industri (kWh)	Daya tersambung Tarif I-1
	Daya tersambung Tarif I-2
	Daya tersambung Tarif I-3
	Daya tersambung Tarif I-4
Utilisasi Penggunaan Listrik (dalam %)	Daya tersambung industri
	<i>Demand</i> sektor industri
Kekurangan Daya Listrik (dalam %)	<i>Supply</i> total
	<i>Demand</i> total
Ekspansi Daya Listrik (VA)	Kekurangan Daya Listrik
	<i>Supply</i> total

Pada Tabel 4.15 Utilisasi Penggunaan Listrik didapatkan dengan membandingkan penggunaan energi listrik dalam memenuhi kebutuhan pelanggan terhadap daya tersambung yang merupakan penggunaan maksimal yang dapat dipakai oleh pelanggan. Jika utilisasi tersebut dapat diketahui maka rata-rata jam nyala total pelanggan dalam penggunaan energi listrik dapat diketahui juga. Kekurangan daya listrik juga dapat diketahui ketika *demand* energi listrik yang terus naik tumbuh melebihi *supply* energi listrik sedangkan nilai maksimal dari *supply* energi listrik

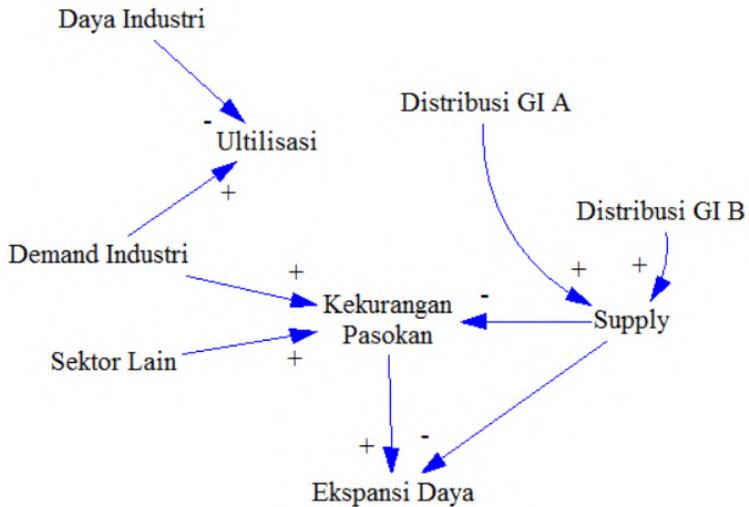
tetap dengan *resource* sekarang yang ada. Sehingga seberapa besar nilai total VA yang dibutuhkan dalam ekspansi daya listrik dapat diketahui jumlahnya dengan melihat kekurangan daya listrik terhadap *supply* total di Jawa Timur yang ada sekarang ini. Hal tersebut bertujuan untuk perencanaan ekspansi yang baik. Ekspansi hanya dilakukan ketika terjadi kekurangan daya listrik di masa depan atau pada model skenario dalam model.

#### **4.5. Pemodelan Diagram Causal Loop**

Pada subbab ini akan dibahas mengenai implementasi diagram *causal loop* atau CLD yang merupakan kerangka berpikir dari model simulasi dinamis perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur. Secara garis besar hubungan sebab akibat antar variabel yang mendukung pengembangan model perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri menjadi dua model besar CLD, yaitu CLD *demand* energi listrik sektor industri dan CLD *supply* energi listrik.

##### **4.4.1 Hubungan Sebab Akibat Sistem Secara Umum**

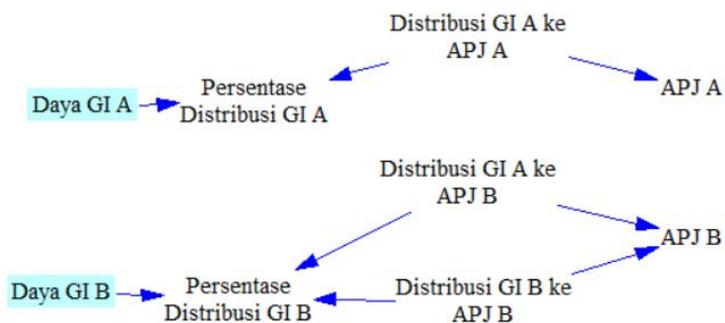
Sebuah *reinforce loop* pada sistem secara umum terjadi saat pada model perencanaan pasokan atau *supply* dan kebutuhan atau *demand* dari energi listrik sektor industri di Jawa Timur terjadi kekurangan pasokan energi listrik akibat kebutuhan yang terus naik. Pasokan energi listrik yang berasal dari gardu-gardu induk yang mendistribusikan listrik ke pelanggan suatu saat dengan *resource* yang ada tidak mencukupi lagi sehingga diperlukan ekspansi akibat dari kekurangan pasokan energi listrik. Di sisi pelanggan, kebutuhan akan energi listrik terus tumbuh, pertumbuhan itu sendiri sebenarnya dipengaruhi oleh faktor luar secara tidak langsung seperti pertumbuhan perekonomian. Secara umum sistem perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik dijelaskan pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4. Causal Loop Diagram Sistem Umum**

#### 4.4.2 Hubungan Sebab Akibat *Supply*

Di sisi PLN yang merupakan pemasokan listrik negara didistribusikan melalui gardu induk, keseluruhan Area Pelayanan Jaringan (APJ) di Jawa Timur.

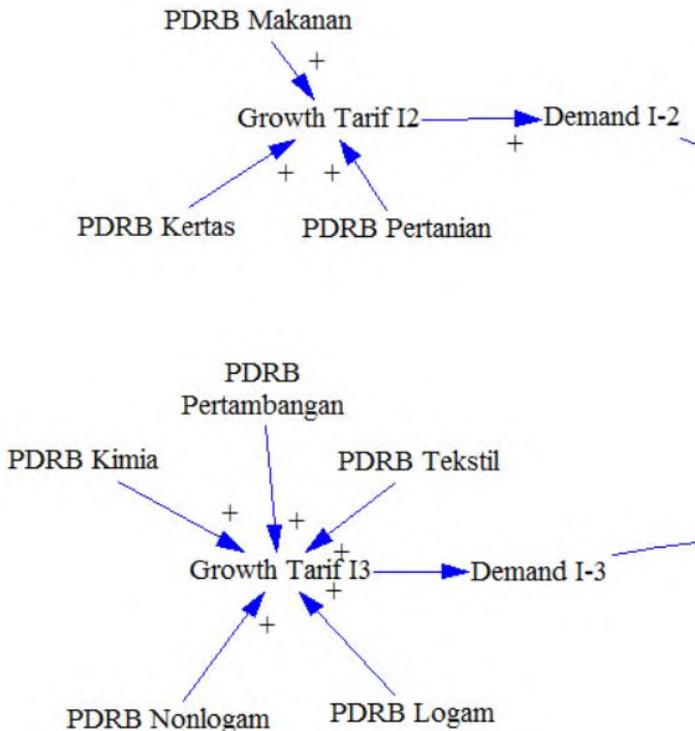


**Gambar 4.5. Causal Loop Diagram Supply Listrik**

Gambar 4.5 menggambarkan bagaimana gardu-gardu induk di Jawa Timur mengirimkan pasokan listrik pada beberapa APJ dalam model dinamis. Satu gardu induk bisa saja mendistribusikan energi listrik kepada lebih dari satu APJ seperti pada variabel Distribusi GI A ke APJ B. Sebaliknya, satu APJ tentu menerima distribusi energi listrik dari lebih dari satu gardu induk.

#### 4.4.3 Hubungan Sebab Akibat *Demand*

Gambar 4.6 menunjukkan pemetaan jenis-jenis perindustrian terhadap tarif listrik sektor industri di PLN.



Gambar 4.6. *Causal Loop Diagram* PDRB ke Tarif

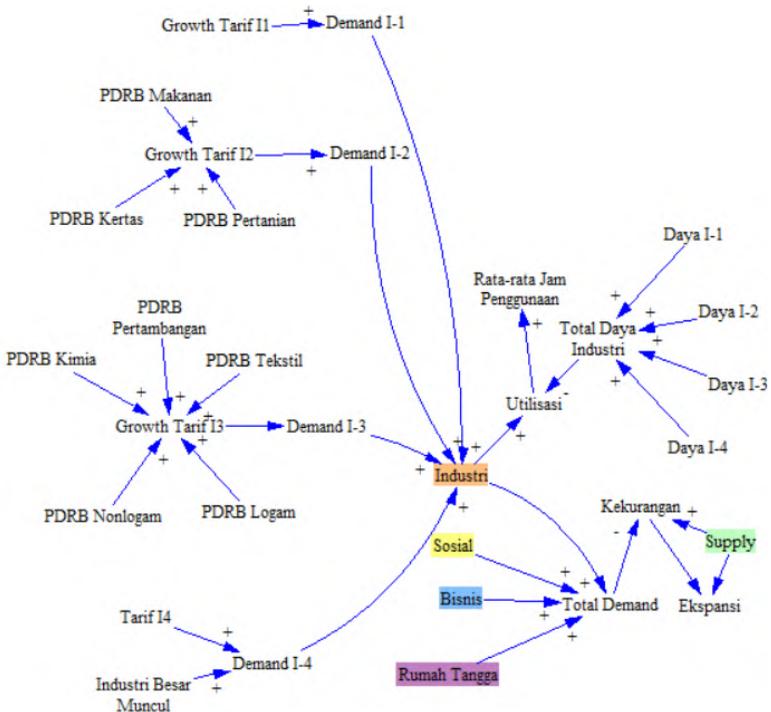
*Causal Loop Diagram* pada Gambar 4.6 didapatkan setelah memetakan jenis-jenis industri terhadap tarif sektor industri. Tabel 4.16 menunjukkan pemetaan jenis industri terhadap tarif dengan melihat data sampel data pelanggan pada setiap tarif.

**Tabel 4.16. Pemetaan Jenis Industri terhadap Tarif**

Jenis Industri	Tarif	Contoh
Industri Pengolahan Makanan Minuman dan Tembakau	I-1 dan I-2	UD. PRIMA JAYA, UD. BINA JAYA
Industri Pengolahan Kertas dan Barang Cetakan	I-2	PT. KERTAS VASHIKA
Industri Pertanian	I-2	UD. SUMBER TANI
Industri Pengolahan Tekstil, Pakaian Jadi, dan Kulit	I-3	PT SURYA KERTAS
Industri Pengolahan Pupuk, Kimia, dan Barang dari Karet	I-3	PT. FEDERAL SUPERIOR CHAIN, PT. KARET NGAGEL SURABAYA
Pertambangan dan Pengegalian	I-3	PETRONAS CARIGALI
Industri Pengolahan Semen dan Barang Galian bukan Logam	I-3	PT.TAMBANG BATU BARA
Industri Pengolahan Logam Dasar Besi dan Baja	I-3	PT. BAHAGIA STEEL

Pada *Causal Loop Diagram* pada Gambar 4.6 ditunjukkan bahwa variabel pertumbuhan tarif I-1 tidak dipengaruhi oleh industri makanan seperti pada Tabel 4.16. Hal tersebut dikarenakan pada analisis data masa lalu dari tarif I-1 mengalami penurunan kecuali pada APJ BJB, ini berarti secara kumulatif tarif I-1 di Jawa

Timur mengalami pertumbuhan negatif. Pertumbuhan negatif tersebut dikarenakan kecilnya daya terpasang pada tarif I-1 sehingga para pelanggan berpindah ke tarif yang lebih besar, yaitu tarif I-2.



**Gambar 4.7. Causal Loop Diagram Demand Listrik**

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bagaimana *demand* atau kebutuhan energi listrik pelanggan didapatkan. Total *demand* merupakan jumlah dari *demand* seluruh sektor, lalu dari total *demand* dapat dicari kekurangan *supply* listrik ketika *supply* pada saat sekarang ini sudah tidak bisa memenuhi *demand* listrik yang terus tumbuh. Total daya industri adalah daya tersambung pelanggan, daya tersambung pelanggan dibandingkan dengan

*demand* untuk mencari utilisasi penggunaan listrik dari pelanggan dengan skala 0-100% dan dari utilisasi tersebut bisa dicari rata-rata jumlah jam penggunaan listriknya. Secara keseluruhan hubungan *loop* antara *demand* dan *supply* energi listrik terjadi dengan adanya ekspansi untuk penambahan *supply* daya listrik untuk memenuhi *demand* yang terus naik.

#### 4.6. **Pemodelan Diagram *Stock and Flow***

Pemodelan dan simulasi sistem dinamis perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur dibuat menggunakan lingkungan Ventana Simulation (Vensim) PLE. Simulasi dilakukan dengan *time step* per bulan dari Januari 2012 sampai Agustus 2028 atau dalam kurun waktu 200 bulan. Spesifikasi *time bounds* untuk model dinamis yang akan dikembangkan dijelaskan pada Tabel 4.17.

**Tabel 4.17. *Time Bounds* pada Simulasi**

Variabel	Nilai	Keterangan
<i>Initial time</i>	1	Waktu awal simulasi adalah Januari 2012
<i>Final time</i>	200	Waktu akhir simulasi adalah Agustus 2028
<i>Time step</i>	1	Penghitungan simulasi dilakukan setiap satuan unit waktu
Unit	<i>Month</i>	Setiap satuan waktu memiliki satuan bulan

Pemodelan dilakukan pada tiga sampel APJ yaitu BJK, MJK, dan SBU seperti yang telah dijelaskan sebelumnya serta dilakukan pada data kumulatif seluruh Jawa Timur untuk sektor industri.

#### 4.5.1 Model *Supply*

Model *supply* menjelaskan nilai total pasokan dari suatu APJ yang didapatkan dari seluruh distribusi dari gardu-gardu induk yang memasok APJ tersebut. Variabel *supply* di dalam model direpresentasikan sebagai *auxiliary supply* APJ yang dipengaruhi oleh distribusi gardu induk terhadap APJ terkait yang direpresentasikan sebagai *auxiliary* Distribusi GI ke APJ. Nilai dari total kapasitas daya maksimal gardu induk merupakan jumlah dari total seluruh distribusi daya ke seluruh APJ yang gardu induk (GI) tersebut distribusikan yang direpresentasikan dalam *auxiliary* Total Daya GI.

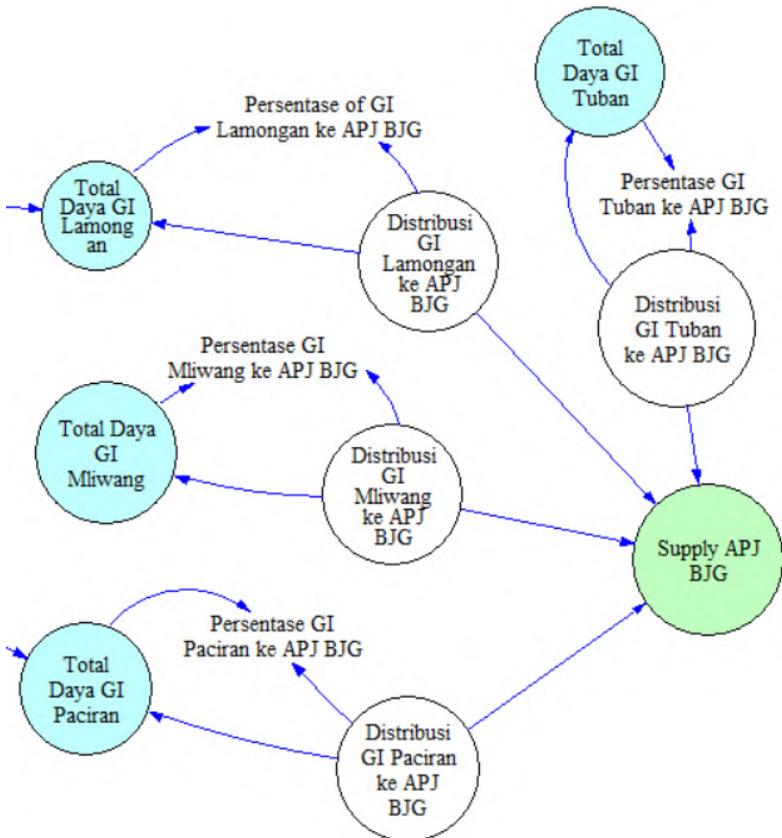
$$Supply = \sum_{i=1}^n GI_i \quad (4.4)$$

Persamaan 4.4 menjelaskan pencarian total *supply* dengan mencari jumlah seluruh distribusi gardu-gardu induk yang disimbolkan dengan  $GI_i$  pada Persamaan 4.4 sejumlah  $n$  gardu yang mendistribusikan pada APJ tersebut.

$$PowerGI = \sum_{i=1}^n GItoAPJ_i \quad (4.5)$$

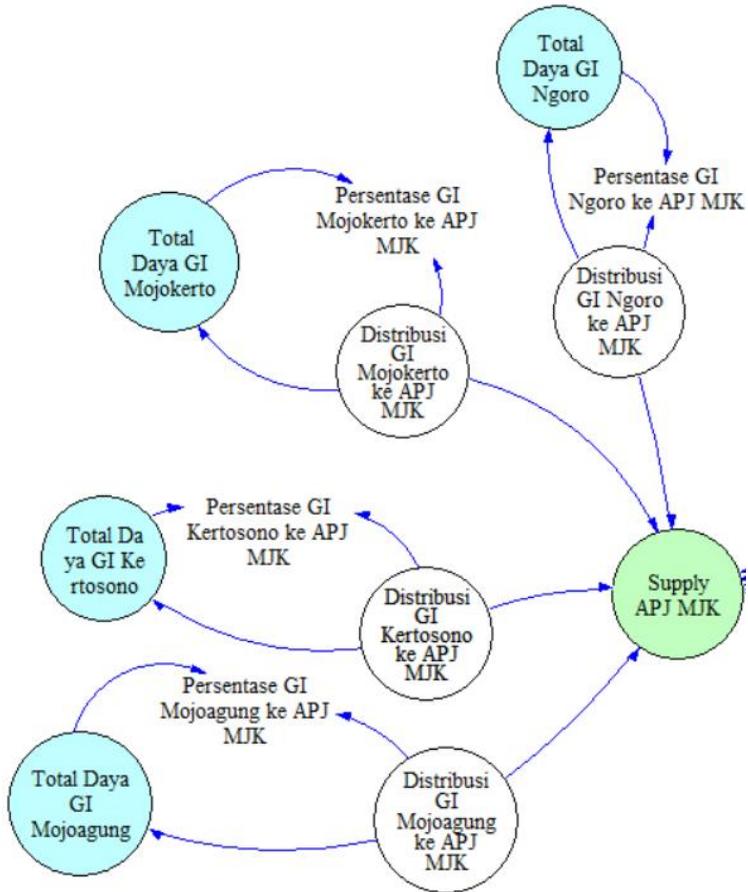
Persamaan 4.5 bagaimana ekuasi untuk total kapasistas gardu induk yang direpresentasikan sebagai *PowerGI* adalah total jumlah seluruh distribusi gardu induk tersebut ke seluruh APJ yang dipasok sejumlah  $n$  APJ oleh gardu induk tersebut yang direpresentasikan sebagai  $GItoAPJ_i$  dalam Persamaan 4.5.

Variabel *Supply APJ* ditandai dengan warna hijau muda, sedangkan variabel gardu induk ditandai dengan warna biru muda agar memudahkan untuk membedakan antar variabel dalam model seperti yang dipaparkan pada Gambar 4.8.



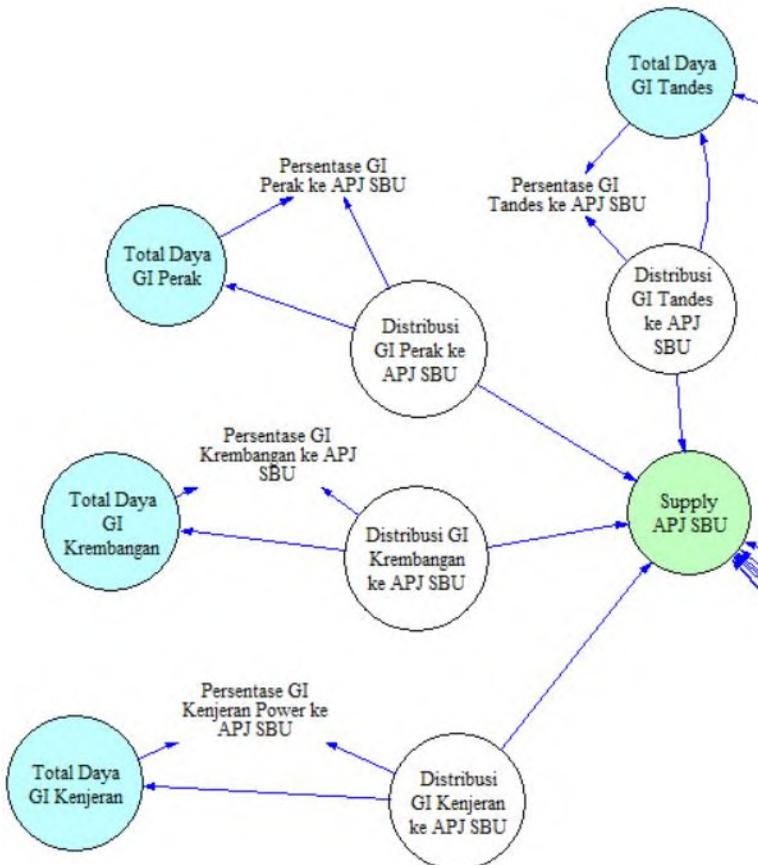
**Gambar 4.8. Supply APJ BJJ**

Gambar 4.8 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* APJ BJJ. APJ dipasok oleh enam gardu induk tetapi yang ditampilkan hanya lima gardu induk. Terdapat gardu induk yang juga memasok APJ lain yaitu APJ GSK, dua gardu induk tersebut adalah Gardu Induk Mliwang dan Gardu Induk Lamongan.



**Gambar 4.9. Supply APJ MJK**

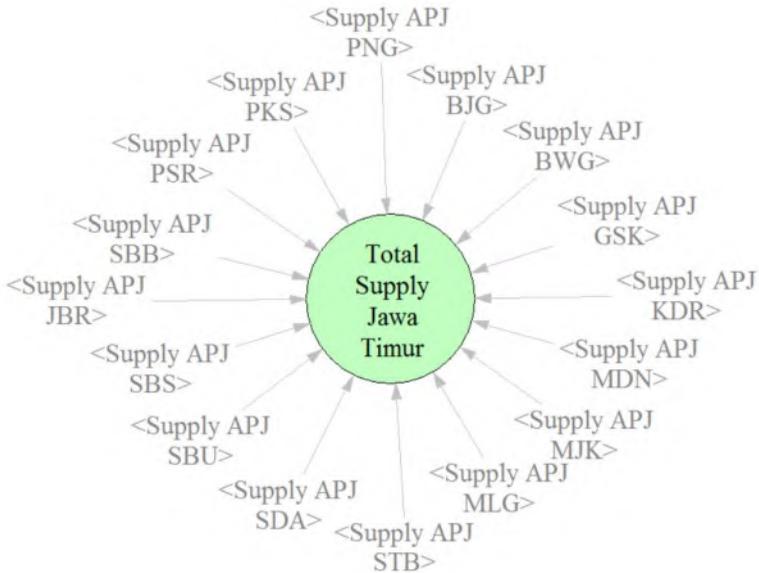
Gambar 4.9 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* APJ MJK. Sebenarnya ada 12 gardu induk yang memasok listrik untuk APJ MJK tetapi pada Gambar 4.9 hanya menampilkan empat gardu induk dikarenakan buku tidak bisa memuat seluruh gambar. Seluruh gardu induk yang memasok listrik APJ MJK tidak memasok APJ MJK kecuali Gardu Induk Tarik yang juga memasok APJ SDA atau daerah Sidoarjo.



**Gambar 4.10. Supply APJ SBU**

Gambar 4.10 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* APJ SBU. Sebenarnya ada 11 gardu induk yang memasok listrik untuk APJ SBU tetapi pada Gambar 4.10 hanya menampilkan empat gardu induk dikarenakan gambar tidak muat jika ditampilkan seluruhnya. Ada satu gardu induk yang memasok APJ lain selain APJ SBU, yaitu Gardu Induk Alta Prima yang juga memasok APJ SBS, APJ SBB, dan APJ GSK selain APJ SBU serta Gardu Induk Ngagel, Tandes, dan Simpang yang juga memasok

untuk APJ SBS. Di APJ SBU dipasang oleh lebih banyak gardu induk dikarenakan pemukiman perkotaan atau daerah metropolitan.



**Gambar 4.11. Supply Seluruh Jawa Timur**

Gambar 4.11 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* seluruh Jawa Timur. *Supply* dari Jawa Timur merupakan akumulasi total dari seluruh *supply* dari semua 16 APJ yang terdapat di Jawa Timur.

**Tabel 4.18. Auxiliary Total Supply**

Nama	<i>Supply</i>	Satuan	VA
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	Distribusi seluruh gardu induk ke APJ
Ekuasi			
Persamaan 4.4			

Tabel 4.18 menunjukkan isi dari *auxiliary Supply* baik pada APJ maupun total di Jawa Timur. Ekuasi pada Tabel 4.18 didapatkan dengan menerapkan Persamaan 4.4.

**Tabel 4.19. Auxiliary Total Daya Gardu Induk**

Nama	Total Daya Gardu Induk	Satuan	VA
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	Distribusi seluruh gardu induk ke APJ
Ekuasi			
Persamaan 4.5			

Tabel 4.19 menunjukkan isi dari *auxiliary* Total Daya Gardu Induk pada APJ maupun total di Jawa Timur. Ekuasi pada Tabel 4.19 didapatkan dengan menerapkan Persamaan 4.5.

#### 4.5.2 Model PDRB Industri

Model PDRB atau GDP industri menjelaskan model PDRB dan pertumbuhannya mempengaruhi *demand* industri di Jawa Timur. Sebelum membuat diagram *stock and flow* dari PDRB industri, harus dicari persamaan grafik dari pertumbuhan PDRB. Pada Subbab 2.6 telah dijelaskan bahwa pendekatan persamaan yang mendekati naik turunnya grafik PDRB adalah grafik sinus. Matlab R2014b digunakan untuk mencari pendekatan grafik atau kurva sinus terhadap waktu yang sesuai dan grafik yang sesuai untuk ekuasi pertumbuhan PDRB industri direpresentasikan pada Persamaan 4.6.

$$PDRB = a_1 \times \sin(b_1 + c_1) + a_2 \times \sin(b_2 + c_2) + a_3 \times \sin(b_3 + c_3) \quad (4.6)$$

Pedekatan grafik seperti grafik sinus pada Persamaan 4.6 disebut *curve fitting*, yaitu mencari fungsi grafik yang mendekati nilai dari data-data di masa lalu. Tabel 4.20 adalah contoh data PDRB industri makanan yang akan dicari persamaan kurungnya dengan *curve fitting*.

**Tabel 4.20. PDRB Industri Makanan**

Waktu	Industri Pengolahan Makanan, Minuman, dan Tembakau		
	PRDB per triwulan (dalam juta rupiah)	PDRB per bulan (dalam juta rupiah)	Pertumbuhan
Februari 2012	35.301.072	11.767.024	0%
Mei 2012	37.250.547	12.416.849	5,52%
Agustus 2012	39.700.546	13.233.515	6,58%
November 2012	41.150.155	13.716.718	3,65%
Februari 2013	39.460.557	13.153.519	-4,11%
Mei 2013	42.275.683	14.091.894	7,13%
Agustus 2013	44.809.264	14.936.421	5,99%
November 2013	46.696.869	15.565.623	4,21%
Februari 2014	45.415.859	15.138.620	-2,74%
Mei 2014	47.596.217	15.865.406	4,80%
Agustus 2014	48.471.398	16.157.133	1,84%
November 2014	52.811.560	17.603.853	8,95%

*Script* yang digunakan dalam Matlab untuk melakukan *curve fitting* terhadap kurva sinus data PDRB industri makanan pada Tabel 4.20 dijelaskan pada Gambar 4.12.

```
>> load enso;
GrowFood = fit( Time, Food, 'sin3')
plot (GrowFood,Time, Food)
```

**Gambar 4.12. Script Curve Fitting**

*Script* pada Matlab untuk *curve fitting* akan menghasilkan persamaan dan kurva yang mendekati dari titik-titik data historis.

GrowFood =

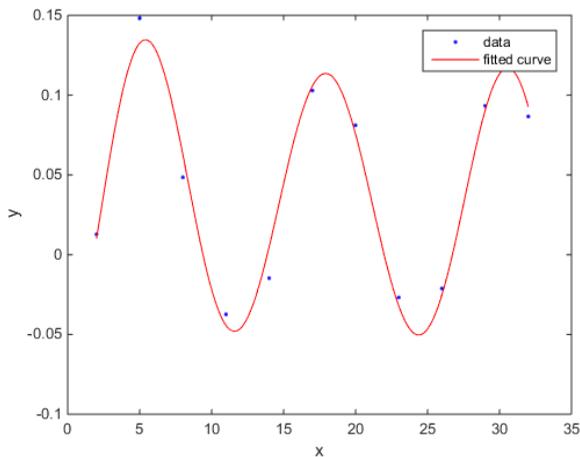
```

General model Sin3:
GrowFood(x) =
      a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2) + a3*sin(b3*x+c3)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 =    0.1263  (-1376, 1377)
b1 =    0.07228  (-180.4, 180.5)
c1 =   -0.5329  (-3661, 3660)
a2 =    0.03814  (-0.5108, 0.5871)
b2 =    0.4446  (-2.031, 2.92)
c2 =    0.2635  (-42.01, 42.54)
a3 =    0.09381  (-1382, 1382)
b3 =    0.1006  (-191.7, 191.9)
c3 =    1.996  (-4248, 4252)

```

**Gambar 4.13.** Hasil Persamaan dari *Curve Fitting*

Gambar 4.13 menunjukkan hasil *curve fitting* pada PDRB industri makanan. Persamaan sinus yang mendekati data PDRB industri makanan sesuai yang ditunjukkan Gambar 4.13 dengan hasil kurva seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.14.

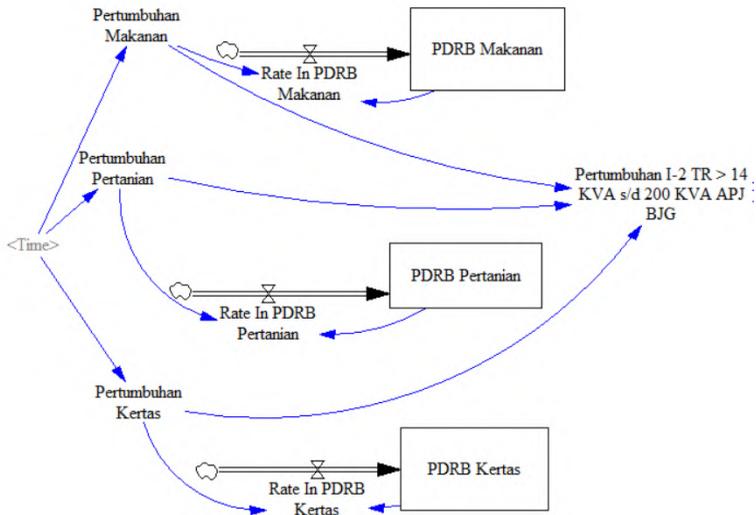


**Gambar 4.14.** Hasil Kurva dari *Curve Fitting*

Pertumbuhan PDRB atau dalam istilah asing disebut GDP didapatkan dengan menggunakan pendekatan penjumlahan tiga grafik sinus seperti pada Persamaan 4.6. Dengan nilai  $a_1$  hingga  $c_3$  merupakan koefisien yang didapatkan dengan akurasi lebih dari 95%.

Pada Subbab 4.5 dalam *Causal Loop Diagram* telah dijelaskan bagaimana pemetaan jenis-jenis industri terhadap tarif industri di PLN. Terdapat delapan jenis industri berbeda sehingga terdapat pula delapan ekuasi pada setiap jenis industri berbeda seperti pada Persamaan 4.6 dengan koefisien yang berbeda pula.

Gambar 4.15 merupakan contoh diagram *stock and flow* dari PDRB industri terhadap pertumbuhan Tarif I-2 APJ BJJ. Pertumbuhan tarif I-2 dipengaruhi oleh tiga jenis industri, yaitu pertumbuhan industri makanan, pertanian, dan kertas percetakan. *Level* ketiga PDRB pada Gambar 4.15 merupakan akumulasi dari pertumbuhan setiap PDRB yang direpresentasikan *rate in* pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15. Diagram *Stock and Flow* PDRB ke Tarif I-2**

*Rate in* merupakan penambahan PDRB setiap bulan yang dipengaruhi seberapa besar pertumbuhan dari PDRB tersebut yang direpresentasikan sebagai Pertumbuhan Makanan, Pertumbuhan Pertanian, dan Pertumbuhan Kertas pada Gambar 4.15.

**Tabel 4.21. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Makanan**

Nama	Pertumbuhan industri makanan	Satuan	per month
Type	Variabel normal	Variabel	<i>Time</i>
Ekuasi			
$0,1263 \times \text{SIN}(0,0723 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 0,5329) +$ $0,0381 \times \text{SIN}(0,4446 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 0,2635) +$ $0,0938 \times \text{SIN}(0,1006 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 1,996)$			

**Tabel 4.22. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Pertanian**

Nama	Pertumbuhan industri pertanian	Satuan	per month
Type	Variabel normal	Variabel	<i>Time</i>
Ekuasi			
$0,2071 \times \text{SIN}(0,6492 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 0,0376) +$ $1,392 \times \text{SIN}(0,2919 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 0,3346) +$ $1,345 \times \text{SIN}(0,2731 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 3,169)$			

Tabel 4.21 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri makanan atau *food* pada model. Tabel 4.22 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri pertanian atau *farm* pada model.

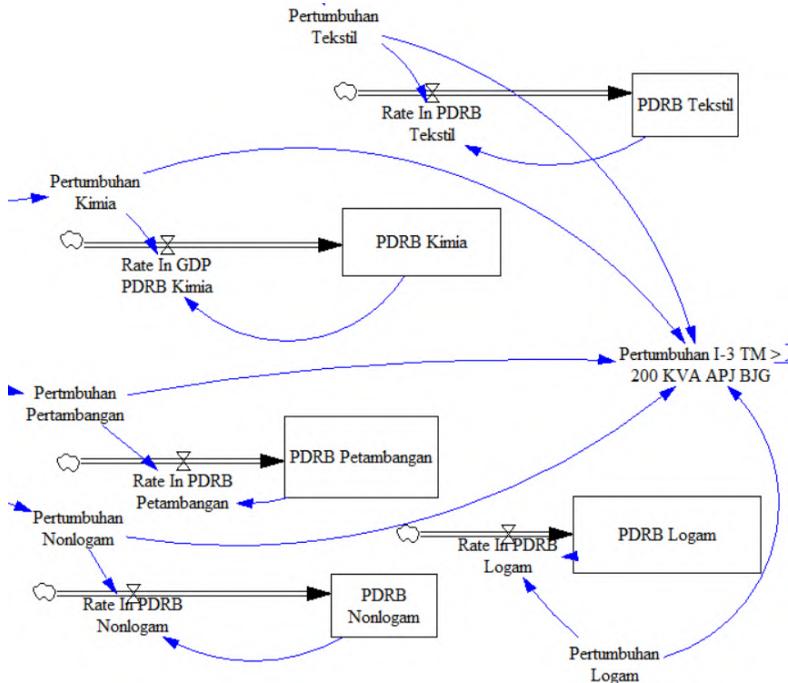
**Tabel 4.23. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Kertas dan Percetakan**

Nama	Pertumbuhan industri kertas dan percetakan	Satuan	per month
Type	Variabel normal	Variabel	Time
Ekuasi			
$0,0404 \times \text{SIN}(0,0955 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 0,3927) + 0,0613 \times \text{SIN}(0,490 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 1,054) + 0,0204 \times \text{SIN}(0,7701 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 1,28)$			

Tabel 4.23 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri kertas dan percetakan atau *paper* pada model seperti pada Persamaan 4.6. Ketiga variabel PDRB tersebut mempengaruhi variabel tarif I-2 pada model.

Ketiga variabel PDRB itu nanti akan dipakai dalam metode ekonometri untuk mencari keterkaitannya dengan variabel tarif I-2 pada model. Pendekatan yang dipakai dalam metode ekonometri adalah regresi berganda, yaitu regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel yang mempengaruhi suatu variabel. Dalam kasus tugas akhir ini variabel PDRB industri makanan, PDRB industri pertanian, dan PDRB industri kertas dan percetakan mempengaruhi variabel tarif I-2 pada model.

Selain I-2, tarif lain yang dipengaruhi oleh pertumbuhan PDRB adalah tarif I-3. Tarif I3 dipengaruhi oleh lima jenis PDRB industri, yaitu industri tekstil dan barang jadi atau *textiles*, industri kimia, pupuk, dan barang dari karet atau *chemical*, industri pertambangan dan penggalan atau *mining*, industri semen dan barang galian nonlogam atau *nonmetal*, dan industri pengolahan logam dasar dan besi baja atau *metal*.



**Gambar 4.16. Diagram Stock and Flow PDRB ke Tarif I-3**

Gambar 4.16 merupakan diagram *stock and flow* yang menjelaskan hubungan antar kelima pertumbuhan PDRB industri yang mempengaruhi pertumbuhan dari tarif I-2, contoh pada Gambar 4.16 pada APJ BJJ. Kelima PDRB atau GDP industri tersebut mempunyai *level* sebagai akumulasi nilai PDRB setiap bulannya dan *rate in* yang dipengaruhi pertumbuhan PDRB dan nilai PDRB bulan sebelumnya seperti pada penjelasan pada Gambar 4.15 sebelumnya.

**Tabel 4.24. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Tekstil**

Nama	Pertumbuhan industri tekstil dan barang jadi	Satuan	per month
Tipe	Variabel normal	Variabel	Time
Ekuasi			
$0,04 \times \text{SIN}(0,0737 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 0,0424) + 0,3206 \times \text{SIN}(0,518 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 0,3048) + 0,3273 \times \text{SIN}(0,5087 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 2,543)$			

**Tabel 4.25. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Kimia**

Nama	Pertumbuhan industri kimia, pupuk, barang dari karet	Satuan	per month
Tipe	Variabel normal	Variabel	Time
Ekuasi			
$0,037 \times \text{SIN}(0,0395 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 1,192) - 0,1492 \times \text{SIN}(0,5628 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 3,942) + 0,2275 \times \text{SIN}(0,5395 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 1,892)$			

Tabel 4.24 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri tekstil dan barang jadi atau *textiles* pada model, sedangkan Tabel 4.25 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri kimia, pupuk, dan barang dari karet atau *chemical* pada model.

**Tabel 4.26. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Pertambangan**

Nama	Pertumbuhan industri pertambangan dan penggalian	Satuan	per month
Tipe	Variabel normal	Variabel	Time
Ekuasi			
$0,0463 \times \text{SIN}(0,0024 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 2,403) + 0,0371 \times \text{SIN}(0,7097 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 3,951) + 0,0788 \times \text{SIN}(0,4672 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 0,5907)$			

**Tabel 4.27. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Nonlogam**

Nama	Pertumbuhan industri semen dan barang galian nonlogam	Satuan	per month
Tipe	Variabel normal	Variabel	Time
Ekuasi			
$0,0375 \times \text{SIN}(0,0026 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 1,202) + 0,0421 \times \text{SIN}(0,4014 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) - 2,629) + 0,038 \times \text{SIN}(0,6238 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 3,124)$			

Tabel 4.26 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri pertambangan dan penggalian atau *mining* pada model, sedangkan Tabel 4.27 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri semen dan barang galian nonlogam atau *nonmetal* pada model.

**Tabel 4.28. Variabel Pertumbuhan PDRB Industri Logam**

Nama	Pertumbuhan industri pengolahan logam dasar dan besi baja	Satuan	per month
Tipe	Variabel normal	Variabel	Time
Ekuasi			
$0,0754 \times \text{SIN}(0,0035 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 2,652) +$ $0,063 \times \text{SIN}(0,410 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 0,4735) +$ $0,042 \times \text{SIN}(0,7989 \times \text{MODULO}(\text{Time}, 50) + 2,084)$			

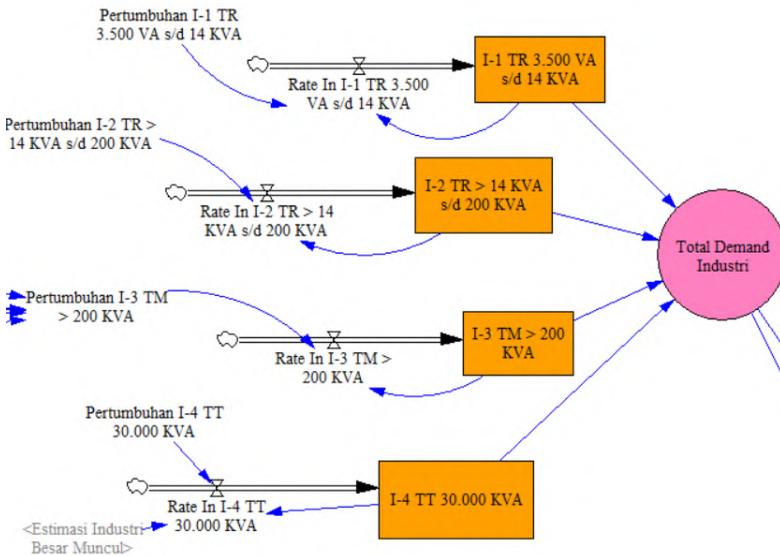
Tabel 4.28 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB industri logam dasar dan besi baja atau *metal* pada model.

Kelima variabel PDRB yang mempengaruhi tarif I-3 tersebut nanti akan dipakai dalam metode ekonometri untuk mencari keterkaitannya dengan variabel tarif I-3 pada model. Pendekatan yang dipakai dalam metode ekonometri adalah regresi berganda, yaitu regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel yang mempengaruhi suatu variabel. Dalam kasus tugas akhir ini variabel PDRB industri tekstil dan barang jadi, PDRB industri kimia, pupuk, dan barang dari karet, PDRB industri pertambangan dan penggalian, PDRB industri semen barang galian nonlogam dan PDRB industri logam dasar dan besi baja mempengaruhi variabel tarif I-3 pada model.

Persamaan yang didapatkan dari metode ekonometri nantinya akan menjadi ekuasi yang akan digunakan pada variabel pertumbuhan tarif industri pada model. Ada dua tarif yang menggunakan persamaan ekonometri yaitu tarif I-2 dan tarif I-3, pada model kedua tarif tersebut terdapat pada APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total seluruh tarif pada Jawa Timur.

### 4.5.3 Model *Demand Industri*

Model *demand* sektor industri menjelaskan proyeksi kebutuhan energi listrik di masa depan. Total *demand* sektor industri didapatkan dari penjumlahan *demand* tarif I-1, I-2, I-3, dan I-4 yang direpresentasikan sebagai *level* pada model, sedangkan total *demand* sendiri direpresentasikan sebagai *auxiliary* pada model.



**Gambar 4.17. Demand per Tarif Sektor Industri**

Gambar 4.17 menunjukkan diagram *stock and flow* dari *demand* sektor industri Jawa Timur. Struktur diagram *stock and flow* dari *demand* industri untuk APJ BJK, MJK, dan SBU mirip dengan Gambar 4.17 tetapi mempunyai data inisial atau data awal yang berbeda pada *level* tarif pada model dan ekuasi pertumbuhan setiap tarif yang berbeda-beda.

Persamaan dari pertumbuhan tarif-tarif yang dipengaruhi oleh pertumbuhan PDRB industri dicari dengan menggunakan regresi dengan Minitab 17. Setelah dilakukan pemetaan jenis-jenis PDRB industri terhadap tarif industri dengan melihat nama pelanggan yang terdaftar pada data pelanggan setiap tarif industri pada data PT. PLN maka selanjutnya mengolah data PDRB industri dan data *demand* energi listrik setiap tarif setiap APJ maupun total di Jawa Timur untuk mencari pertumbuhannya pada setiap bulan yang nantinya akan dilakukan regresi untuk mencari persamaan ekonometrinya.

**Tabel 4.29. Tabel Data Pertumbuhan PDRB terhadap Tarif I-3**

	tekstil	chemical	mining	non metal	metal	Tarif I3 Total Demand Jatim
1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	-1.19%	1.28%	11.03%	-3.65%	9.77%	2.67%
3	10.19%	14.82%	2.03%	-0.53%	6.21%	7.69%
4	3.76%	4.85%	1.84%	12.33%	5.93%	-0.50%
5	-2.92%	-3.74%	-8.61%	1.30%	-16.00%	-5.97%
6	2.03%	-2.68%	-9.94%	-2.99%	0.47%	59.96%
7	2.59%	-2.12%	12.29%	12.28%	1.64%	-42.41%
8	4.46%	9.33%	4.75%	6.62%	0.72%	38.81%
9	3.37%	8.66%	5.46%	-2.04%	8.93%	-12.09%
10	1.21%	-1.47%	12.51%	6.99%	9.86%	6.24%
11	7.39%	10.29%	5.64%	-2.64%	5.83%	-2.09%
12	5.09%	8.11%	2.19%	5.94%	6.51%	4.42%

Tabel 4.29 menunjukkan sampel 12 data pertumbuhan dari lima jenis PDRB industri dan pertumbuhan *demand* tarif I-3. Dengan meregresikan data dari kelima jenis PDRB industri yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tarif I-3, didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.18.

	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0901691	82.32%	52.84%	0.00%	

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-0.1004	0.0548	-1.83	0.164	
tekstil	-3.93	2.79	-1.41	0.253	13.63
chemical	4.27	1.81	2.36	0.099	12.48
mining	3.06	1.24	2.47	0.090	5.85
non metal	1.394	0.643	2.17	0.119	1.14
metal	-2.31	1.08	-2.14	0.121	7.25

## Regression Equation

$$\text{Tarif I3 Total Demand Jatim} = -0.1004 - 3.93 \text{ tekstil} + 4.27 \text{ chemical} + 3.06 \text{ mining} \\ + 1.394 \text{ non metal} - 2.31 \text{ metal}$$

### Gambar 4.18. Hasil Regresi Fungsi Ekonometri Tarif I-3 Jawa Timur

*R-sq* pada Gambar 4.18 merupakan seberapa persen keterkaitan antara hubungan data pertumbuhan kelima jenis PDRB, yaitu industri tekstil, kimia, pertambangan, industri nonlogam, dan industri logam terhadap pertumbuhan tarif I-3 di Jawa Timur. Pada Gambar 4.18 didapatkan keterkaitannya sekitar 82,32%. Nilai *p-Value* pada Gambar 4.18 merupakan nilai besar *error* setiap koefisien pada setiap variabel pertumbuhan PDRB pada persamaan hasil regresi. Sedangkan *Regression Equation* merupakan hasil persamaan ekonometri yang didapatkan dari regresi pertumbuhan kelima jenis PDRB industri terhadap pertumbuhan tarif I-3 dengan menggunakan Minitab 17.

Dalam persamaan simulasi dinamis nanti akan dilakukan pengecekan lagi dari *error mean* dan *error variance* hasil simulasi terhadap data asli setelah seluruh persamaan ekonometri yang didapatkan dari regresi dimasukkan ke dalam model, jika hasil persamaan tersebut masih menghasilkan *error* yang melebihi batas maksimal maka dilakukan penambahan atau pengurangan nilai dari koefisien setiap variabel di dalam persamaan ekonometri pada model hingga didapatkan persamaan ekonometri dengan *error* paling kecil. Sehingga hasil regresi yang didapatkan dengan memakai aplikasi Minitab 17 tidak serta-merta digunakan dalam

model, melainkan dikaji ulang hingga menghasilkan *error* paling kecil dan lolos dari uji validasi model.

Hasil dari regresi terhadap metode ekonometri digunakan untuk mencari ekuasi dari pertumbuhan *demand* energi listrik yang direpresentasikan sebagai *growth* atau pertumbuhan PDRB dalam model. Hasil dari pendekatan regresi terhadap hubungan antara pertumbuhan PDRB terhadap pertumbuhan kebutuhan atau *demand* energi listrik dijelaskan pada Tabel 4.30 dan Tabel 4.31.

**Tabel 4.30. Persamaan Ekonometri Tarif I-2**

Area	Ekuasi
Tarif I-2 APJ SBU	$(-0,00427 + 0,2322 \textit{ paper} - 0,1211 \textit{ farm} + 0,387 \textit{ food}) \times 0,2$
Tarif I-2 APJ BJK	$(0,0179 + 1,904 \textit{ paper} - 0,153 \textit{ farm} + 0,153 \textit{ food}) \times 0,3$
Tarif I-2 APJ MJK	$-0,0108 + 0,778 \textit{ paper} - 0,053 \textit{ farm} + 0,379 \textit{ food}$
Tarif I-2 Total Jawa Timur	$(0,0007 + 0,130 \textit{ paper} - 0,090 \textit{ farm} + 0,908 \textit{ food}) \times 0,1$

Tabel 4.30 menjelaskan ekuasi untuk variabel pertumbuhan tarif I-2 pada APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total seluruh Jawa Timur. Ketiga variabel yang mempengaruhi ekuasi pertumbuhan *demand* energi listrik tarif I-2 seperti yang sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya ada tiga, yaitu *paper* atau PDRB industri kertas dan percetakan, *food* atau PDRB industri makanan, dan *farm* atau PDRB industri pertanian. Ekuasi pada tarif I-2 setiap area berbeda-beda walaupun variabel yang mempengaruhinya sama.

**Tabel 4.31. Persamaan Ekonometri Tarif I-3**

Area	Ekuasi
Tarif I-3 APJ SBU	$(-0,0015 - 0,73 \textit{ textiles} + 1,147 \textit{ chemical} - 0,58 \textit{ mining} - 0,063 \textit{ nonmetal} + 0,508 \textit{ metal}) \times 0,5$
Tarif I-3 APJ BJK	$(-0,0355 - 0,73 \textit{ textiles} + 1,147 \textit{ chemical} - 0,580 \textit{ mining} - 0,063 \textit{ nonmetal} + 0,508 \textit{ metal}) \times 0,5$
Tarif I-3 APJ MJK	$(-0,0507 - 0,44 \textit{ textiles} + 1,021 \textit{ chemical} + 1,839 \textit{ mining} + 0,171 \textit{ nonmetal} - 1,283 \textit{ metal}) \times 0,15$
Tarif I-3 Total Jawa Timur	$(-0,1004 - 3,93 \textit{ textiles} + 4,27 \textit{ chemical} + 3,06 \textit{ mining} + 1,394 \textit{ nonmetal} - 2,31 \textit{ metal}) \times 0,08$

Tabel 4.31 menjelaskan ekuasi untuk variabel pertumbuhan Tarif I-3 pada APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total seluruh Jawa Timur. Kelima variabel yang mempengaruhi ekuasi pertumbuhan *demand* energi listrik tarif I-3 seperti yang sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya ada tiga, yaitu *textiles* atau PDRB industri tekstil dan barang jadi, *chemical* atau PDRB industri kimia dan barang dari karet, *mining* atau PDRB industri pertambangan dan penggalian, *nonmetal* atau PDRB industri semen dan barang galian nonlogam, dan *metal* atau PDRB industri pengolahan logam dasar dan besi baja.. Ekuasi pada tarif I-3 setiap area berbeda-beda walaupun variabel yang mempengaruhinya sama.

Variabel pertumbuhan tarif yang direpresentasikan *growth* pada model untuk tarif I-2 dan tarif I-3 yang dipengaruhi oleh pertumbuhan PDRB industri dijelaskan pada Tabel 4.32.

**Tabel 4.32. Variabel Pertumbuhan Setiap Tarif Sektor Industri**

Nama	Pertumbuhan <i>demand</i> tarif	Satuan	per <i>month</i>
Tipe	Variabel Normal	Variabel	<i>Rate</i> pertumbuhan kebutuhan energi listrik
Ekuasi			
Persamaan Ekonometri pada Tabel 4.28 untuk Tarif I-2 dan Tabel 4.29 untuk Tarif I-3			

Variabel jumlah *demand* tarif yang direpresentasikan menjadi *level* pada Gambar 4.15 mempunyai nilai awal sesuai data PLN untuk setiap tarif pada setiap APJ atau total Jawa Timur pada Januari 2012. Pada model variabel jumlah *demand* tarif dijelaskan pada Tabel 4.33. Terdapat nilai inisialisasi atau nilai awal pada variabel *demand* tarif yang nilainya merupakan data *demand* pada Januari 2012. Nilai awal tersebut akan bertambah atau berkurang sesuai dengan nilai pertumbuhan *demand* pada waktu selanjutnya, bisa bertambah maupun berkurang dari nilai sebelumnya.

**Tabel 4.33. Variabel *Demand* Tarif I-2 dan I-3 Sektor Industri**

Nama	Tarif Industri I-2 atau I-3	Satuan	kWh
Tipe	<i>Level</i>	Variabel	<i>Rate</i> pertumbuhan kebutuhan energi listrik
Nilai Awal			
Data saat Januari 2012			
Ekuasi			
<i>Rate</i> pertumbuhan kebutuhan energi listrik			

Dikarenakan variabel tarif I-1 dan tarif I-4 berbeda dan tidak dipengaruhi oleh pertumbuhan PDRB industri maka digunakan langsung data *demand* di masa lalu pada data PLN. Tarif I-1 cenderung mengalami penurunan kebutuhan energi listrik dikarenakan pelanggan tarif I-1 pindah ke tarif dengan daya yang lebih besar dibanding I-1, yaitu I-2. Tabel 4.34 menjelaskan variabel *demand* tarif I-1 pada model.

**Tabel 4.34. Variabel *Demand* Tarif I-1 Sektor Industri**

Nama	Tarif I-1	Satuan	kWh
Tipe	<i>Level</i>	Variabel	<i>Rate</i> pertumbuhan kebutuhan energi listrik tarif I-1
Nilai Awal			
Data saat Januari 2012			
Ekuasi			
(Data bulan sebelumnya) x (rata-rata pertumbuhan per bulan)			

Tarif I-4 dicari dengan memperkirakan atau estimasi industri besar yang akan muncul di APJ terkait atau di Jawa Timur. Tabel 4.35 menjelaskan variabel *demand* tarif I-4 pada model.

Industri besar sangat mungkin muncul pada daerah nonmetropolis yang terdapat daerah kosong untuk menempatkan bangunan atau pabrik industri tersebut, sehingga daerah metropolis seperti APJ SBU tidak memungkinkan munculnya industri besar karena tidak memiliki area lahan yang cukup besar tersisa untuk pembangunan industri besar.

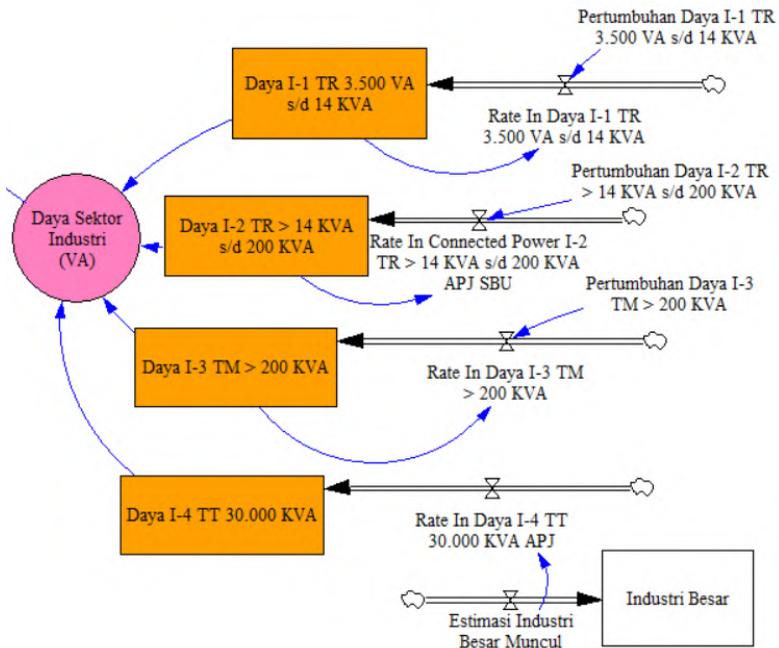
**Tabel 4.35. Variabel Demand Tarif I-4 Sektor Industri**

Nama	Tarif I-4	Satuan	kWh
Tipe	<i>Level</i>	Variabel	<i>Rate</i> pertumbuhan kebutuhan energi listrik I-4
Nilai Awal			
Data saat Januari 2012			
Ekuasi			
(Data bulan sebelumnya) + (rata-rata pertumbuhan per bulan) x (estimasi industri besar muncul)			

Variabel total *demand* yang direpresentasikan sebagai *auxiliary* yang dihitung dengan menjumlahkan semua *demand* setiap tarif pada setiap APJ atau total di Jawa Timur. Tabel 4.36 menjelaskan variabel total *demand* pada model.

**Tabel 4.36. Variabel Total Demand Industri**

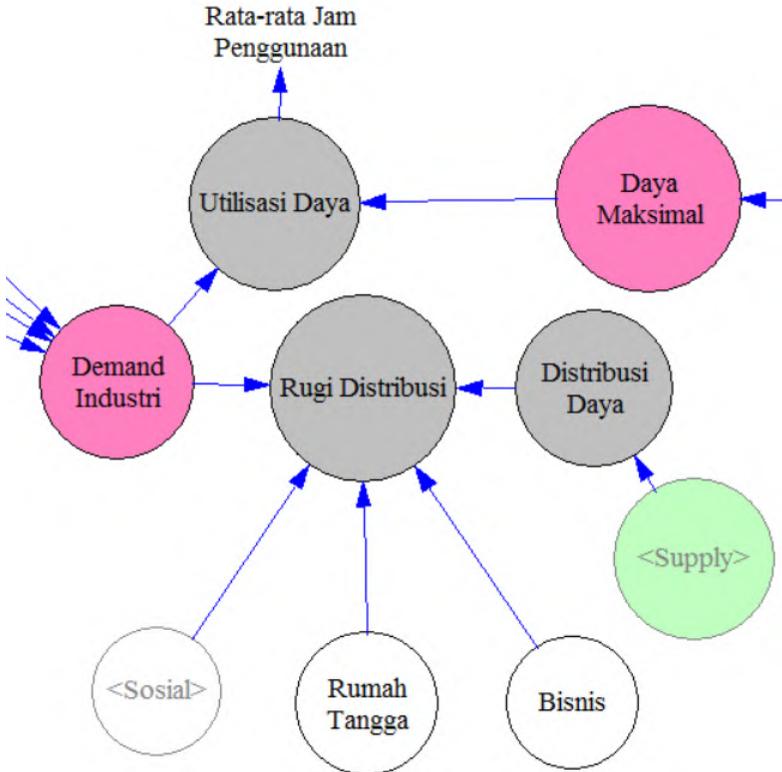
Nama	Total Demand Sektor Industri	Satuan	per month
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	Tarif I-1, I-2, I-3, dan I-4
Ekuasi			
Tarif I-1 + Tarif I-2 + Tarif I-3 + Tarif I-4			



**Gambar 4.19. Daya Tersambung Tarif Sektor Industri**

Daya tersambung mempunyai ekuasi yang sama dengan mencari *demand* industri pada setiap sektornya. Gambar 4.19 menunjukkan diagram *stock and flow* model dinamis dari daya tersambung seluruh tarif industri yang juga tumbuh seperti *demand* sektor industri. Total daya tersambung digunakan untuk mencari utilisasi penggunaan energi listrik oleh pelanggan. Utilisasi penggunaan energi listrik berskala 0 sampai 100%, semakin besar maka semakin sering daya listrik digunakan, hal ini berarti semakin sering pelanggan menggunakan energi listrik yang didistribusikan oleh pemasok dari gardu induk. Utilisasi penggunaan energi listrik dijelaskan pada Gambar 4.20 dengan membandingkan total *Demand* Industri terhadap Daya Maksimal dari daya tersambung. Daya Maksimal atau penggunaan listrik maksimal dicari dengan Persamaan 4.2 yang merupakan daya aktif dan dikalikan dengan

total jam maksimal penggunaan dalam satu bulan. Dengan kata lain variabel tersebut dicari dengan mengkonversikan VA dari daya tersambung terhadap kWh dari daya aktif yang sebenarnya terpakai dalam waktu tertentu atau energi listrik.



**Gambar 4.20. Proyeksi Pertumbuhan Demand dan Ekspansi Supply yang Dibutuhkan di Masa Depan**

Gambar 4.20 menunjukkan diagram *stock and flow* dari perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur. Setelah meramalkan kebutuhan energi listrik di masa depan dapat diketahui setelah kekurangan *demand* sektor

industri direpresentasikan sebagai *auxiliary* rugi distribusi pada model yang telah diketahui.

Ekuasi utilisasi penggunaan energi listrik dijelaskan pada Tabel 4.37, sedangkan Tabel 4.38 menjelaskan ekuasi kekurangan daya listrik yang memasok listrik di Jawa Timur baik setiap APJ atau total di Jawa Timur.

**Tabel 4.37. Variabel Utilisasi Penggunaan**

Nama	Utilisasi penggunaan daya listrik	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	Penggunaan daya maksimal dan <i>demand</i> energi listrik terpakai
Ekuasi			
$Demand$ energi listrik terpakai / Penggunaan daya maksimal x 100%			

**Tabel 4.38. Variabel Kekurangan Pasokan Energi Listrik**

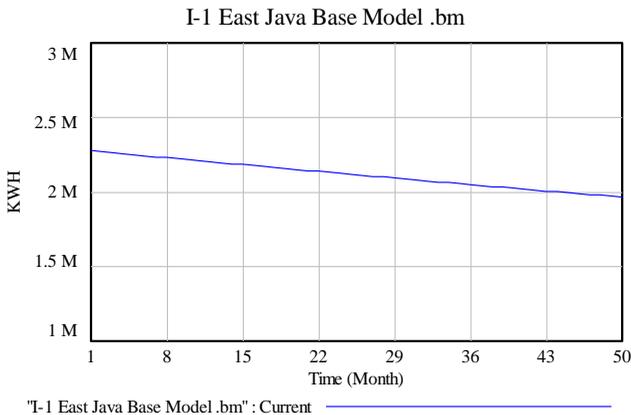
Nama	Kekurangan daya listrik	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<i>Demand</i> di seluruh sektor dan distribusi energi listrik maksimal
Ekuasi			
IF THEN ELSE( $demand >$ distribusi maksimal, ( $Demand$ seluruh sektor - distribusi energi listrik maksimal)/distribusi istribusi energi listrik maksimal x 100%, 0)			

Hampir sama seperti melakukan konversi VA ke kWh dari daya maksimal yang didistribusikan untuk mencari utilisasi penggunaan, variabel distribusi energi listrik dicari dengan melakukan konversi dari *supply* (VA) ke energi maksimal yang dapat didistribusikan dalam satu bulan (kWh). Nilai  $\cos \varphi$  normal pada daya aktif adalah 0,8 sebagai faktor pengali dari VA ke kWh.

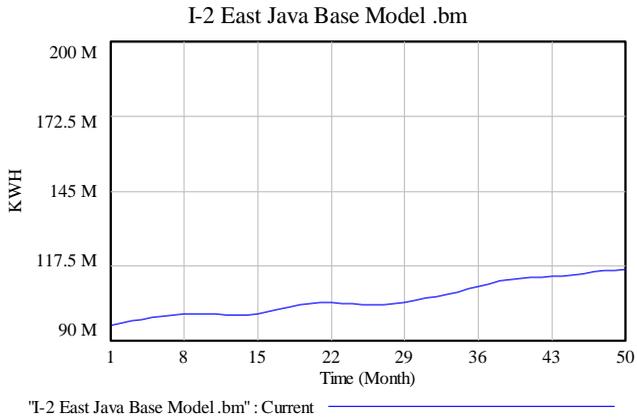
#### 4.7. Simulasi *Base Model*

Setelah mengembangkan diagram *stock and flow* maka langkah selanjutnya adalah mensimulasikan model pada kondisi saat ini, pada kasus tugas akhir ini adalah pada *time step* 1-50 atau dari Januari 2012 sampai Februari 2016.

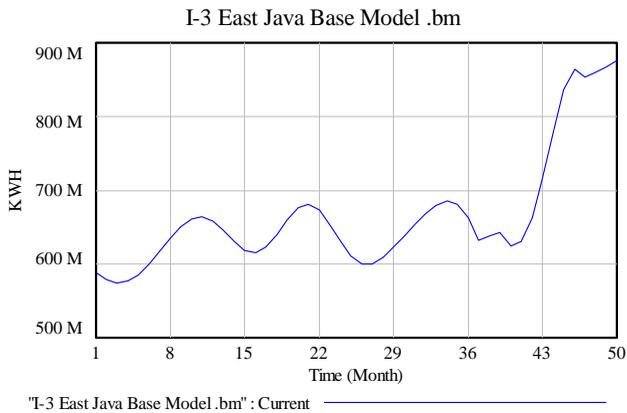
Dikarenakan terlalu banyak grafik pada setiap variabel pada APJ BJK, APJ MJK, dan APJ SBU pada setiap tarif sektor industri maka pada buku ini yang akan ditampilkan hanya grafik dari simulasi *demand* tarif I-1, tarif I-2, tarif I-3, tarif I-4, dan total seluruh *demand* industri di Jawa Timur saja. Hasil grafik perbandingan hasil simulasi *demand* sektor industri dan data asli nanti akan ditampilkan seluruhnya pada Subbab 4.8, yaitu pada hasil uji validasi.



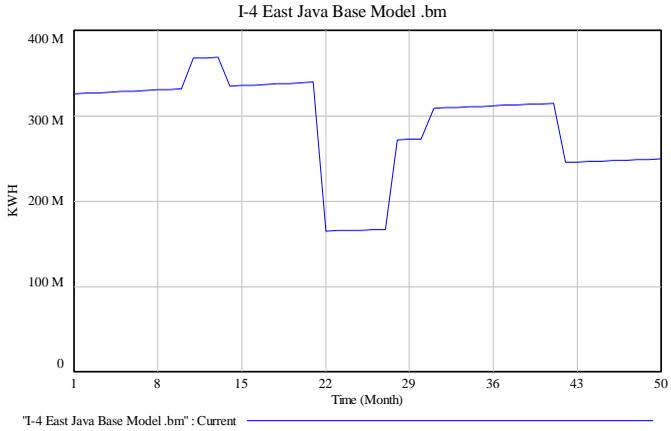
**Gambar 4.21. Grafik *Demand* Tarif I-1 Jawa Timur**



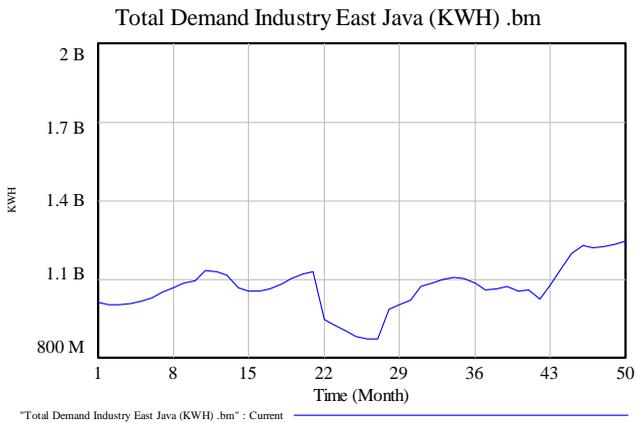
**Gambar 4.22. Grafik Demand Tarif I-2 Jawa Timur**



**Gambar 4.23. Grafik Demand Tarif I-3 Jawa Timur**



**Gambar 4.24. Grafik Demand Tarif I-4 Jawa Timur**



**Gambar 4.25. Grafik Demand Total Sektor Industri Jawa Timur**

Gambar 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 berturut-turut menampilkan hasil grafik simulasi pertumbuhan *demand* energi listrik dari tarif I-1, I-2, I-3, dan I-4 di Jawa Timur. Gambar 4.25 menampilkan hasil simulasi total *demand* sektor industri di Jawa Timur.

#### 4.8. Uji Validasi

Validasi merupakan proses penentuan apakah model konseptual simulasi benar-benar merupakan representasi akurat dari sistem aktual yang dimodelkan. Validasi model pada tugas akhir ini menggunakan pengujian *mean comparison* atau E1 dan *variance comparison* atau E2 seperti yang terdapat pada Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2. Uji validasi harus memenuhi syarat  $E1 \leq 5\%$  dan  $E2 \leq 30\%$ . Hasil simulasi yang diuji adalah nilai dari *demand* sektor industri mulai dari tarif I-1, I-2, I-3, I-4, hingga total *demand* sektor industri.

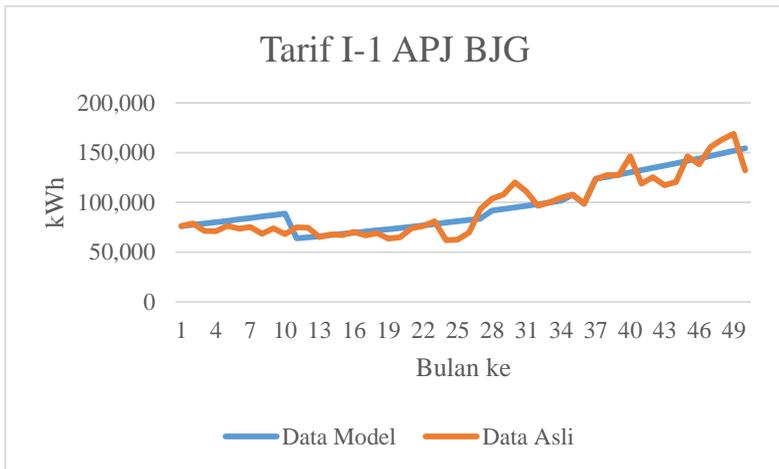
*Time step* yang dipakai pada pengujian di *base model* dari nilai inisialisasi awal satu, yaitu Januari 2012 sampai 50, yaitu Februari 2015. Validasi dilakukan pada setiap tarif dan total *demand* pada setiap APJ dan total di Jawa Timur.

Total jumlah validasi *demand* sektor industri pada model ada 20 validasi. Subbab 4.7.1 menampilkan validasi tarif I-1 untuk APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total tarif I-1 pada Jawa Timur. Subbab 4.7.2 menampilkan validasi tarif I-2 untuk APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total tarif I-2 pada Jawa Timur. Subbab 4.7.3 menampilkan validasi tarif I-3 untuk APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total tarif I-3 pada Jawa Timur. Subbab 4.7.4 menampilkan validasi tarif I-4 untuk APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total tarif I-4 pada Jawa Timur. Terakhir, Subbab 4.7.5 menampilkan validasi total *demand* sektor industri untuk APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total di Jawa Timur.

#### 4.7.1 Validasi Tarif I-1

**Tabel 4.39. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ BJJ**

Tarif I-1 APJ BJJ	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	97.801	95.916
Standar Deviasi	27.838	30.319
E1	1,96%	
E2	8,18%	

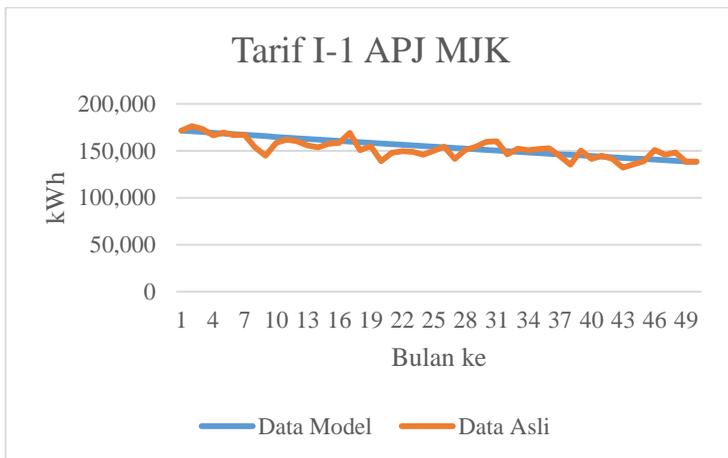


**Gambar 4.26. Grafik Perbandingan Tarif I-1 APJ BJJ**

Tabel 4.39 menunjukkan hasil validasi tarif I-1 APJ BJJ dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.26.

**Tabel 4.40. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ MJK**

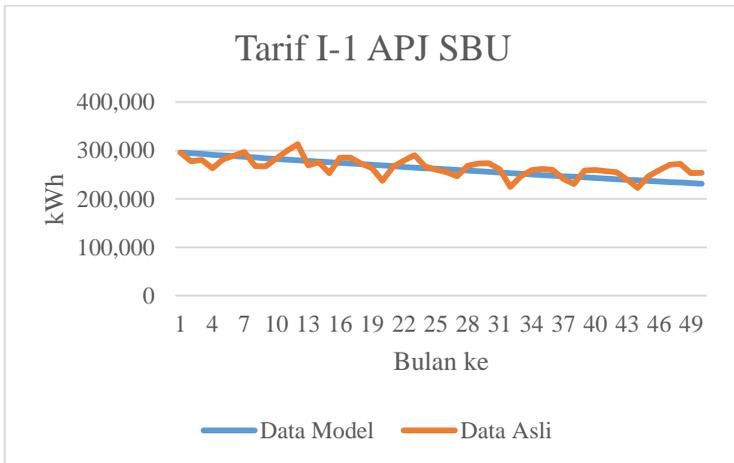
Tarif I-1 APJ MJK	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	154.394	152.367
Standar Deviasi	9.921	10.545
E1	1,33%	
E2	5,92%	

**Gambar 4.27. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ MJK**

Tabel 4.40 menunjukkan hasil validasi tarif I-1 APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.27.

**Tabel 4.41. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ SBU**

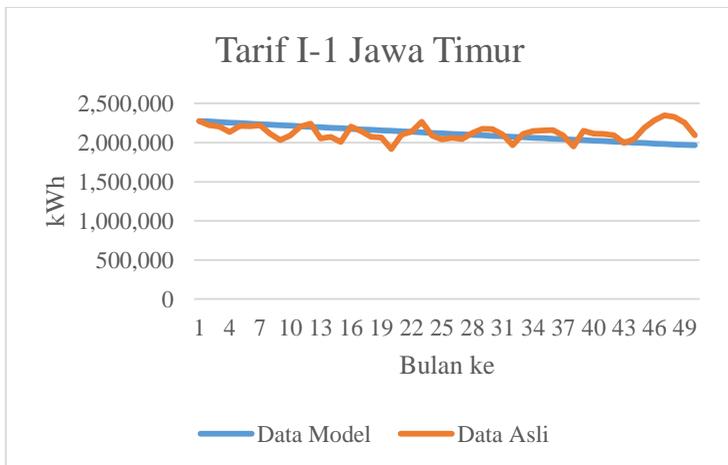
Tarif I-1 APJ SBU	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	262.378	265.622
Standar Deviasi	19.162	18.962
E1	1,22%	
E2	1,05%	

**Gambar 4.28. Hasil Validasi Tarif I-1 APJ SBU**

Tabel 4.41 menunjukkan hasil validasi tarif I-1 APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.28.

**Tabel 4.42. Hasil Validasi Tarif I-1 Jawa Timur**

Tarif I-1 Jawa Timur	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	2.117.412	2.132.586
Standar Deviasi	92.721	94.298
E1	0,71%	
E2	1,67%	

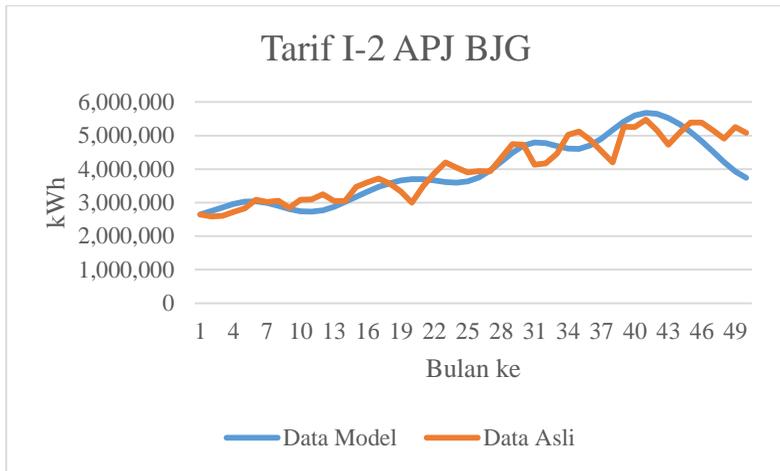
**Gambar 4.29. Hasil Validasi Tarif I-1 Jawa Timur**

Tabel 4.42 menunjukkan hasil validasi tarif I-1 Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.29.

#### 4.7.2 Validasi Tarif I-2

**Tabel 4.43. Hasil Validasi Tarif I-2 APJ BJJ**

Tarif I-2 APJ BJJ	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	3.962.989	4.029.237
Standar Deviasi	939.258	917.880
E1	1,64%	
E2	2,33%	

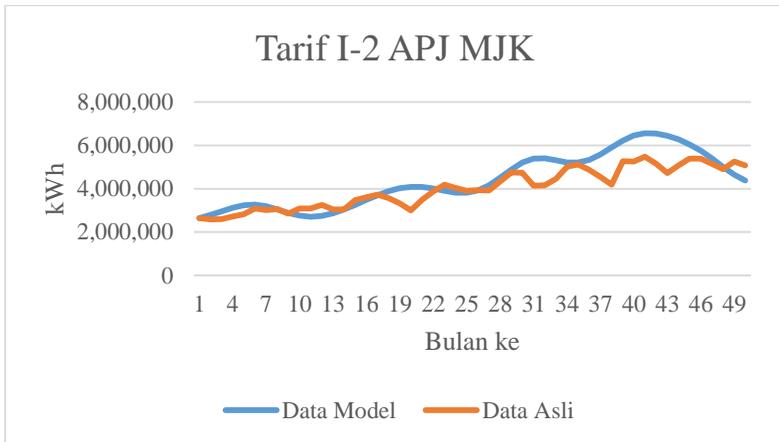


**Gambar 4.30. Grafik Perbandingan Tarif I-2 APJ BJJ**

Tabel 4.43 menunjukkan hasil validasi tarif I-2 APJ BJJ dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.30.

**Tabel 4.44. Hasil Validasi Tarif I-2 APJ MJK**

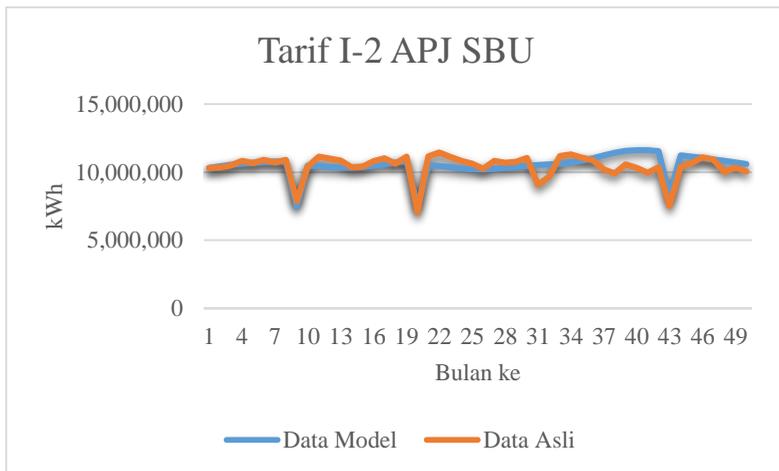
Tarif I-2 APJ MJK	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	4.382.770	4.298.855
Standar Deviasi	1.236.510	1.158.668
E1	1,95%	
E2	6,72%	

**Gambar 4.31. Grafik Perbandingan Tarif I-2 APJ MJK**

Tabel 4.44 menunjukkan hasil validasi tarif I-2 APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.31.

**Tabel 4.45. Hasil Validasi Tarif I-2 APJ SBU**

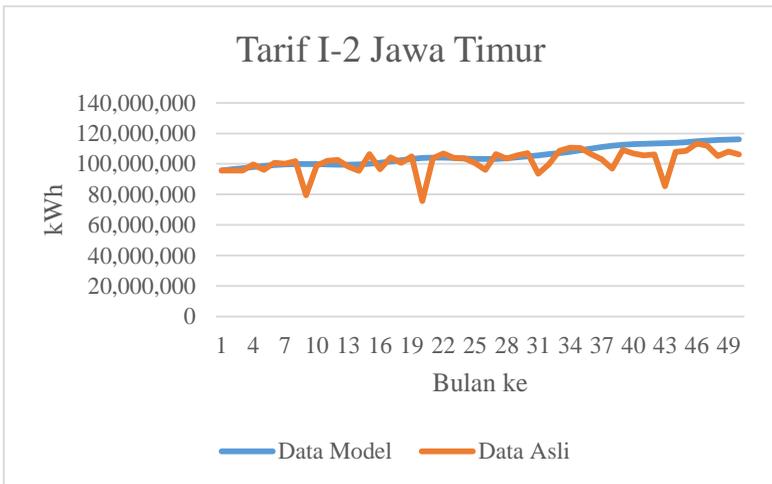
Tarif I-2 APJ SBU	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	10.527.410	10.444.678
Standar Deviasi	810.242	882.875
E1	0,79%	
E2	8,23%	

**Gambar 4.32. Grafik Perbandingan Tarif I-2 APJ SBU**

Tabel 4.45 menunjukkan hasil validasi tarif I-2 APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.32.

**Tabel 4.46. Hasil Validasi Tarif I-2 Jawa Timur**

Tarif I-2 Jawa Timur	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	105.448.125	101.830.460
Standar Deviasi	6.114.996	7.416.583
E1	3,55%	
E2	17,55%	

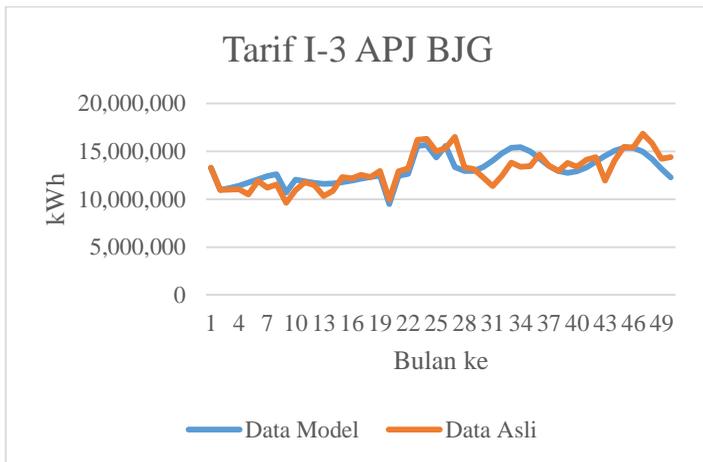
**Gambar 4.33. Grafik Perbandingan Tarif I-2 Jawa Timur**

Tabel 4.46 menunjukkan hasil validasi tarif I-2 Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.33.

### 4.7.3 Validasi Tarif I-3

**Tabel 4.47. Hasil Validasi Tarif I-3 APJ BJJ**

Tarif I-3 APJ BJJ	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	13.144.773	13.040.290
Standar Deviasi	1.499.812	1.817.881
E1	0,80%	
E2	17,50%	

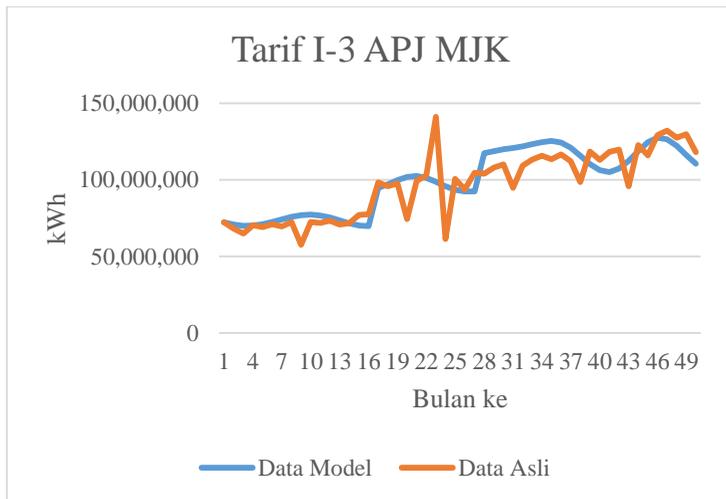


**Gambar 4.34. Grafik Perbandingan Tarif I-3 APJ BJJ**

Tabel 4.47 menunjukkan hasil validasi tarif I-3 APJ BJJ dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.34.

**Tabel 4.48. Hasil Validasi Tarif I-3 APJ MJK**

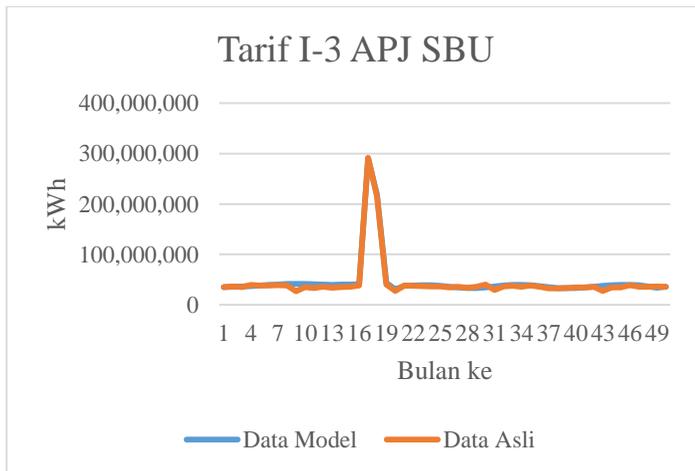
Tarif I-3 APJ MJK	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	99.183.002	96.748.822
Standar Deviasi	20.528.105	22.453.758
E1	2,52%	
E2	8,58%	

**Gambar 4.35. Grafik Perbandingan Tarif I-3 APJ MJK**

Tabel 4.48 menunjukkan hasil validasi tarif I-3 APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.35.

**Tabel 4.49. Hasil Validasi Tarif I-3 APJ SBU**

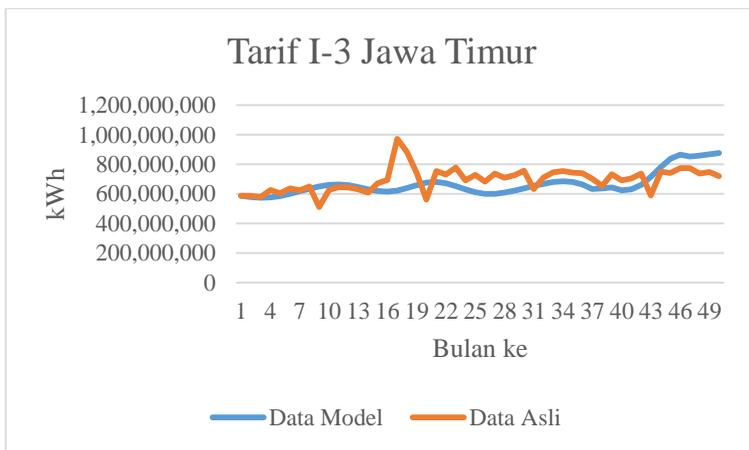
Tarif I-3 APJ SBU	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	46.299.422	44.237.616
Standar Deviasi	43.663.050	43.915.101
E1	4,66%	
E2	0,57%	

**Gambar 4.36. Grafik Perbandingan Tarif I-3 APJ SBU**

Tabel 4.49 menunjukkan hasil validasi tarif I-3 APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.36.

**Tabel 4.50. Hasil Validasi Tarif I-3 Jawa Timur**

Tarif I-3 Jawa Timur	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	666.577.818	695.382.444
Standar Deviasi	80.929.811	81.123.662
E1	4,14%	
E2	0,24%	

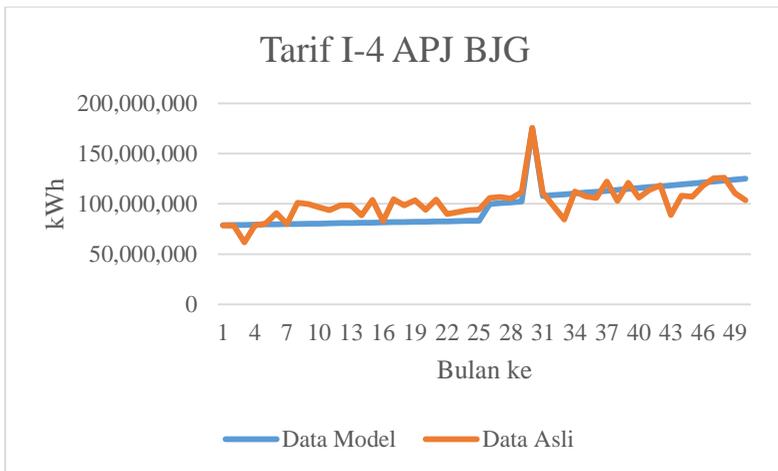
**Gambar 4.37. Grafik Perbandingan Tarif I-3 Jawa Timur**

Tabel 4.50 menunjukkan hasil validasi tarif I-3 Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.37.

#### 4.7.4 Validasi Tarif I-4

**Tabel 4.51. Hasil Validasi Tarif I-4 APJ BJJ**

Tarif I-4 APJ BJJ	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	98.572.931	101.638.900
Standar Deviasi	20.457.271	17.182.391
E1	3,02%	
E2	19,06%	

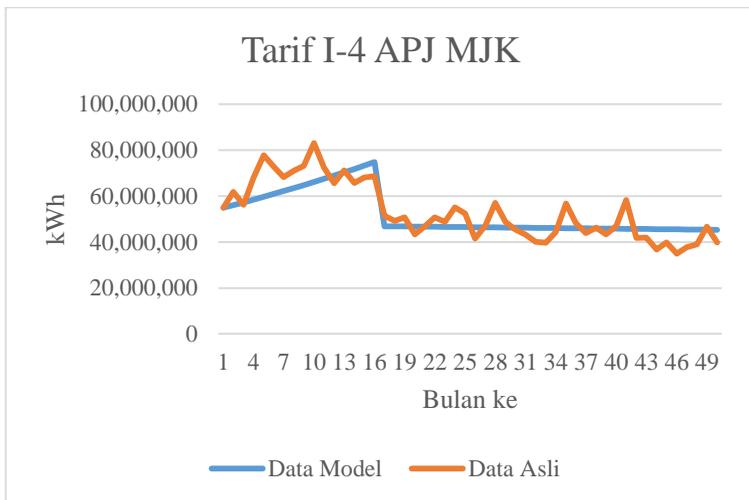


**Gambar 4.38. Grafik Perbandingan Tarif I-4 APJ BJJ**

Tabel 4.51 menunjukkan hasil validasi tarif I-4 APJ BJJ dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.38.

**Tabel 4.52. Hasil Validasi Tarif I-4 APJ MJK**

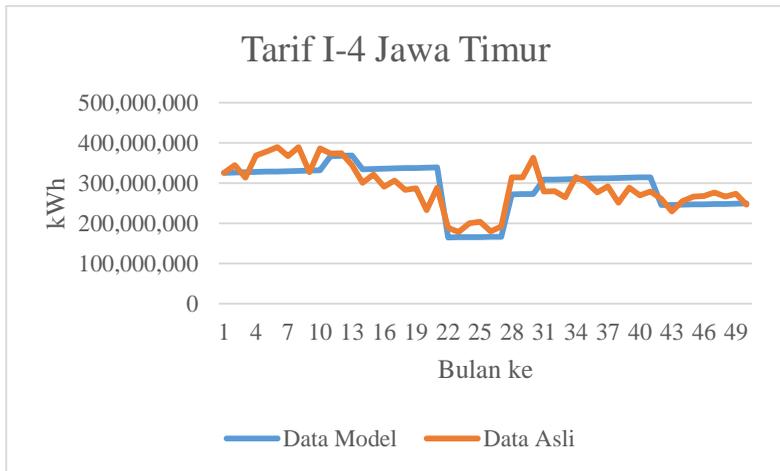
Tarif I-4 APJ MJK	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	51.933.189	53.132.563
Standar Deviasi	11.789.944	12.476.373
E1	2,26%	
E2	5,50%	

**Gambar 4.39. Grafik Perbandingan Tarif I-4 APJ MJK**

Tabel 4.52 menunjukkan hasil validasi tarif I-4 APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.39.

**Tabel 4.53. Hasil Validasi Tarif I-4 Jawa Timur**

Tarif I-4 Jawa Timur	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	290.908.279	291.328.460
Standar Deviasi	58.199.317	56.572.205
E1	0,14%	
E2	2,88%	

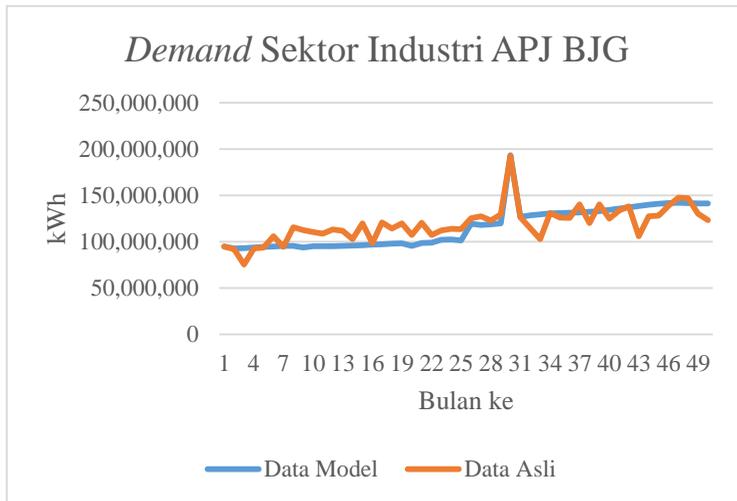
**Gambar 4.40. Grafik Perbandingan Tarif I-4 Jawa Timur**

Tabel 4.53 menunjukkan hasil validasi tarif I-4 APJ BJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada gambar 4.40. Tidak ada uji validasi pada tarif I-4 APJ SBU dikarenakan SBU adalah daerah metropolis sehingga tidak terdapat lahan untuk membangun industri besar, hal itu mengakibatkan tidak ada industri besar di APJ SBU sehingga tidak terdapat pelanggan sektor industri di APJ SBU dengan tarif I-4.

#### 4.7.5 Validasi Total *Demand* Industri

**Tabel 4.54. Hasil Validasi *Demand* Industri APJ BJJ**

Tarif <i>Demand</i> Industri APJ BJJ	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	98.572.931	101.638.900
Standar Deviasi	20.457.271	17.182.391
E1	2,56%	
E2	18,46%	

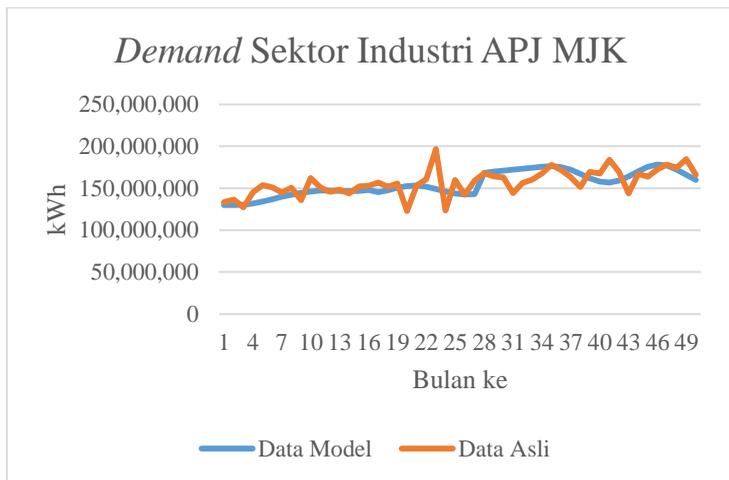


**Gambar 4.41. Grafik Perbandingan *Demand* Industri APJ BJJ**

Tabel 4.54 menunjukkan hasil validasi *demand* sektor industri APJ BJJ dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.41.

**Tabel 4.55. Hasil Validasi *Demand* Industri APJ MJK**

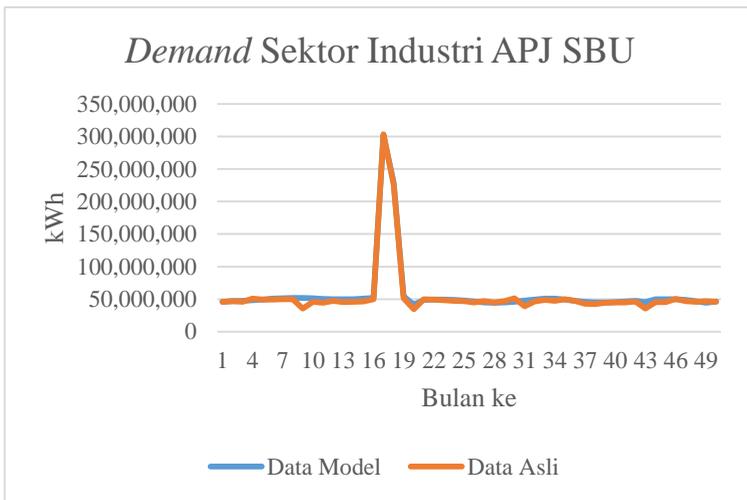
Tarif <i>Demand</i> Industri APJ MJK	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	155.316.482	156.880.120
Standar Deviasi	14.631.574	15.567.331
E1	1,01%	
E2	6,01%	

**Gambar 4.42. Grafik Perbandingan *Demand* Industri APJ MJK**

Tabel 4.55 menunjukkan hasil validasi *demand* sektor industri APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.42.

**Tabel 4.56. Hasil Validasi *Demand* Industri APJ SBU**

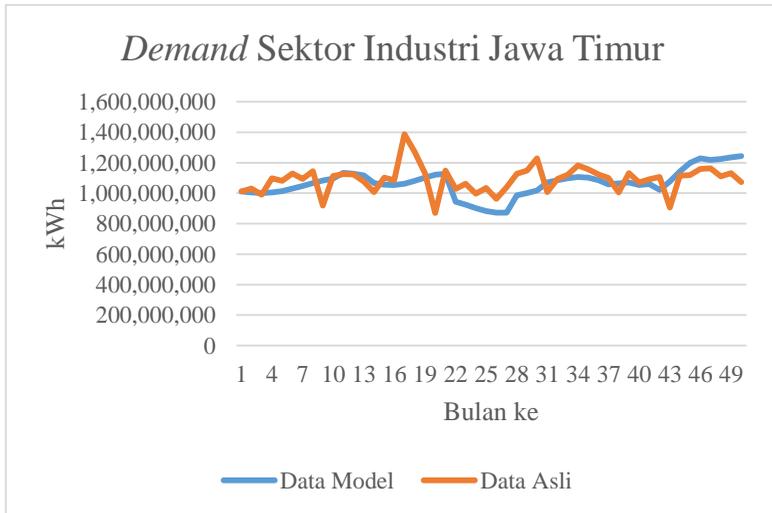
Tarif <i>Demand</i> Industri APJ SBU	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	56.951.564	54.948.309
Standar Deviasi	43.679.666	44.058.216
E1	3,65%	
E2	0,86%	

**Gambar 4.43. Grafik Perbandingan *Demand* Industri APJ SBU**

Tabel 4.56 menunjukkan hasil validasi *demand* sektor industri APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.43.

**Tabel 4.57. Hasil Validasi *Demand* Industri Jawa Timur**

Tarif <i>Demand</i> Industri Jawa Timur	Data Simulasi (kWh)	Data Asli (kWh)
Rata-rata	1.065.051.643	1.090.690.627
Standar Deviasi	89.139.757	87.675.329
E1	2,35%	
E2	1,67%	

**Gambar 4.44. Grafik Perbandingan *Demand* Industri Jawa Timur**

Tabel 4.57 menunjukkan hasil validasi *demand* sektor industri di Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.44.

#### 4.9. Pengembangan Skenario

Skenario dikembangkan untuk memperbaiki dan meningkatkan kinerja dari sistem. Skenario juga memungkinkan untuk membandingkan hasil dari beberapa kemungkinan yang terjadi di masa depan. *Time bounds* skenario model pada simulasi dinamis perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur pada *time step* 1 sampai 200 dengan satuan waktu atau *time step* bulan. Simulasi pada skenario dimulai dari Januari 2012 sampai Agustus 2028 selama 200 bulan.

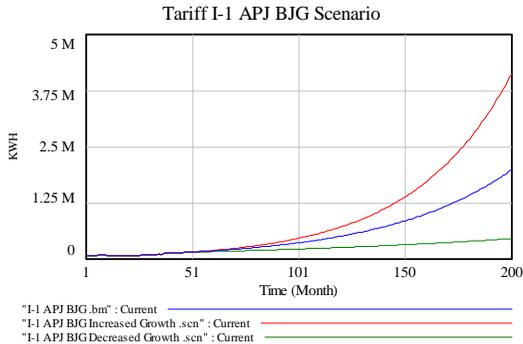
Tugas akhir ini menerapkan tiga skenario, yaitu skenario *most likely* skenario yang merupakan pertumbuhan PDRB dan listrik sesuai dengan kurva data historis, kedua adalah skenario optimis yang menerapkan kenaikan pertumbuhan PDRB terhadap kebutuhan energi listrik, dan ketiga adalah skenario pesimis yang menerapkan penurunan pertumbuhan PDRB yang mengakibatkan berkurang pula pertumbuhan akan kebutuhan energi listrik. Skenario yang layak digunakan untuk proyeksi pertumbuhan energi listrik di masa depan adalah skenario *most likely* dikarenakan sesuai dengan kurva data historis, sedangkan skenario optimis dan pesimis digunakan untuk memahami perilaku pertumbuhan energi listrik pada saat bagaimana jika keadaan pada kenyataannya mengalami kenaikan atau penurunan dibandingkan dengan pertumbuhan dari data historis sehingga nilai proyeksi pertumbuhan di masa depan lebih naik atau turun dari nilai proyeksi skenario *most likely*.

Skenario optimis menerapkan pertumbuhan PDRB naik 6% setiap tahunnya yang mengakibatkan kenaikan 0,5% pertumbuhan PDRB setiap bulannya. Sedangkan skenario optimis menerapkan pertumbuhan PDRB naik 3% setiap tahunnya yang mengakibatkan kenaikan sekitar 0,25% pertumbuhan PDRB setiap bulannya. Skenario dilakukan pada tarif I-1, tarif I-2, tarif I-3, tarif I-4, dan *demand* industri total pada setiap APJ, yaitu APJ BJB, MJK, dan SBU serta total di Jawa Timur.

Skenario optimis pada grafik dipaparkan pada garis yang berwarna merah, skenario *most likely* berwarna biru, dan skenario

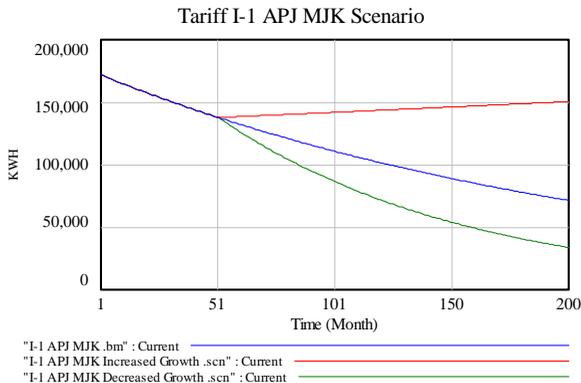
pesimis berwarna hijau pada grafik. Nilai dari hasil skenario tidak boleh mengubah nilai dari *base model*.

#### 4.9.1. Skenario Tarif I-1



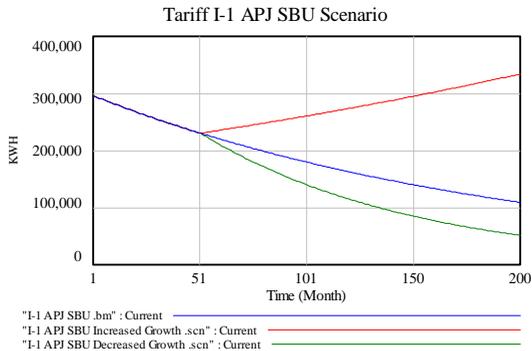
**Gambar 4.45. Skenario Tarif I-1 APJ BJB**

*Demand* tarif I-1 APJ BJB pada Gambar 4.45 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 4 juta kWh, skenario *most likely* mencapai sekitar 2 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 200.000 kWh.



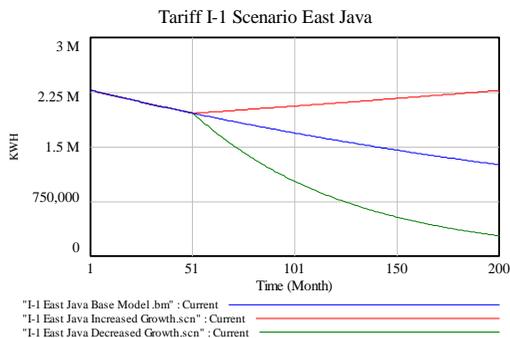
**Gambar 4.46. Skenario Tarif I-1 APJ MJK**

*Demand* tarif I-1 APJ MJK pada Gambar 4.46 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 150.000 kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 75.000 kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 35.000 kWh.



**Gambar 4.47. Skenario Tarif I-1 APJ SBU**

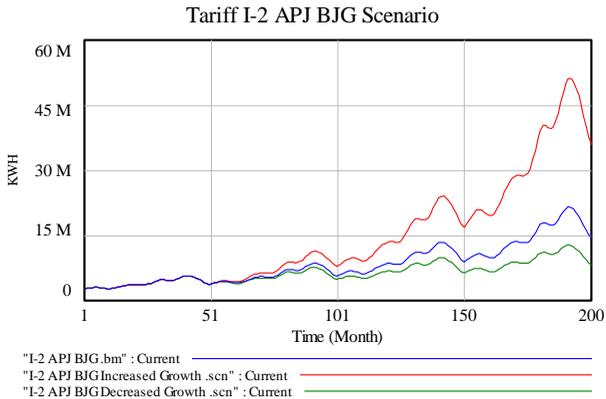
*Demand* tarif I-1 APJ SBU pada Gambar 4.47 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 325.000 kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 105.000 kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 55.000 kWh.



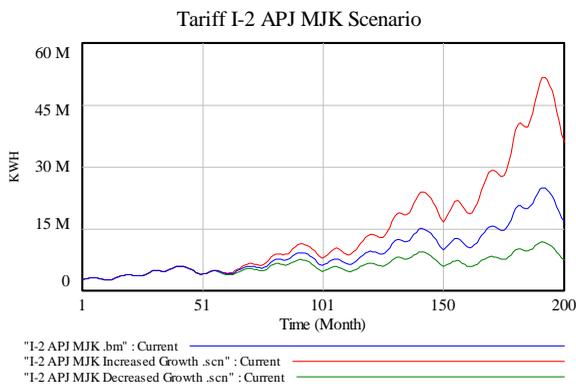
**Gambar 4.48. Skenario Tarif I-1 Jawa Timur**

*Demand* tarif I-1 di Jawa Timur pada Gambar 4.48 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 2,25 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 1,3 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 300.000 kWh.

#### 4.9.2. Skenario Tarif I-2

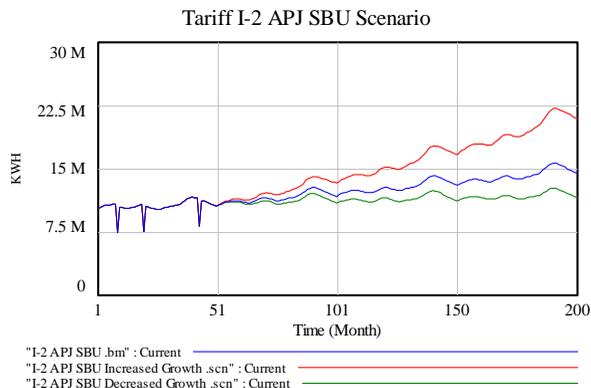


**Gambar 4.49. Skenario Tarif I-2 APJ BJB**



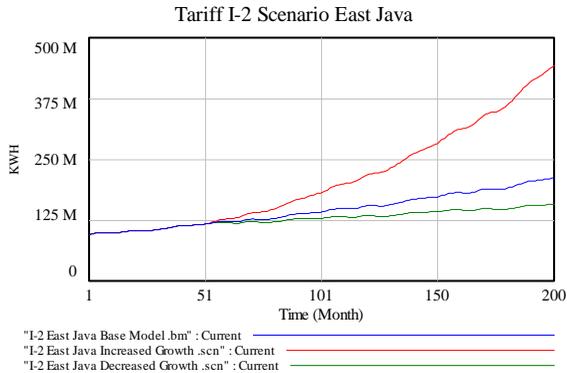
**Gambar 4.50. Skenario Tarif I-2 APJ MJK**

*Demand* tarif I-2 APJ BJK pada Gambar 4.49 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 42,5 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 15 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 8 juta kWh. Sedangkan *demand* tarif I-2 APJ MJK pada Gambar 4.50 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 42,5 juta kWh di *time step* 200, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 15 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 8 juta kWh.



**Gambar 4.51. Skenario Tarif I-2 APJ SBU**

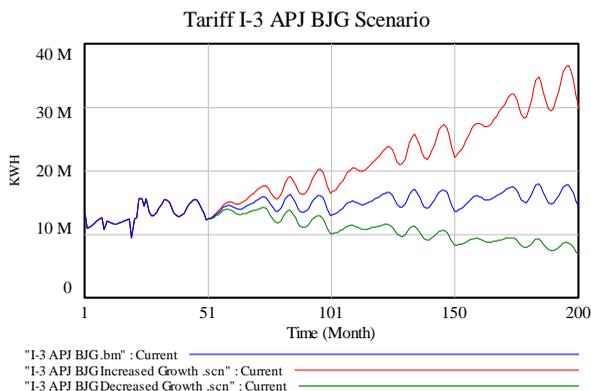
*Demand* tarif I-2 APJ SBU pada Gambar 4.51 menunjukkan skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 21 juta kWh. Sedangkan skenario *most likely* turun mencapai sekitar 15 juta kWh di *time step* 200. Pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 10 juta kWh di *time step* 200.



**Gambar 4.52. Skenario Tarif I-2 Jawa Timur**

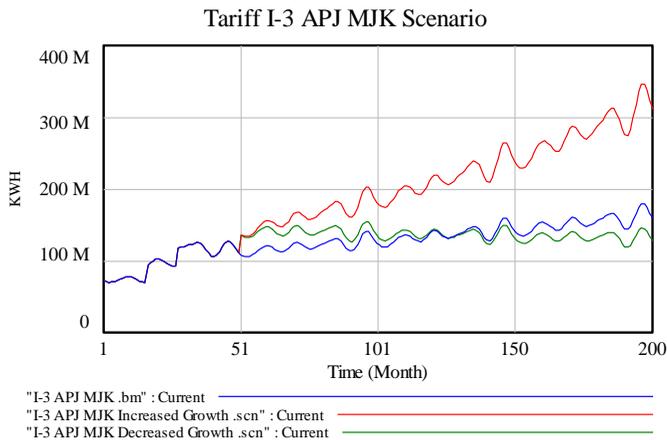
*Demand* tarif I-2 di Jawa Timur pada Gambar 4.52 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 400 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 220 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 150 juta kWh.

### 4.9.3. Skenario Tarif I-3



**Gambar 4.53. Skenario Tarif I-3 APJ BJB**

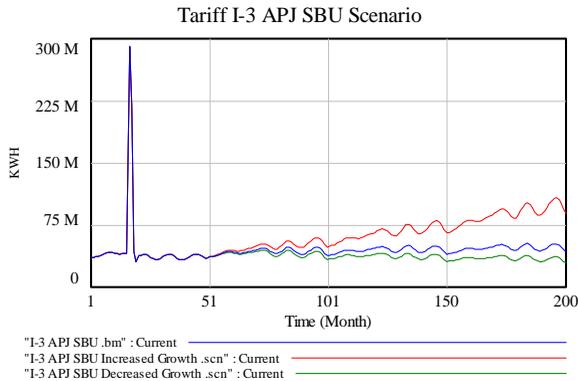
*Demand* tarif I-3 APJ BJK pada Gambar 4.53 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 40 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 16 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 8 juta kWh.



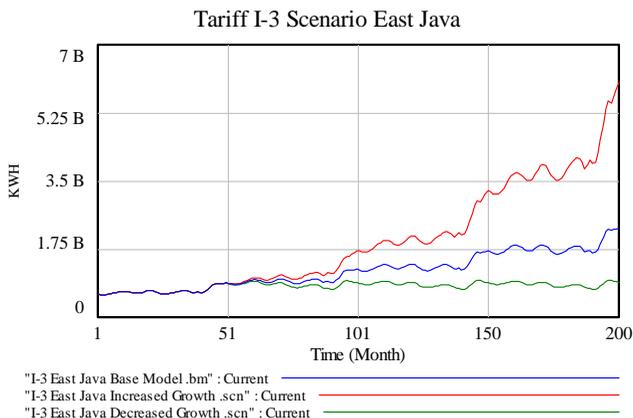
**Gambar 4.54. Skenario Tarif I-3 APJ MJK**

*Demand* tarif I-3 APJ MJK pada Gambar 4.54 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 320 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 175 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 130 juta kWh.

*Demand* tarif I-3 APJ SBU pada Gambar 4.55 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 100 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 55 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 30 juta kWh.



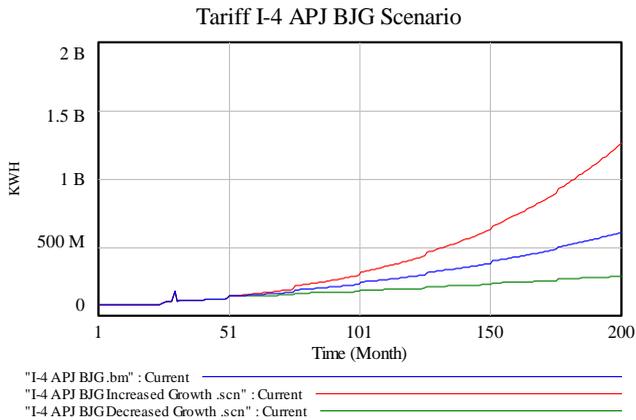
**Gambar 4.55. Skenario Tarif I-3 APJ SBU**



**Gambar 4.56. Skenario Tarif I-3 Jawa Timur**

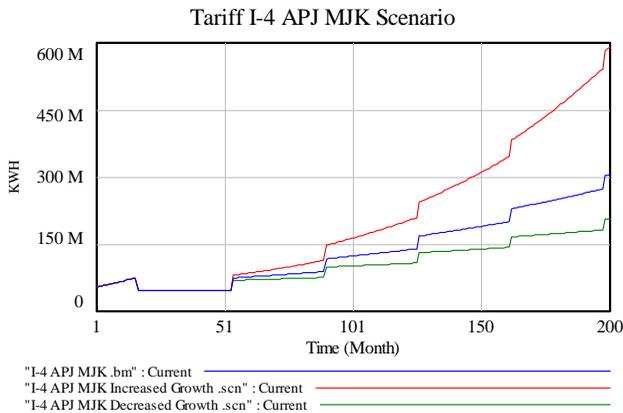
*Demand* tarif I-3 di Jawa Timur pada Gambar 4.56 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 6 miliar kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 2 miliar kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 1 miliar kWh.

#### 4.9.4. Skenario Tarif I-4



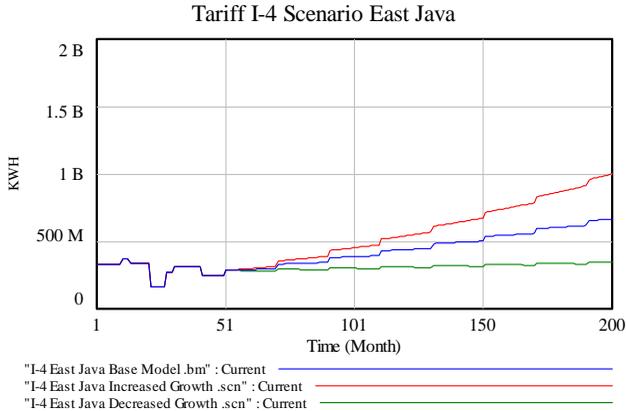
**Gambar 4.57. Skenario Tarif I-4 APJ BJB**

*Demand* tarif I-4 APJ BJB pada Gambar 4.57 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 1,25 miliar kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 650 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 250 juta kWh.



**Gambar 4.58. Skenario Tarif I-4 APJ MJK**

*Demand* tarif I-4 APJ MJK pada Gambar 4.58 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 600 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 300 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 200 juta kWh.

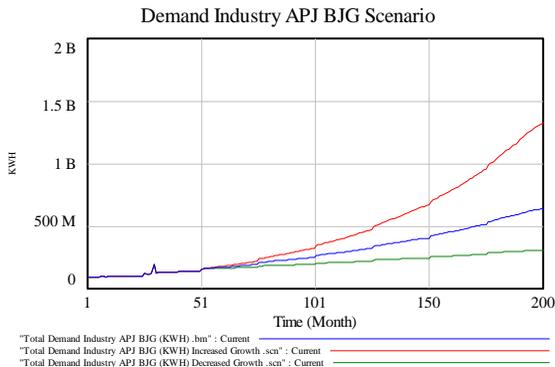


**Gambar 4.59. Skenario Tarif I-4 Jawa Timur**

*Demand* tarif I-4 di Jawa Timur pada Gambar 4.59 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 1 miliar kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 700 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 350 juta kWh.

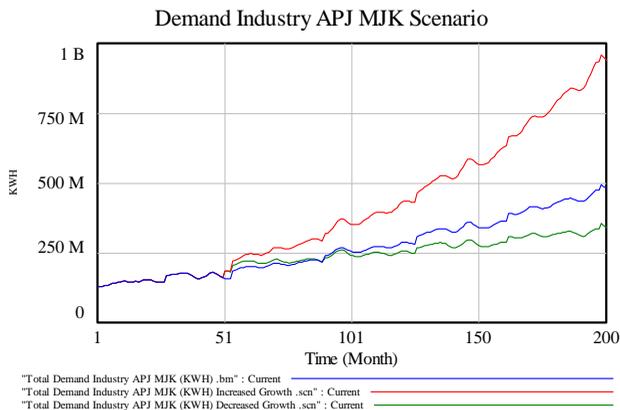
*Demand* pada tarif I-4 merupakan tarif pelanggan sektor industri yang paling tidak bisa diramalkan dengan mempertimbangkan data sekunder berupa data PDRB dikarenakan kemunculan industri besar tidak bisa diprediksi dengan jelas. Sehingga peramalan *demand* tarif I-4 dilakukan dengan meramalkan bahwa industri besar muncul pada tiap jangka waktu dua tahun atau *time step* sebanyak 24 pada model.

#### 4.9.5. Skenario *Demand* Sektor Industri



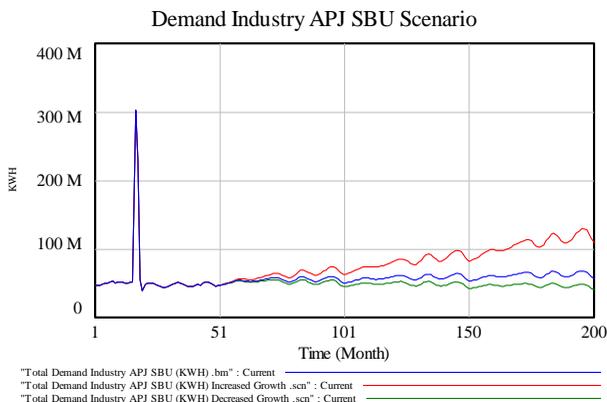
**Gambar 4.60. Skenario *Demand* Industri APJ BJJ**

*Demand* sektor industri APJ BJJ pada Gambar 4.60 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 1,3 miliar kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 650 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 350 juta kWh.

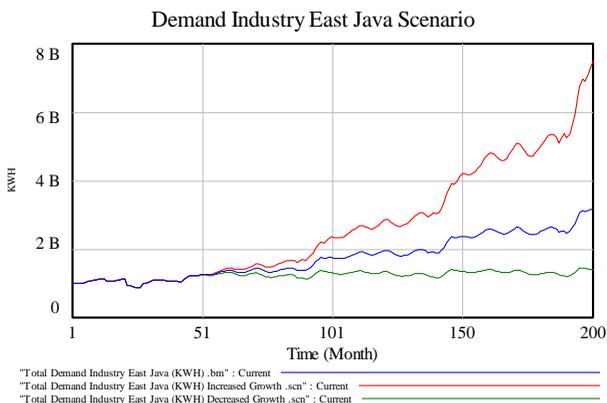


**Gambar 4.61. Skenario *Demand* Industri APJ MJK**

*Demand* sektor industri APJ MJK pada Gambar 4.61 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 925 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 500 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 350 juta kWh.



**Gambar 4.62. Skenario Demand Industri APJ SBU**



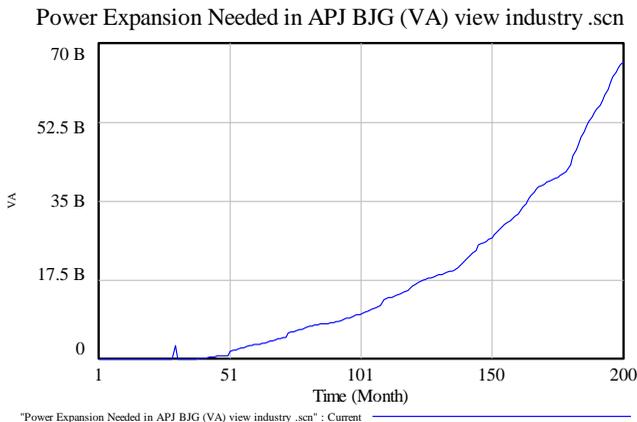
**Gambar 4.63. Skenario Demand Industri Jawa Timur**

*Demand* sektor industri APJ SBU pada Gambar 4.62 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 120 juta kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 60 juta kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 40 juta kWh.

*Demand* sektor industri di Jawa Timur pada Gambar 4.63 pada skenario optimis di *time step* 200 atau pada Agustus 2028 mencapai sekitar 7,5 miliar kWh, skenario *most likely* turun mencapai sekitar 3,2 miliar kWh, sedangkan pada skenario pesimis hanya mencapai sekitar 1,4 miliar kWh.

#### 4.9.6. Skenario *Supply* Sektor Industri

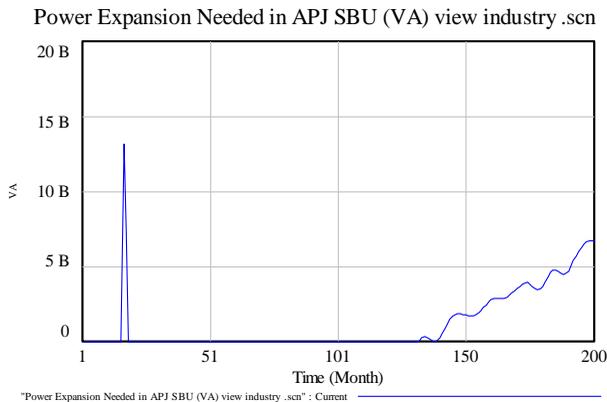
Pertumbuhan *demand* sektor industri dan sektor lainnya menyebabkan gardu induk PLN suatu saat di masa depan tidak akan mampu lagi memenuhi kebutuhan energi listrik pelanggan sektor industri.



**Gambar 4.64. Skenario *Supply* APJ BJJ**

Gambar 4.64 menjelaskan pada *time step* 45 atau pada sekitar September 2015 *supply* di APJ BJJ sudah tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik pelanggan, penanganan sementara yang dilakukan PLN adalah memasok kebutuhan energi listrik tambahan

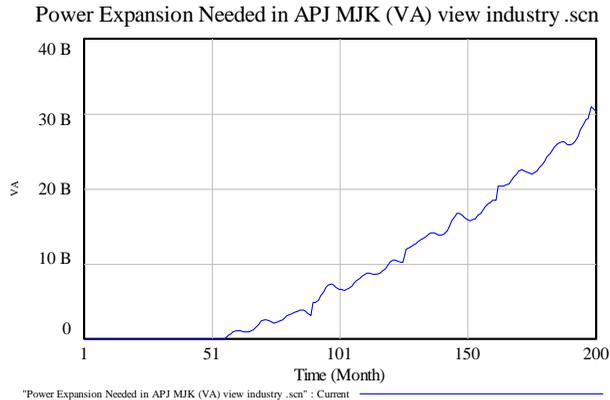
dari gardu induk di APJ sekitar APJ BJB. Sedangkan pada *time step* 200 atau Agustus 2028 terjadi kenaikan tajam hampir 70 miliar VA *supply* tambahan yang dibutuhkan pada APJ BJB, hal ini dikarenakan pesatnya kenaikan kebutuhan dan daerah Bojonegoro dengan tumbuhnya perekonomian lebih baik. Hal ini juga selaras dengan ketersediaan lahan yang masih banyak untuk perindustrian dan sektor lainnya yang menunjang perekonomian yang terus tumbuh. Sedangkan pada APJ SBU dikarenakan daerah metropolitan dikarenakan kenaikan kebutuhan listrik yang tidak terlalu pesat sehingga *supply* tambahan baru dari gardu induk diperlukan pada sekitar 2022 atau *time step* 130 yang ditunjukkan pada Gambar 4.65. Sedangkan pada Agustus 2028 hanya dibutuhkan sekitar 7 miliar VA *supply* tambahan. Pada *time step* 16 sektor industri APJ SBU terjadi anomali kebutuhan energi listrik di sektor industri, yaitu kenaikan 10 kali lipat kebutuhan energi listrik di sektor industri rata-rata. Sehingga penanganan sementara adalah penambahan pasokan dari gardu induk pada APJ di sekitar APJ SBU.



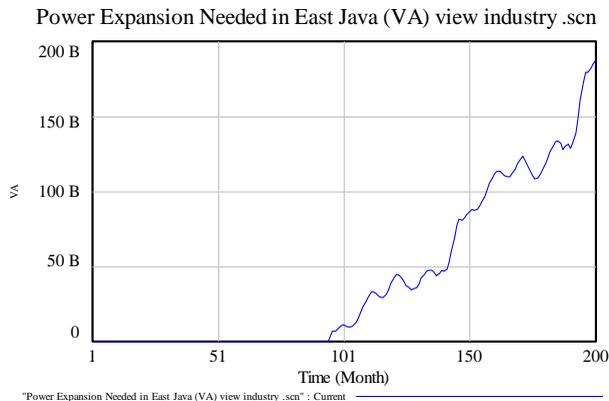
**Gambar 4.65. Skenario Supply APJ SBU**

Gambar 4.66 menjelaskan pada *time step* 58 atau akan terjadi pada sekitar Oktober 2016 *supply* di APJ MJK sudah tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik pelanggan. Pada Agustus 2028

diperlukan ekspansi daya listrik sekitar 30 miliar VA untuk memasok kebutuhan energi listrik pelanggan di APJ MJK.



**Gambar 4.66. Skenario Supply APJ MJK**



**Gambar 4.67. Skenario Supply Jawa Timur**

Gambar 4.67 menjelaskan secara keseluruhan di Jawa Timur pada *time step* 95 atau akan terjadi pada sekitar akhir tahun 2019 *supply* di Jawa Timur sudah tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik pelanggan. Pada Agustus 2028 diperlukan ekspansi daya

listrik hampir 200 miliar VA untuk memasok kebutuhan energi listrik pelanggan di seluruh Jawa Timur. Dengan dimodelkannya skenario *most likely* maka proyeksi kebutuhan listrik di masa depan didapatkan sehingga rencana ekspansi daya dan gardu induk bisa dilakukan dengan matang dan meminimalisir kerugian bagi PLN serta proyeksi ini dapat dijadikan acuan untuk membuat kebijakan tertentu untuk menangani pertumbuhan kebutuhan energi listrik sektor industri yang pesat di Jawa Timur.

#### **4.10. Analisis Perbandingan Simulasi Dinamis dengan Metode DKL 3.2**

Analisis perbandingan simulasi dinamis dengan metode DKL 3.2 dengan membandingkan *error mean comparison* (E1) dan *error variance comparison* (E2) dari simulasi dinamis terhadap data asli dan metode DKL 3.2 terhadap data asli.

Analisis dilakukan pada data *demand* tarif I-1, tarif I-2, tarif I-3, tarif I-4, dan *demand* sektor industri di Jawa Timur. Sebelum membandingkan antara simulasi dinamis dengan metode DKL 3.2, nilai dari *eI* dan *gI* pada rumus proyeksi DKL 3.2 seperti yang sudah dijelaskan pada Persamaan 2.1 harus dicari dari data PDRB industri.

Perhitungan metode DKL 3.2 dilakukan dari data historis PLN yang telah diolah diketahui pertumbuhan permintaan energi listrik di Jawa Timur mencapai 9,5%, dan dari data PDRB diketahui pertumbuhan seluruh PDRB total di Jawa Timur dari tahun awal 2012 terhadap tahun 2013 adalah 11,8%. Sehingga nilai *eI* adalah 8% dan dari data PDRB yang telah diolah diketahui pertumbuhan PDRB sektor industri atau *gI* adalah 10,2%. Data-data tadi dimasukkan dalam Persamaan 2.1 yang merupakan metode DKL 3.2.

Hasil dari perbandingan *error mean comparison* (E1) dan *error variance comparison* (E2) simulasi dinamis dan metode DKL 3.2 pada tarif I-1 dan tarif I-2 di Jawa Timur terdapat pada Tabel 4.58. Sedangkan hasil dari perbandingan *error mean comparison* (E1) dan *error variance comparison* (E2) simulasi dinamis dan

metode DKL 3.2 pada tarif I-3 dan tarif I-4 di Jawa Timur terdapat pada Tabel 4.59. Terakhir hasil dari perbandingan *error mean comparison* (E1) dan *error variance comparison* (E2) simulasi dinamis dan metode DKL 3.2 pada *demand* sektor industri di Jawa Timur terdapat pada Tabel 4.60.

**Tabel 4.58. Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Tarif I-1 dan Tarif I-2**

Tarif I-1		Tarif I-2	
E1		E1	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
0,71%	49,08%	3,55%	31,27%
E2		E2	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
1,67%	52,69%	17,55%	38,23%

**Tabel 4.59. Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Tarif I-3 dan Tarif I-4**

Tarif I-3		Tarif I-4	
E1		E1	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
4,14%	18,06%	0,14%	56,06%
E2		E2	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
0,24%	89,91%	2,88%	50,81%

**Tabel 4.60. Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Demand Sektor Industri**

<i>Demand Sektor Industri</i>	
E1	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2
2,35%	13,87%
E2	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2
1,67%	66,89%

Ketiga Tabel 4.58, Tabel 4.59, dan Tabel 4.60 membuktikan bahwa penerapan simulasi dinamis terhadap proyeksi *demand* atau kebutuhan energi listrik mempunyai dua buah *error*, yaitu E1 dan E2 yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan metode DKL 3.2. Penerapan metode ekonometri dalam simulasi dinamis yang menggunakan data PDRB lebih mendetail pada setiap jenis-jenis industri dibandingkan dengan metode DKL 3.2 yang menggunakan data PDRB industri secara umum serta penggunaan *curve fitting* terhadap data PDRB dalam simulasi dinamis menyebabkan *error* yang didapatkan lebih kecil. Sehingga dengan pembuktian *error* yang lebih kecil, penerapan simulasi dinamis dalam perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik di Jawa Timur pada masa depan lebih terencana dengan baik karena hasil proyeksi kebutuhan energi listrik yang akurat dibandingkan dengan DKL 3.2.

Dapat disimpulkan bahwa metode simulasi dinamis dengan menggabungkan metode ekonometri didalamnya jauh lebih baik dibandingkan metode DKL 3.2 dalam memproyeksi pertumbuhan energi listrik sektor industri di masa depan. Hal ini

dibuktikan bahwa hasil proyeksi metode simulasi dinamis dengan menggabungkan metode ekonometri didalamnya memiliki E1 dan E2 jauh lebih rendah dibandingkan dengan metode DKL 3.2 sehingga metode simulasi dinamis dengan menggabungkan metode ekonometri didalamnya yang menggunakan variabel sekunder berupa variabel eksternal PDRB industri lebih mendetail melakukan pemetaan jenis-jenis industri terhadap tarif-tarif listrik pelanggan sektor industri di PLN lebih baik dibandingkan dengan metode DKL 3.2 yang hanya menggunakan variabel PDRB industri total secara umum.

Sehingga terbukti bahwa penerapan simulasi dinamis dengan dikombinasikan bersama metode ekonometri di dalam ekuasi atau persamaan model simulasi dinamis untuk perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik pada sektor industri dengan studi kasus di Jawa Timur lebih akurat dan mendekati keadaan aslinya dibandingkan dengan metode lama, yaitu DKL 3.2.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*



PT. PLN (PERSERO )  
DISTRIBUSI JAWA TIMUR

**EVALUASI VA TERSAMBUNG TOTAL PER JENIS TARIF TAHUN 2012**

**MOJOKERTO**

GOL. TARIF	R E A L I S A S I											
	JANUARI 3	PEBRUARI 4	MARET 5	APRIL 6	M EI 7	JUNI 8	JULI 9	AGUSTUS 10	SEPT EMBER 11	OKTOBER 12	NOPEMBER 13	DESEMBER 14
I-1 TR s/d 450 VA	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
I-1 TR s/d 900 VA	900	900	900	900	3.600	6.300	8.100	8.100	8.100	8.100	8.100	8.100
I-1 TR 1.300 VA	14.300	14.300	14.300	14.300	15.600	14.300	14.300	14.300	14.300	14.300	14.300	14.300
I-1 TR 2.200 VA	35.200	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	30.800	30.800	30.800	30.800	30.800
I-1 TR 3.500 VA s/d 14 kVA	1.893.000	1.888.600	1.871.000	1.857.800	1.844.600	1.839.000	1.824.800	1.811.600	1.811.600	1.796.400	1.796.400	1.796.400
I-2 TR > 14 kVA s/d 200 kVA	42.325.000	43.639.000	43.841.000	44.453.000	44.857.800	45.990.500	46.526.500	46.748.000	47.374.000	47.506.500	47.826.000	47.900.500
I-3 TM > 200 kVA	288.230.000	263.365.000	268.280.000	272.295.000	282.790.000	285.255.000	284.780.000	299.245.000	300.445.000	307.135.000	312.190.000	313.230.000
I-4 TT 30.000 kVA keatas	160.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000	200.000.000
JUMLAH I	492.498.650	508.941.250	514.040.650	518.654.450	529.518.750	533.137.550	543.182.050	547.873.650	549.694.250	556.508.750	561.866.050	562.980.250

#REF!

PT. PLN (PERSERO )  
DISTRIBUSI JAWA TIMUR

**EVALUASI KWH TERJUHAL TOTAL TAHUN 2012**

**MOJOKERTO**

GOL. TARIF	R E A L I S A S I											
	JANUARI 3	PEBRUARI 4	MARET 5	APRIL 6	M EI 7	JUNI 8	JULI 9	AGUSTUS 10	SEPT EMBER 11	OKTOBER 12	NOPEMBER 13	DESEMBER 14
I-1 TR s/d 450 VA I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1 TR s/d 450 VA II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1 TR s/d 900 VA I	72	72	72	72	272	72	144	123	157	105	170	157
I-1 TR s/d 900 VA II	98	216	101	83	96	113	223	106	118	100	96	67
I-1 TR 1.300 VA	2.270	2.216	2.207	2.102	2.552	2.116	2.143	2.083	1.925	2.268	2.113	2.445
I-1 TR 2.200 VA	3.690	3.287	3.186	3.029	2.915	2.928	2.991	3.158	2.755	3.544	3.217	3.211
I-1 TR 3.500 VA s/d 14 kVA	171.661	176.518	173.404	166.456	169.656	166.774	167.349	153.960	145.048	158.637	161.905	160.203
I-2 TR > 14 kVA s/d 200 kVA	6.116.728	6.238.466	6.008.138	6.599.705	6.421.653	6.812.534	6.753.687	6.835.351	4.991.624	6.503.734	6.713.023	6.679.706
I-3 TM > 200 kVA	72.329.620	68.190.017	64.989.265	70.430.317	69.159.662	70.976.284	69.001.031	72.471.076	57.583.564	72.462.005	71.856.882	73.366.788
I-4 TT 30.000 kVA keatas	54.927.440	61.831.000	56.121.840	68.007.384	77.772.552	72.908.424	68.283.528	70.993.200	73.068.624	83.116.800	72.457.440	65.594.676
JUMLAH I	133.551.079	136.441.687	127.298.213	145.209.148	153.529.360	150.871.245	144.811.096	150.459.067	135.793.815	162.247.193	151.194.845	145.807.253

		EVALUASI VA TERSAMBUNG TOTAL PER JENIS TARIF TAHUN 2012											
		R E A L I S A S I											
		JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PT. PLN (PERSERO)													
DISTRIBUSI JAWA TIMUR													
<b>BOJONEGORO</b>													
I-1 TR sid 450 VA		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1 TR sid 900 VA		3.600	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700
I-1 TR 1.300 VA		14.300	14.300	14.300	14.300	14.300	14.300	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
I-1 TR 2.200 VA		41.800	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000	46.200
I-1 TR 3.500 VA sid 14 kVA		778.900	778.900	785.100	751.100	744.500	726.000	723.400	712.600	706.200	706.200	706.200	697.000
I-2 TR > 14 kVA sid 200 kVA		16.352.500	16.803.000	17.007.500	17.785.000	17.955.000	18.191.500	18.708.000	19.070.000	19.460.500	19.457.000	19.666.500	20.201.000
I-3 TR > 200 kVA		53.330.000	53.570.000	53.570.000	53.810.000	53.810.000	54.860.000	54.860.000	55.125.000	55.125.000	57.855.000	57.855.000	58.200.000
I-4 TT 30.000 kVA keatas		143.000.000	143.000.000	143.000.000	168.000.000	168.000.000	168.000.000	183.000.000	183.000.000	183.000.000	183.000.000	183.000.000	183.000.000
JUNTAH I		213.321.100	214.212.900	214.393.600	240.407.100	235.570.500	230.828.500	237.341.100	237.967.500	238.351.400	261.077.900	261.287.400	262.159.900
PT. PLN (PERSERO)													
DISTRIBUSI JAWA TIMUR													
<b>BOJONEGORO</b>													
		EVALUASI KWH TERJUAL TOTAL TAHUN 2012											
		R E A L I S A S I											
		JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I-1 TR sid 450 VA	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1 TR sid 900 VA	II	187	154	149	142	150	132	149	141	145	154	154	154
I-1 TR 1.300 VA	III	157	143	210	210	139	127	141	136	167	128	147	172
I-1 TR 2.200 VA		2.781	3.037	2.646	2.817	2.853	2.685	2.723	2.561	2.864	2.885	2.693	2.653
I-1 TR 3.500 VA sid 14 kVA		5.948	5.833	5.781	5.666	5.664	5.150	5.473	5.484	5.494	5.633	5.578	5.743
I-2 TR > 14 kVA sid 200 kVA		2.646.209	2.591.450	2.603.624	2.723.112	2.823.910	3.082.964	3.019.690	3.053.504	2.846.745	3.085.043	3.094.671	3.247.705
I-3 TR > 200 kVA		13.284.980	10.963.400	10.981.336	11.016.303	10.480.072	11.909.044	11.204.192	11.523.534	9.612.700	10.931.620	11.767.443	11.454.512
I-4 TT 30.000 kVA keatas		78.765.040	78.422.400	61.572.000	78.787.520	80.420.480	90.923.840	79.988.000	101.015.040	99.771.840	96.427.120	93.723.840	98.553.280
JUNTAH I		94.771.419	92.085.134	75.237.218	92.606.593	93.809.609	105.987.594	94.275.692	115.669.146	112.313.823	110.521.110	108.669.384	113.338.796



PT. PLN (PERSERO ) DISTRIBUSI JAWA TIMUR		EVALUASI VA TERSAMBUNG TOTAL PER JENIS TARIF TAHUN 2013											
		S U R A B A Y A U T A R A											
GOL. TARIF		JANUARI	PEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	I-1 TR sid 450 VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I-1 TR sid 900 VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I-1 TR 1.300 VA	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900
	I-1 TR 2.200 VA	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200
	I-1 TR 3.500 VA sid 14 KVA	3.124.400	3.129.900	3.122.200	3.111.600	3.127.400	3.110.300	3.110.300	3.103.700	3.090.500	3.105.100	3.115.700	3.118.300
	I-2 TR > 14 KVA sid 200 KVA	83.692.500	84.470.000	84.881.000	84.925.000	85.077.000	85.095.500	85.540.500	85.608.500	85.670.500	85.722.000	85.816.000	85.846.500
	I-3 TM > 200 KVA	186.870.000	188.495.000	189.595.000	189.595.000	189.595.000	191.020.000	191.020.000	191.020.000	190.485.000	190.485.000	189.355.000	189.355.000
	I-4 TT 30.000 KVA keatas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	JUMLAH I	273.693.000	276.101.000	277.574.300	277.607.700	277.775.500	279.231.900	279.676.900	279.736.300	279.232.100	279.296.200	278.292.800	278.325.900
PT. PLN (PERSERO ) DISTRIBUSI JAWA TIMUR													
S U R A B A Y A U T A R A		EVALUASI KWH TERJUAL TOTAL TAHUN 2013											
GOL. TARIF		JANUARI	PEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	I-1 TR sid 450 VA I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I-1 TR sid 900 VA II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I-1 TR sid 900 VA I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I-1 TR sid 900 VA II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I-1 TR 1.300 VA	216	348	559	370	476	471	262	220	168	347	194	159
	I-1 TR 2.200 VA	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
	I-1 TR 3.500 VA sid 14 KVA	269.388	276.290	253.129	285.547	285.152	272.604	263.955	237.270	266.885	279.462	290.263	267.362
	I-2 TR > 14 KVA sid 200 KVA	10.858.564	10.368.736	10.415.264	10.818.564	11.016.799	10.611.566	11.152.791	7.061.536	11.170.489	11.437.780	11.107.493	10.845.261
	I-3 TM > 200 KVA	34.132.388	35.294.400	35.721.304	38.669.850	291.894.570	-214.806.150	39.982.244	27.235.934	38.275.934	37.488.758	37.142.088	36.282.037
	I-4 TT 30.000 KVA keatas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	JUMLAH I	45.260.644	45.939.862	46.390.344	49.774.419	303.197.085	-203.921.431	51.399.340	34.535.048	49.712.694	49.206.435	48.540.126	47.395.160



PT PLN (PERSERO)  
DISTRIBUSI JAWA TIMUR

**EVALUASI VA TERSAMBUNG TOTAL PER JENIS TARIF TAHUN 2013**

BOJONEGORO

COL. TARIF	JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	M EI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I-1TR sid 450 VA	0	2.700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1TR sid 900 VA	2.700	2.700	2.700	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	5.400	5.400
I-1TR 1.300 VA	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	10.400	10.400
I-1TR 2.200 VA	46.200	46.200	46.200	46.200	46.200	46.200	46.200	46.200	46.200	46.200	44.000	44.000
I-1TR 3.500 VA sid 14 KVA	683.800	697.000	697.000	697.000	686.400	699.600	726.000	736.000	749.800	749.800	769.600	796.000
I-2 TR > 14 KVA sid 200 KVA	20.624.000	20.802.000	21.440.000	21.441.000	21.644.000	21.772.500	22.009.000	22.378.000	22.624.500	23.082.500	23.981.000	24.309.500
I-3 TM > 200 KVA	58.785.000	58.995.000	58.995.000	60.725.000	61.070.000	62.040.000	62.040.000	64.565.000	64.880.000	65.225.000	66.980.000	66.920.000
I-4 TT 30.000 Kva keatas	183.000.000	183.000.000	183.000.000	183.000.000	186.000.000	186.000.000	186.000.000	186.000.000	186.000.000	186.000.000	186.000.000	186.000.000
JUMLAH I	263.154.700	263.555.900	264.193.900	265.925.800	269.463.200	270.574.900	270.837.800	273.742.400	274.317.100	89.120.100	91.492.600	92.085.300

PT PLN (PERSERO)  
DISTRIBUSI JAWA TIMUR

**EVALUASI KWH TERJUAL TOTAL TAHUN 2013**

BOJONEGORO

COL. TARIF	JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	M EI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I-1TR sid 450 VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1TR sid 900 VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1TR sid 1.300 VA	308	329	236	397	245	311	312	285	300	386	630	450
I-1TR 1.300 VA	2.492	2.732	2.019	2.810	2.586	2.577	2.877	2.637	2.637	2.628	2.365	2.346
I-1TR 2.200 VA	5.185	5.622	4.835	5.248	5.104	5.231	5.716	5.860	5.806	5.908	6.034	5.836
I-1TR 3.500 VA sid 14 KVA	3.045.487	3.046.985	3.473.809	3.006.635	3.723.321	3.570.287	3.334.253	3.002.121	3.489.547	3.877.427	4.185.476	4.042.586
I-2 TR > 14 KVA sid 200 KVA	10.336.653	10.937.100	12.306.300	12.168.374	12.552.689	12.930.844	12.930.844	13.200.348	12.910.706	13.200.348	16.186.156	16.296.490
I-3 TM > 200 KVA keatas	111.834.230	102.729.315	118.726.844	98.662.232	128.911.774	114.377.203	119.794.354	107.177.025	120.577.966	17.162.966	20.471.818	20.408.716
JUMLAH I	111.834.230	102.729.315	118.726.844	98.662.232	128.911.774	114.377.203	119.794.354	107.177.025	120.577.966	17.162.966	20.471.818	20.408.716

		EVALUASI VA TERSAMBUNG TOTAL PER JENIS TARIF TAHUN 2013											
		R E A L I S A S I											
		JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	M EI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPT EMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PT PLN (PERSERO)													
DISTRIBUSI JAWA TIMUR													
GABUNGAN													
GOL. TARIF		1											
I-1-TR	≤ 60 VA	4.950	4.950	4.950	5.400	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950
I-1-TR	≤ 90 VA	45.900	45.900	46.800	48.600	48.600	48.600	48.600	46.800	48.600	47.700	49.500	51.300
I-1-TR	1.300 VA	113.000	113.000	114.000	114.000	115.700	114.000	114.000	114.000	114.000	114.000	110.500	107.800
I-1-TR	3.500 VA s/d 14 kVA	24.565.900	24.629.000	24.654.900	24.788.800	24.883.700	24.818.200	24.883.200	24.885.500	24.919.700	24.944.100	24.974.700	25.047.200
I-2-TR	> 14 kVA s/d 200 kVA	697.759.000	702.029.000	706.077.500	709.338.000	712.335.500	715.051.000	719.555.000	721.740.000	725.688.000	730.391.000	734.109.500	736.084.500
I-3-TM	> 200 kVA	2.749.094.000	2.759.094.000	2.842.544.000	2.882.544.000	2.893.694.000	2.967.104.000	2.982.629.000	3.005.499.000	3.035.359.000	3.048.729.000	3.099.849.000	3.114.089.000
I-4-TT	30.000 kVA Reses	841.540.000	854.540.000	796.540.000	806.540.000	769.540.000	729.540.000	799.540.000	729.540.000	729.540.000	543.540.000	543.540.000	543.540.000
JUMLAH 1		4.313.988.950	4.340.922.700	4.370.457.750	4.426.150.400	4.481.002.850	4.437.020.950	4.457.578.750	4.482.269.250	4.516.132.400	4.348.220.350	4.403.091.950	4.419.370.950
PT PLN (PERSERO)													
DISTRIBUSI JAWA TIMUR													
GABUNGAN													
GOL. TARIF		1											
		EVALUASI KWH TERJUAL TOTAL TAHUN 2013											
		R E A L I S A S I											
		JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	M EI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPT EMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I-1-TR	≤ 60 VA	426	625	487	729	778	501	797	613	501	623	615	600
I-1-TR	≤ 90 VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-1-TR	1.300 VA	4.262	4.762	4.551	4.893	4.858	5.212	5.171	4.511	4.932	4.948	5.642	5.405
I-1-TR	2.200 VA	14.410	14.816	15.271	16.300	15.900	15.620	14.520	14.500	16.260	15.730	15.760	16.300
I-1-TR	3.500 VA s/d 14 kVA	42.235	40.334	58.663	49.347	48.005	48.126	48.334	48.811	59.597	48.722	48.091	46.861
I-1-TR	> 14 kVA s/d 200 kVA	98.242.112	2.073.148	2.010.072	2.203.981	2.146.487	2.073.054	2.066.009	1.916.802	2.101.663	2.137.923	2.265.362	2.094.012
I-2-TR	> 200 kVA	63.125.278	608.346.589	672.488.804	694.890.520	973.120.542	100.898.715	104.871.102	75.575.319	103.646.868	106.867.026	103.884.310	103.609.441
I-4-TT	30.000 kVA Reses	344.469.301	300.730.951	321.546.695	290.897.720	306.552.932	283.292.940	289.537.938	232.941.626	288.028.723	188.841.028	179.277.984	199.811.501
JUMLAH 1		1.076.063.329	1.009.566.291	1.102.473.984	1.094.376.413	1.367.253.760	841.008.776	1.192.572.945	976.900.493	1.148.259.962	1.028.945.108	1.098.472.768	997.019.294

BEBAN TRAFU dan PENYULANG GARDU INDUK

AREA TENGAH

No GI	GARDU INDUK	Trafo		Kabel Incoming Trafo & Outgoing Penyulang		L/R SCADA	L set (Amp)	APJ	Beban Trafo & Penyulang Tertinggi						Tertinggi	Rata-rata			
		No Trf	Se Dampak [KV]	Jenis	No				Inc	Pr	Inc	Sing (Amp)	Mim (Amp)	Tgl			% I Nom	% I Set	Sing (Amp)
1	ALTA PRIMA	1	150 / 20 / 30			R	866	SBU		679	8	545	20	78.4		496	419	679	457
					1	Segara Intermusa	R		320 SBU	84	11	63	16		25.3	62	43	84	52
					2	Cooper	R		320 SBU	140	3	97	15		43.8	88	56	140	72
					3	PVC	R		320 SBU	127	30	94	29		39.7	48	26	127	37
					4	Palunesia	R		320 SBU	55	31	55	14		17.2	24	17	55	21
					5	Izzuka 1	R		320 SBU	90	31	90	14		28.1	49	43	90	46
					6	Berkat bersama	R		320 GSK	185	7	160	14		57.8	105	69	185	87
					7	Wenang Sakti	R		320 GSK										0
			8	Pakal	R		320 SSS	200	10	259	10		80.9	141	179	259	160		
2	BABADAN	2	150 / 20 / 60			R	1732	SBU		709	14	715	24	41.3		534	429	715	481
					1	SSG 1	R		400 SBB	5	3	5	2		1.3	4	5	4	
					2	GH Tandono	R		400 SBS	187	4	179	2		46.8	136	129	187	133
					3	Sukorejo	R		400 GSK	236	18	198	28		59.0	177	137	236	157
					4	Ngasinan	R		400 SBB	259	2	256	14		64.8	150	103	259	126
					5	SSG 2	R		400 SBB	128	21	114	24		32.0	54	39	128	46
					6	Teluk Lamong 2	R		400 SBU	5	1	5	1		1.3	5	5	5	5
			7	Teluk Lamong 1	R		400 SBU	5	1	6	23		1.5	5	5	6	5		
2	BABADAN	1	150 / 20 / 50			R	1443	SBB		1300	1	1089	16	90.1		947	736	1300	842
					1	Wilayut	R		400 SDA	330	22	286	21		82.5	251	212	330	231
					2	Kelopo Sepuluh	R		400 SBB	78	12	87	15		21.8	64	67	87	66
					3	Pakaritiken 1	R		400 SDA	346	23	248	15		86.5	159	96	346	128
					4	Jatisuna	R		400 SBB	88	23	156	2		39.0	32	27	156	30
					5	Jemurido	R		400 SBB	215	1	165	16		53.8	130	103	215	126
					6	Gilang	R		400 SBB	221	19	160	3		55.3	97	72	221	84
					7	Beringin Bendo	R		400 SBB	231	7	211	16		57.8	170	143	231	157
			8	Garuda Food	R		400 SBB	72	20	185	3		46.3	25	33	185	29		

**Produk Domestik Regional Bruto Triwilanan Jawa Timur Menurut Lapangan Usaha**  
**Atas Dasar Harga Beraku Tahun 2011**  
**(Juta Rupiah) \***

No.	Sektor/Subsektor	Triwilanan				
		I	II	III	IV	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<b>I.</b>	<b>Pertanian</b>	<b>38,750,315.01</b>	<b>34,472,728.82</b>	<b>33,943,896.73</b>	<b>28,860,979.08</b>	<b>136,027,919.63</b>
1.1.	Tanaman Bahan Makanan	24,748,615.34	19,561,779.58	15,175,550.74	11,912,073.13	71,398,018.78
1.2.	Tanaman Perkebunan	3,295,200.10	3,730,825.51	6,589,205.99	4,454,147.34	18,069,378.93
1.3.	Peternakan	6,149,814.01	6,136,594.81	6,893,523.35	7,317,364.69	26,497,296.85
1.4.	Kehutanan	726,196.48	859,199.20	813,895.56	659,853.12	3,059,144.36
1.5.	Perikanan	3,830,489.10	4,184,329.71	4,471,721.09	4,517,540.81	17,004,080.71
<b>II.</b>	<b>Pertambangan Dan Penggalian</b>	<b>4,307,552.06</b>	<b>5,043,815.85</b>	<b>5,168,601.22</b>	<b>5,274,089.88</b>	<b>19,794,059.02</b>
2.1.	Pertambangan Migas	812,787.87	1,047,145.11	1,131,768.84	1,077,044.47	4,068,746.29
2.2.	Pertambangan Non Migas	445,934.92	452,898.72	470,037.99	474,246.30	1,843,117.92
2.3.	Penggalian	3,048,829.27	3,543,772.02	3,566,794.39	3,722,799.11	13,882,194.80
<b>III.</b>	<b>Industri Pengolahan</b>	<b>56,458,689.26</b>	<b>58,599,672.12</b>	<b>60,641,330.93</b>	<b>64,144,828.04</b>	<b>239,844,520.36</b>
3.1.	Makanan Minuman dan Tembakau	31,512,483.01	32,807,488.11	33,750,937.89	35,530,187.68	133,601,096.70
3.2.	Tekstil, Barang dari Kulit & Alas Kaki	1,855,945.11	1,881,762.91	2,062,663.05	2,131,278.68	7,931,649.75
3.3.	Barang dari Kayu & Hasil Hutan lain	2,030,812.95	2,091,261.24	2,215,780.88	2,335,477.03	8,673,332.09
3.4.	Kertas dan Barang Cetak	7,857,692.39	8,205,953.59	8,029,009.10	7,960,988.88	32,053,643.96
3.5.	Pupuk, Kimia dan Barang dari Karet	4,638,911.37	4,689,646.33	5,095,342.80	5,314,090.06	19,737,990.55
3.6.	Semen dan Barang Galian bukan Logam	2,265,684.09	2,204,919.90	2,347,707.25	2,529,672.24	9,347,983.48
3.7.	Logam dasar besi dan baja	3,014,661.41	3,173,320.30	3,227,290.78	3,335,706.41	12,750,978.91
3.8.	Alat Angkutan Mesin & Peralatannya	2,097,464.06	2,259,537.43	2,371,925.11	3,176,440.02	9,905,366.61
3.9.	Barang lainnya	1,185,034.86	1,285,782.31	1,540,674.08	1,830,987.05	5,842,478.30

**Produk Domestik Regional Bruto Triwulanan Jawa Timur Menurut Lapangan Usaha**  
**Atas Dasar Harga Berlaku Tahun 2012**

(Juta Rupiah) \*

No.	Sektor/Subsektor	Triwulanan				Total
		I (3)	II (4)	III (5)	IV (6)	
<b>I.</b>	<b>Pertanian</b>	<b>43,725,861.71</b>	<b>39,487,255.69</b>	<b>38,944,818.74</b>	<b>31,781,999.36</b>	<b>153,939,935.50</b>
1.1.	Tanaman Bahan Makanan	27,756,110.27	22,029,894.73	17,555,482.49	12,744,535.16	80,086,022.65
1.2.	Tanaman Perkebunan	3,749,556.12	4,308,303.60	7,352,265.70	4,920,169.82	20,330,295.23
1.3.	Peternakan	6,826,729.84	7,186,456.46	7,857,282.14	8,311,826.35	30,182,294.79
1.4.	Kehutanan	965,182.62	1,130,550.21	1,146,553.17	855,517.73	4,097,803.72
1.5.	Perikanan	4,428,282.87	4,832,050.70	5,033,235.24	4,949,950.31	19,243,519.11
<b>II.</b>	<b>Pertambangan Dan Penggalian</b>	<b>4,748,089.21</b>	<b>5,271,752.82</b>	<b>5,378,620.22</b>	<b>5,477,832.52</b>	<b>20,876,294.76</b>
2.1.	Pertambangan Migas	966,748.31	1,002,645.02	982,670.81	976,952.74	3,929,016.88
2.2.	Pertambangan Non Migas	487,386.62	446,827.18	459,451.36	452,591.75	1,846,256.91
2.3.	Penggalian	3,293,954.27	3,822,280.62	3,936,498.05	4,048,288.03	15,101,020.97
<b>III.</b>	<b>Industri Pengolahan</b>	<b>63,039,464.29</b>	<b>65,855,481.50</b>	<b>69,938,183.85</b>	<b>72,762,827.09</b>	<b>271,595,956.73</b>
3.1.	Makanan Minuman dan Tembakau	35,301,071.88	37,250,547.07	39,700,545.52	41,150,154.98	153,402,319.45
3.2.	Tekstil, Barang dari Kulit & Alas Kal	2,099,504.87	2,074,615.96	2,286,087.76	2,372,040.12	8,832,248.70
3.3.	Barang dari Kayu & Hasil Hutan lain	2,113,529.59	1,971,649.29	2,277,485.77	2,394,676.61	8,757,341.26
3.4.	Kertas dan Barang Cetakan	8,761,838.44	9,225,157.91	9,110,306.37	8,735,917.95	35,833,220.67
3.5.	Pupuk, Kimia dan Barang dari Karet	5,203,049.89	5,269,705.49	6,050,786.61	6,344,091.20	22,867,633.19
3.6.	Semen dan Barang Galian bukan Log	2,604,961.20	2,509,864.12	2,496,665.08	2,804,539.64	10,416,030.04
3.7.	Logam dasar besi dan baja	3,322,542.89	3,647,157.61	3,873,796.25	4,103,421.22	14,946,917.97
3.8.	Alat Angkutan Mesin & Peralatannya	2,349,081.02	2,508,644.59	2,596,534.43	3,063,512.32	10,517,772.36
3.9.	Barang lainnya	1,283,884.51	1,398,139.46	1,545,976.07	1,794,473.06	6,022,473.10

Produk Domestik Regional Bruto Triwilanan Jawa Timur Menurut Lapangan Usaha  
Atas Dasar Harga Berlaku Tahun 2013  
(Juta Rupiah) \*\*

No.	Sektor/Subsektor	Triwilanan					Total
		I	II	III	IV	(7)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
<b>I.</b>	<b>Pertanian</b>	<b>47,624,496.89</b>	<b>42,949,233.11</b>	<b>43,489,365.17</b>	<b>35,194,633.87</b>	<b>169,257,729.04</b>	
1.1.	Tanaman Bahan Makanan	29,843,951.20	24,004,616.42	19,938,266.89	14,158,793.29	87,945,627.79	
1.2.	Tanaman Perkebunan	4,079,151.38	4,483,920.79	8,009,779.54	5,486,577.02	22,059,428.73	
1.3.	Peternakan	7,664,523.90	7,857,762.07	8,644,668.84	9,078,293.50	33,245,248.31	
1.4.	Kehutanan	1,110,454.31	1,226,528.32	1,248,646.73	1,002,591.52	4,588,220.88	
1.5.	Perikanan	4,926,416.10	5,376,405.51	5,648,003.18	5,468,378.54	21,419,203.34	
<b>II.</b>	<b>Pertambangan Dan Penggalian</b>	<b>5,006,378.03</b>	<b>5,632,723.77</b>	<b>5,950,247.81</b>	<b>6,080,765.52</b>	<b>22,670,115.12</b>	
2.1.	Pertambangan Migas	899,969.42	1,047,733.26	1,096,480.85	1,091,797.87	4,135,981.39	
2.2.	Pertambangan Non Migas	519,114.29	495,998.01	518,127.67	527,926.93	2,061,166.91	
2.3.	Penggalian	3,587,294.32	4,088,992.50	4,335,639.29	4,461,040.72	16,472,966.82	
<b>III.</b>	<b>Industri Pengolahan</b>	<b>69,333,328.80</b>	<b>73,676,829.11</b>	<b>77,670,919.66</b>	<b>81,630,857.96</b>	<b>302,311,935.53</b>	
3.1.	Makanan Minuman dan Tembakau	39,460,557.38	42,275,682.88	44,809,264.25	46,696,869.13	173,242,373.65	
3.2.	Tekstil, Barang dari Kulit & Alas kaki	2,302,791.75	2,330,724.65	2,502,868.22	2,630,144.13	9,766,528.75	
3.3.	Barang dari Kayu & Hasil Hutan lain	2,299,366.62	2,363,991.76	2,461,156.87	2,636,329.54	9,760,844.80	
3.4.	Kertas dan Barang Cetakan	9,024,349.67	9,838,960.77	10,004,377.92	10,055,804.15	38,923,492.50	
3.5.	Pupuk, Kimia dan Barang dari Karet	6,106,646.81	6,017,161.66	6,636,452.09	7,174,852.02	25,935,112.58	
3.6.	Semen dan Barang Galian bukan Logam	2,841,022.91	3,039,655.01	2,959,510.17	3,135,311.40	11,975,499.49	
3.7.	Logam dasar besi dan baja	3,446,904.93	3,786,680.81	4,007,465.43	4,268,546.71	15,509,597.88	
3.8.	Alat Angkutan Mesin & Peralatannya	2,424,301.92	2,519,161.65	2,712,628.46	3,132,382.32	10,788,474.36	
3.9.	Barang lainnya	1,427,386.82	1,504,809.92	1,577,196.24	1,900,618.56	6,410,011.54	

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan diberikan kesimpulan yang diperoleh selama pengerjaan tugas akhir dan saran mengenai pengembangan yang dapat dilakukan terhadap tugas akhir ini di masa yang akan datang.

#### **5.2. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan selama proses pengerjaan tugas akhir, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Simulasi dinamis terhadap model perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur telah berhasil dikembangkan. Hasil validasi yang dilakukan terhadap parameter kebutuhan atau *demand* energi listrik pada beberapa APJ dan total di Jawa Timur pada setiap tarif dan total sektor industri, kesemuanya memiliki hasil bagus dan memenuhi standar, yaitu *error mean comparison* ( $E1$ ) $<5\%$  dan *error variance comparison* ( $E2$ ) $<30\%$ .
2. Proyeksi atau peramalan terhadap *demand* sektor industri telah berhasil dilakukan pada setiap tarif di beberapa APJ dan di Jawa Timur sampai tahun 2028.
3. Perilaku pertumbuhan *demand* energi listrik sektor industri berhasil diketahui dengan mengkombinasikan metode ekonometri dengan simulasi dinamis terhadap model. Pemetaan pengaruh PDRB industri terhadap *demand* tarif-tarif sektor industri berhasil diketahui juga.
4. Ketiga skenario model yaitu skenario optimis, skenario *most likely*, dan skenario pesimis telah dikembangkan dalam penelitian ini. Ketiga skenario tersebut dikembangkan pada setiap *demand* tarif pada beberapa APJ dan total di Jawa Timur dengan skenario *most likely*

- merupakan skenario yang paling sesuai data historis untuk proyeksi pertumbuhan energi listrik di masa depan.
5. Perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri di Jawa Timur dapat dimodelkan dengan simulasi dinamis untuk perencanaan penambahan kekurangan pasokan energi listrik di masa depan.
  6. Hasil proyeksi simulasi dinamis yang dikombinasikan dengan metode ekonometri memiliki hasil lebih akurat dibandingkan metode proyeksi terdahulu yaitu metode DKL 3.2.

### **5.3. Saran**

Berikut merupakan beberapa saran untuk pengembangan simulasi dinamis atau metode lain terhadap penelitian lebih lanjut pada sistem. Saran-saran ini didasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini.

1. Penelitian memiliki keterbatasan penggunaan data dengan hanya menghubungkan dengan faktor ekonomi yaitu PDRB, sehingga untuk penelitian di masa depan diharapkan bisa memasukkan faktor-faktor eksternal lainnya terhadap model perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor industri.
2. Keterbatasan detail faktor-faktor serta variabel yang terdapat pada model dikarenakan keterbatasan data yang didapatkan terkendala masalah perizinan data, sehingga penelitian selanjutnya diharapkan mengembangkan model pada tugas akhir ini lebih detail dengan data-data yang lebih detail pula.
3. Diharapkan pengembangan lebih lanjut terhadap metode simulasi dinamis dengan menerapkannya pada studi kasus di daerah lain agar bisa dijadikan perbandingan sehingga bisa lebih baik pada penelitian dengan menggunakan simulasi dinamis di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN Distribusi, Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2015-2024, Surabaya: PT. PLN, 2015.
- [2] R. Sarno dan N. Fajri Ariyani, Optimasi Penempatan Gardu Induk Menggunakan Metode P-Median dan Voronoi Diagram, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2008.
- [3] A. Momodu, T. O. Oyebisi dan T. O. Obilade, “Modelling the Nigeria’s Electric Power System to Evaluate its Long-Term Performance,” *The 30th International Conference of the System Dynamics Society*, 2012.
- [4] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “Statistik Ketenagalistrikan 2014,” Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2015.
- [5] PT. PLN, Distribusi, “Data Penjualan Energi Listrik dan Gardu Induk,” PT. PLN, Surabaya, 2016.
- [6] T. Sorasalmi, Dynamic Modeling of Household Electricity Consumption, Espoo, Finlandia: Aalto University, 2012.
- [7] E. Suryani, C. Shou-Yan dan C. Chih-Hsien, “Dynamic Simulation Model of Air Cargo Demand Forecast and Terminal Capacity Planning,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 28, pp. 27-41, 2012.
- [8] T. Jager, S. Schimdt dan U. Karl, “A System Dynamics Model for the German Electricity Market Model Development and Application,” *International Conference on Policy Modeling*, 2009.
- [9] Badan Pusat Statistik, “Berita Resmi Statistik No. 13/02/Th. XIII,” Badan Pusat Statistik, Surabaya, 2015.
- [10] D. T. Wahyuni, Pendekatan Model Ekonometri untuk Peramalan Kebutuhan Listrik Periode 2005-2015 di Wilayah

Malang, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2005.

- [11] L. Cimpian, E. Lazar dan M. Rozalia Gabor, “Econometric Modelling of Influence on Turnover Concerning Indicators of Information Society Across the European Union,” *Emerging Markets Queries in Finance and Business*, vol. 15, pp. 1578-1586, 2014.
- [12] R. K. Dewayana P, Hermawan dan Karnoto, *Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik di Jawa Tengah Menggunakan Perangkat Lunak Leap dan Model DKL 3.2*, Semarang: Universitas Diponegoro, 2009.

## DAFTAR SIMBOL

$\bar{S}$	:	rata-rata dari data model.
$\bar{A}$	:	rata-rata dari data asli.
$S_s$	:	standar deviasi dari data model.
$S_A$	:	standar deviasi dari data asli.
$E1$	:	<i>error mean comparison.</i>
$E2$	:	<i>error variance comparison.</i>
$P$	:	daya terpasang pelanggan, yaitu daya maksimal yang dapat digunakan pelanggan tersebut.
$V$	:	tegangan listrik maksimal yang didapat pada semua peralatan listrik atau elektronik pelanggan dalam satu waktu.
$I$	:	arus listrik maksimal yang mengalir di kabel listrik pelanggan saat peralatan elektronik digunakan.
$P_a$	:	daya aktif, yaitu secara nyata benar-benar digunakan oleh beban kebutuhan listrik dari peralatan elektronik pelanggan. Satuan dari daya aktif adalah <i>watt</i> .
$\cos \varphi$	:	faktor daya atau sudut fasa dari penggunaan listrik, nilai $\cos \varphi$ pada daya aktif PLN normalnya adalah 0,8.
kWh	:	kilo Watt hour, yaitu satuan energi listrik.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*



## BIODATA PENULIS

Penulis, **Argyanto Dimas Ningpramuda**, lahir di Magetan, 15 Mei 1994. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 1 Pandeyan, Magetan. Melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Maospati, Magetan dan selanjutnya di SMA Negeri 1 Madiun. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi dan Informasi, Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah penulis aktif menjadi dalam organisasi tingkat jurusan dan kegiatan diluar perkuliahan lainnya. Dalam menyelesaikan pendidikan S1, penulis mengambil bidang minat Manajemen Informasi (MI) dan memiliki ketertarikan di bidang *Data Mining* dan *Enterprise Resource Planning*. Penulis dapat dihubungi melalui email: [argyantodimasn@gmail.com](mailto:argyantodimasn@gmail.com) atau [argyanto12@mhs.if.its.ac.id](mailto:argyanto12@mhs.if.its.ac.id).