



TESIS - KS142501

***Model Driven-Decision Support Systems
(MD-DSS) untuk Strategi Pengembangan
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya
sebagai Alternatif Energi untuk Kebutuhan
Listrik***

(Studi Kasus: Pulau Madura, Jawa Timur)

LILIA TRISYATHIA QUENTARA
5214201022

DOSEN PEMBIMBING
Erma Suryani, ST, MT, Ph.D.
NIP. 19700427 200501 2 001

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN SISTEM INFORMASI
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



TESIS - KS142501

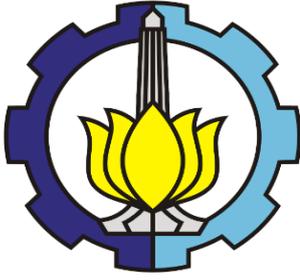
Model Driven-Decision Support Systems (MD-DSS) untuk Strategi Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Alternatif Energi untuk Kebutuhan Listrik

(Studi Kasus: Pulau Madura, Jawa Timur)

LILIA TRISYATHIA QUINTARA
5214201022

DOSEN PEMBIMBING
Erma Suryani, ST, MT, Ph.D.
NIP. 19700427 200501 2 001

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN SISTEM INFORMASI
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - KS142501

***Model Driven-Decision Support Systems
(MD-DSS) for Strategy Development
Photovoltaic Power Plant as Alternative
Energy for Electricity Needs
(Case Study: Madura Island, East Java)***

LILIA TRISYATHIA QUENTARA
5214201022

SUPERVISOR
Erma Suryani, ST, MT, Ph.D.
NIP. 19700427 200501 2 001

MAGISTER PROGRAMME
MAJOR IN INFORMATION SYSTEM
FAKULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M. Kom)

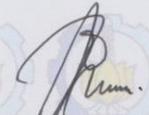
di
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Oleh :
Lilia Trisyathia Qentara
NRP 5214201022

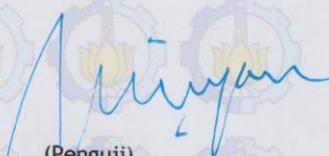
Tanggal Ujian : 8 November 2016
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui Oleh:

1. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph. D
NIP. 19700427 200501 2 001


(Pembimbing)

2. Dr. Ir. Aris Tjahyanto, M. Kom
NIP. 19650310 199102 1 001


(Penguji)

3. Dr. Apol Pribadi S., S.T., M.T.
NIP. 19700225 200912 1 001


(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001



[halaman ini sengaja dikosongkan]

***Model Driven Decision Support Systems (MD-DSS) untuk
Strategi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya
sebagai Alternatif Energi untuk Kebutuhan Listrik
(studi kasus: Pulau Madura, Jawa Timur)***

Nama mahasiswa : Lilia Trisyathia Quentara
NRP : 5214201022
Pembimbing : Erma Suryani, ST, MT, Ph.D.

ABSTRAK

Pada awal tahun 2015, menurut BPS masih terdapat 15,40% desa yang belum dialiri listrik yang tersebar di 511 kabupaten/kota di 33 propinsi. Rasio elektrifikasi tahun 2015 di Jawa Timur baru mencapai 83,14%, dikarenakan di Pulau Madura hanya 59,02% yang telah mendapat pasokan daya listrik dari PT. PLN (Persero). Sebanyak 50 desa di Kabupaten Bangkalan, 78 desa di Kabupaten Sampang, 58 desa di Kabupaten Pamekasan, dan 32 desa di Kabupaten Sumenep sampai awal tahun 2016 masih belum dapat menikmati fasilitas listrik. Topografi Madura dimana jarak per desa saling berjauhan, kecilnya jumlah rumah tangga dalam satu desa, serta infrastruktur jalan ke desa yang belum memadai menjadi kendala utama dalam membangun investasi untuk infrastruktur kelistrikan. Bahkan di kepulauan Kangean dan Sapudi saat ini hanya mendapat pasokan listrik selama 12 jam setiap harinya. Masalah utama dalam sistem operasional kelistrikan Indonesia adalah bagaimana memenuhi *supply* dan *demand* tenaga listrik dan menjaga kontinuitas pelayanan yang efektif dan efisien untuk pelanggan di NKRI, khususnya wilayah kepulauan yang jauh dari sumber pembangkit.

Dari permasalahan diatas, maka dibutuhkan sistem kelistrikan solusi jangka panjang yang mampu meningkatkan peranan energi baru dan terbarukan, meningkatkan keandalan, keamanan dan efisiensi, mengurangi biaya energi, dan dapat pulih dengan cepat dari *blackout*. Efisiensi dan efektivitas sistem operasional listrik diharapkan dapat secara *realtime* meningkatkan kesinambungan pasokan daya listrik di Madura dengan memanfaatkan potensi sumber daya yang dimiliki dari energi baru dan terbarukan seperti energi surya untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metode yang digunakan untuk menganalisa sistem operasional kelistrikan adalah dengan merumuskan model skenario yang mengidentifikasi faktor-faktor dan variable-variabel yang mempengaruhi sistem untuk selanjutnya akan disimulasikan dengan metode sistem dinamis.

Penelitian ini mengembangkan Model Driven-Decision Support System (MD-DSS) dalam bentuk *dashboard* yang menggambarkan data historis dan model skenario dalam bentuk visualisasi sehingga dampak dan pengaruh dari faktor-faktor yang menjadi kendala dan hambatan kelancaran pasokan listrik di wilayah

kepulauan Madura dapat dianalisa lebih tajam. Diharapkan MD-DSS dapat membantu manajemen PLN untuk mengambil keputusan dan menerapkan kebijakan strategi operasional guna mencapai efektifitas dan efisiensi dalam suplai tenaga listrik yang dapat diandalkan guna memenuhi kepuasan pelanggan.

Kata kunci: MD-DSS, Energi, Sistem Pembangkit Listrik, Sistem Transmisi, Sistem Distribusi, Sistem Dinamis, Pembangkit Listrik Tenaga Surya

**Model Driven Decision Support Systems (MD-DSS) for
Development Strategy Photovoltaic Power Plant as
Alternative Energy for Electricity Needs**
(case study: Madura Island, East Java)

Name : Lilia Trisyathia Quentara
NRP : 5214201022
Supervisor : Erma Suryani, ST, MT, Ph.D.

ABSTRACT

According to BPS in early 2015, there are 15.40% of the villages are not electrified spread in 511 districts / cities in 33 provinces in Indonesia. Electrification ratio in East Java in 2015 has reached 83.14%, due to the Madura island is only 59.02% whom got the electrical supply from PT. PLN (Persero). From of all subdistricts in Madura, 50 villages in Bangkalan, 78 villages in Sampang, 58 villages in Pamekasan, and 32 villages in Sumenep, until the beginning of 2016 still have not been able to enjoy the facilities of electricity supply. Topography Madura per village where the distance far away from each other, the small number of households in the villages, as well as the road infrastructure to tha villages are inadequate, become the main obstacle in building investment for electricity infrastructure. Kangean islands and Sapudi currently only gets electricity supply for 12 hours each day. The main problem of the operational electrical systems in Indonesia is how to meet the supply and demand of electricity power and maintain the continuity of effective and efficient services to the customers in Indonesia, particularly the islands area which far distant from generation sources.

From the problems above, the required electrical systems long-term solutions that can enhance the role of new and renewable energy, improve the reliability, security and efficiency, reduce the energy costs, and the rapid recovery systems of the blackout. The efficiency and effectiveness of operational systems in realtime electricity is expected to increase continuity of supply of electricity power in Madura by utilizing the available resources like solar energy for developing solar system power plant. The system dynamics method is used to analyze the electrical operating system by created and formulated a scenario model to identify the factors and variables which affect the system and will be simulated to figure out the results.

This study developed a Model Driven-Decision Support System (MD-DSS) in dashboard as the interface form which illustrate the historical data and modeling scenarios in visualization form, so the impact and influence of any variables and factors that pose challenges and barriers to the supply electricity

power in the archipelago islands can be analyzed more deeply and specifically. MD-DSS is expected to help the PLN management in taking decisions and implementing the policies operational strategies to achieve effectiveness and efficiency in the electricity supply reliable to meet customer satisfaction.

Key words: MD-DSS, Energy, Electrical Power Generation, Transmission System, Distribution System, Dynamics System.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan ridho-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan untuk memenuhi persyaratan penelitian sesuai kurikulum pendidikan di Jurusan Sistem Informasi Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam melakukan penelitian dan penulisan laporan ini penulis mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Erma Suryani, S.T., M.T., Ph. D selaku pembimbing yang telah memberikan nasehat dan arahan dalam keilmuan bagaimana melakukan penelitian serta penulisan yang baik dengan motivasi yang penuh kesabaran dan semangat.
2. Kedua orangtua Ir. Syahrul Jalal, MBA dan Ir. Musmaryetty Musa yang selalu mendoakan dan tetap memberikan semangat untuk tidak menyerah dalam menyelesaikan target penelitian ini.
3. Keluarga Besar di Padang (Sumbar) dan di Serang (Banten) yang selalu memberikan motivasi untuk melakukan yang terbaik selama menjalani perkuliahan sampai ke tahapan penelitian.
4. Bapak Dr. Ir. Aris Tjahyanto, M. Kom (Ketua Jurusan Sistem Informasi) dan Bapak Dr. Apol Pribadi S., S.T., M.T. (Kepala Program Studi Pasca Sarjana Sistem Informasi), yang dengan kapasitas mereka sebagai dosen penguji telah memberikan masukan agar penulisan hasil penelitian ini menjadi lebih baik dan bermanfaat bagi semua yang membacanya.
5. Rekan-rekan seperjuangan di Pasca Sarjana Sistem Informasi Angkatan 2014, dan rekan seprofesi Pra-Magister Saintek Informatika dari daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar) seluruh Indonesia atas semua suka duka yang dijalani bersama selama di perantauan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis dan juga penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar dapat menjadi lebih baik lagi kedepannya. Penelitian ini bukanlah

akhir dari sebuah proses pembelajaran, melainkan akan menjadi landasan awal bagi penulis untuk menghasilkan penelitian-penelitian baru setelah kembali bertugas menjadi pendidik di kota Jambi. Akhir kata, semoga isi dari tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca ataupun memberi ide untuk mengembangkan penelitian baru bagi yang ingin melanjutkannya.

Mohon maaf jika ada kekurangan dan kesalahan dalam kata.

Surabaya, November 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	10
1.3. Ruang Lingkup.....	11
1.4. Tujuan Penelitian	11
1.5. Kontribusi Penelitian	12
1.6. Sistematika Penelitian	12
BAB II.....	15
KAJIAN PUSTAKA	15
2.1. Sistem Operasional PLN	15
2.1.1. Sistem Pembangkitan.....	18
2.1.2. Sistem Transmisi	21
2.1.3. Sistem Distribusi.....	22
2.2. <i>Decision Support System (DSS)</i>	25
2.3. Sistem, Pemodelan dan Simulasi.....	32
2.4. Sistem Dinamis.....	34
2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	36
2.6. Variabel Bilangan Acak (<i>Random</i>)	39
BAB III.....	41
METODE PENELITIAN.....	41
3.1. Studi Literatur	42

3.2.	Menetapkan Fokus Penelitian	42
3.3.	Latar Belakang Masalah	42
3.4.	Kajian Pustaka	43
3.5.	Identifikasi Faktor dan Variabel	43
3.6.	Pengumpulan Data	44
3.7.	Pengembangan Model Simulasi.....	45
3.8.	Validasi.....	47
3.9.	Analisa Hasil Simulasi.....	47
3.10.	Penyusunan Skenario.....	48
3.11.	Pengembangan MD-DSS.....	49
3.12.	Simpulan dan Saran	50
3.13.	Jadwal Penelitian	50
BAB IV	51	
ANALISA DAN PENGEMBANGAN MODEL.....	51	
4.1. Pengembangan Model Berdasarkan Kondisi Saat Ini (<i>Existing Data</i>).....	51	
4.1.1.	Model Neraca Energi Listrik di Madura.....	51
4.1.2.	Model Keandalan Pasokan Listrik.....	58
4.1.3.	Model Pelanggan Listrik dan Rasio Elektrifikasi di Madura	66
4.1.5.	Model Rasio Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik	69
4.1.4.	Model Kebutuhan Daya Listrik di Madura	71
4.2. VALIDASI MODEL	73	
4.2.1.	Validasi Model Neraca Energi Listrik.....	73
4.2.2.	Validasi Model Keandalan Pasokan Listrik	77
4.2.3.	Validasi Model Jumlah Pelanggan dan Rasio Elektrifikasi	80
4.2.4.	Validasi Model Kebutuhan Daya Listrik.....	82
4.3. MODEL SKENARIO.....	84	
4.3.1.	Skenario Model Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	84
4.3.2.	Skenario Peningkatan Rasio Elektrifikasi.....	90
4.3.3.	Rasio Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik.....	91
4.4. DASHBOARD.....	93	
4.4.1.	Perbandingan Energi Listrik di Jawa Timur dengan Madura	93
4.4.2.	Perbandingan Sumber Energi Listrik di Madura.....	94

4.4.3.	Perbandingan Susut Energi dan Efisiensi Energi	95
4.4.4.	Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Madura.....	96
4.4.5.	Perbandingan Kebutuhan Daya Listrik Berdasarkan Geografis Desa.....	97
4.4.6.	Kapasitas Pasokan Daya Listrik PLTS Masing-Masing Desa.....	98
4.5.	PERTIMBANGAN ASPEK EKONOMIS SISTEM PLTS	99
4.5.1.	Perhitungan Nilai Penyusutan Investasi.....	101
4.5.2.	Perhitungan Nilai <i>Payback Period</i> Investasi PLTS	101
BAB V	105
SIMPULAN dan SARAN	105
5.1.	SIMPULAN.....	105
5.2.	SARAN	107
DAFTAR PUSTAKA	109
LAMPIRAN I	113
LAMPIRAN II	115
LAMPIRAN III	117
LAMPIRAN IV	121
LAMPIRAN V	123
BIODATA PENULIS	125

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Peningkatan Rasio Elektrifikasi Indonesia Tahun 2010 - 2014	2
Gambar 1.2. Realisasi Keandalan 2011 – 2012 dan Sasaran Keandalan Distribusi 2013 - 2015	8
Gambar 2. 1. Sistem Operasional Penyaluran Listrik oleh PLN.....	16
Gambar 2. 2. Arsitektur Decision Support System	27
Gambar 2.3. Metode Pengembangan Decision Support System (DSS)	30
Gambar 2.4. Diskripsi model analitis dan Vs Model Simulasi	33
Gambar 2.5. Sistem Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	37
Gambar 2.6. Perbandingan Distribusi Diskrit dengan Distribusi Kontinyu	40
Gambar 3.1. Tahapan Metode Penelitian	41
Gambar 3.2. Causal Loop Diagram (CLD) Sistem Pembangkit Listrik, Sistem Transmisi dan Sistem Distribusi	46
Gambar 4.1. Basis Model Neraca Energi listrik di Madura.....	52
Gambar 4.2. Sub Model Energi Listrik Siap dijual.....	52
Gambar 4.3. Grafik Hasil Simulasi Energi Listrik Hasil Produksi dan Pihak Swasta	53
Gambar 4.4. Grafik Hasil Simulasi Sumber Energi P3B dan Total Energi Siap di Jual	54
Gambar 4.5. Sub Model Total Energi Terjual di Madura	54
Gambar 4.6. Grafik Hasil Simulasi Jumlah Energi Terjual di Madura.....	55
Gambar 4.7. Sub Model Susut Energi dan Efisiensi Energi	56
Gambar 4.8. Grafik Hasil Simulasi Susut Energi Listrik.....	57
Gambar 4.9. Grafik Hasil Simulasi Efisiensi Energi Listrik.....	57
Gambar 4.10. Basis Model Keandalan Pasokan Daya Listrik	58
Gambar 4.11. Grafik Hasil Simulasi Keandalan Pasokan Listrik	59
Gambar 4.12. Sub Model Keandalan Sistem Transmisi	60
Gambar 4.13. Grafik SOD dan SOF untuk Keandalan Sistem Transmisi	60
Gambar 4.14. Sub Model Keandalan Sistem Distribusi	64

Gambar 4.15. Grafik Hasil Simulasi Parameter SAIFI untuk Keandalan Sistem Distribusi	64
Gambar 4.16. Grafik Hasil Simulasi Parameter SAIDI untuk Keandalan Sistem Distribusi	65
Gambar 4.17. Grafik Hasil Simulasi Parameter CAIDI untuk Keandalan Sistem Distribusi	65
Gambar 4.18. Basis Model Jumlah Pelanggan dan Rasio Elektrifikasi	66
Gambar 4.19. Grafik Perbandingan Pelanggan Rumah Tangga dan Jumlah Rumah Tangga	67
Gambar 4.20. Grafik Hasil Simulasi Rasio Elektrifikasi di Madura	68
Gambar 4.21. Basis Model Kebutuhan Daya Listrik di Madura	71
Gambar 4.22. Grafik Hasil Simulasi Kebutuhan Daya Listrik di Madura	72
Gambar 4.23. Basis Model Rasio Pemenuhan Supply - Demand Ketenagalistrikan	69
Gambar 4.24. Grafik Perbandingan “Demand” dan “Supply” Listrik di Madura.	70
Gambar 4.25. Grafik Hasil Simulasi Rasio Pemenuhan Kebutuhan Listrik di Madura.....	70
Gambar 4.26. Grafik Sumber Listrik Hasil Produksi dan Pihak Lain	74
Gambar 4.27. Grafik Sumber Listrik P3B dan Total Energi Siap dijual.....	74
Gambar 4.28. Grafik Energi Listrik Siap dijual dan Energi Terjual	75
Gambar 4.29. Grafik Perbandingan Susut Energi Listrik.....	76
Gambar 4.30. Grafik Perbandingan Efisiensi Energi Listrik.....	76
Gambar 4.31. Grafik Perbandingan Jumlah Pelanggan yang Mengalami Pemadaman.....	78
Gambar 4.32. Grafik Perbandingan Lamanya Pemadaman Listrik.....	78
Gambar 4.33. Grafik Perbandingan SAIFI untuk Parameter Keandalan Sistem Distribusi	79
Gambar 4.34. Grafik Perbandingan SAIDI untuk Parameter Keandalan Sistem Distribusi	79
Gambar 4.35. Grafik Perbandingan CAIDI untuk Parameter Keandalan Sistem Distribusi	79

Gambar 4.36. Grafik Perbandingan Kelompok Pelanggan dengan Total Pelanggan	80
Gambar 4.37. Grafik Perbandingan Jumlah Rumah Tangga dengan Pelanggan Rumah Tangga	81
Gambar 4.38. Grafik Perbandingan Rasio Elektrifikasi Madura	82
Gambar 4.39. Grafik Kebutuhan Daya Listrik per Kelompok Pelanggan	83
Gambar 4.40. Kebutuhan Daya Listrik berdasarkan Kondisi Geografis Kecamatan	86
Gambar 4.41. Kebutuhan Daya Listrik untuk Kec. Waru dan Kec. Palengaan	86
Gambar 4.42. Kebutuhan Daya Listrik untuk Kec. Batumarmar dan Kec. Pasean	87
Gambar 4.43. Kebutuhan Daya Listrik untuk Kecamatan Pakong	87
Gambar 4.44. Total Kebutuhan Daya Listrik Tenaga Surya untuk Kabupaten Pamekasan.....	88
Gambar 4.45. Total Kebutuhan Daya Listrik Tenaga Surya untuk Kabupaten Pamekasan.....	89
Gambar 4.46. Rasio Pemenuhan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS	89
Gambar 4.47. Rasio Elektrifikasi dengan Pertambahan Pelanggan Rumah Tangga	90
Gambar 4.48. Grafik Peningkatan Rasio Elektrifikasi dengan Pelanggan PLTS .	91
Gambar 4.49. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS	92
Gambar 4.50. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS	92
Gambar 4.51. Perbandingan Energi Listrik Jawa Timur dan Madura	93
Gambar 4.52. Perbandingan Sumber Energi Listrik di Madura	94
Gambar 4.53. Perkembangan Susut Energi dan Efisiensi di Madura	95
Gambar 4.54. Jumlah Rumah Tangga, Kebutuhan Daya dan Kapasitas PLTS	96
Gambar 4. 55. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS	97

Gambar 4.56. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS	98
Gambar 4.57. Skenario Model Perhitungan Payback Period (PP) Investasi PLTS	100

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Prakiraan Kebutuhan Listrik, Angka Pertumbuhan dan Rasio Elektrifikasi.....	3
Tabel 1. 2. Program Kerja Dinas ESDM tahun 2014 – 2019.....	6
Tabel 2. 1. Gangguan Sistem Transmisi	22
Tabel 2. 2. Simbol-simbol diagram alir yang digunakan pada pemodelan (Sterman 2000)	34
Tabel 3.1. Pembagian Sub Sistem dan Variabel Penelitian	43
Tabel 3.2. Jadwal Kegiatan Penelitian Tesis.....	50
Tabel 4.1. Data Jumlah Pelanggan yang Mengalami Pemadaman	62
Tabel 4.2. Data Jumlah Pelanggan yang Mengalami Pemadaman	62
Tabel 4.3. Target Rasio Elektrifikasi Jawa Timur	68
Tabel 4.4. Nilai Validasi Sub Model Energi Siap dijual.....	73
Tabel 4.5. Nilai Validasi Energi Terjual, Susut Energi dan Efisiensi Energi	75
Tabel 4.6. Data Gangguan Sistem Transmisi di Pulau Jawa dan Jawa Timur.....	77
Tabel 4.7. Nilai Validasi untuk Variabel Keandalan Sistem Distribusi.....	77
Tabel 4.8. Nilai Validasi Jumlah Pelanggan, Pelanggan Rumah Tangga dan Lainnya	80
Tabel 4.9. Nilai Validasi Jumlah Rumah Tangga dan Rasio Elektrifikasi	81
Tabel 4.10. Nilai Validasi E_1 Kebutuhan Daya Listrik per Kelompok Pelanggan	82
Tabel 4.11. Nilai Validasi E_2 Kebutuhan Daya Listrik per Kelompok Pelanggan	83
Tabel 4.12. Data Kecamatan Belum Berlistrik di Kabupaten Pamekasan.....	85
Tabel 4.13. Data Kebutuhan Listrik Minimum untuk Rumah Tangga dan Fasilitas Desa.....	85
Tabel 4.14. Skenario Model Perhitungan Payback Period.....	100
Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Payback Period Berdasarkan Skenario.....	102

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	113
LAMPIRAN 2	115
LAMPIRAN 3	117
LAMPIRAN 4	121
LAMPIRAN 5	123

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dibahas latar belakang pentingnya penelitian dilakukan yang meliputi rasio elektrifikasi PLN, kinerja kelistrikan Jawa Timur khususnya Madura, kondisi konversi energi Indonesia, indikator penilaian keandalan pasokan listrik, dan metode yang digunakan dalam setiap tahapan penelitian.

1.1. Latar Belakang

Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) terletak diantara 6⁰ LU sampai 11⁰ LS dan 95⁰ BT sampai 141⁰BT dan merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, yang diapit oleh dua benua yaitu Asia dan Australia, dengan jumlah kepulauan 17.000 lebih membentang sepanjang kurang lebih 3.200 mil dari Timur ke Barat serta 1.100 mil dari Utara ke Selatan. Wilayah yang luas dan karakteristik geografis juga sosiokultural yang heterogen menjadi kendala utama pembangunan sehingga masih belum merata di setiap wilayah propinsinya.

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada awal tahun 2015, terdapat 12.659 desa di Indonesia yang belum dialiri listrik dari total 82.190 wilayah administrasi pemerintahan setingkat desa. Jumlah desa yang 15,40% tersebut tersebar di 7.074 kecamatan dan 511 kabupaten/kota di 33 propinsi. Perbandingan antara jumlah rumah tangga yang mendapat aliran listrik dengan jumlah keseluruhan rumah tangga di wilayah tertentu disebut **Rasio Elektrifikasi**, yang menjadi salah satu poin penilaian kinerja PLN secara berkesinambungan dalam memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik di seluruh wilayah Indonesia.

Menurut peneliti *Institute for Development of Economics and Finance* (INDEF), Ariyo Irhamma, terjadi kesenjangan rasio elektrifikasi dan pengaliran listrik di Indonesia antara daerah kota yang mencapai 94% dibandingkan dengan di pedesaan hanya 32%. Indonesia menjadi negara paling tertinggal diantara negara ASEAN lainnya. Rasio elektrifikasi Thailand telah seimbang yaitu 99%, Malaysia hanya berbeda 1,4% (kota 99,4% dan desa 98%), Vietnam hanya berbeda 13% dimana 98% untuk kota dan 85% di desa.

Gambar 1.1 dibawah ini menunjukkan adanya peningkatan nilai rasio elektrifikasi di Indonesia selama lima tahun terakhir (2010-2014), dimana pada akhir tahun 2014 telah mencapai 81,70%, dengan kondisi 74,41% untuk wilayah Indonesia di luar pulau Jawa dan 86,69% untuk wilayah pulau Jawa. Pada tahun 2015 masih ada wilayah Indonesia yang rasio elektrifikasinya dibawah 50%, yaitu provinsi Jambi (43,88%) dan wilayah Papua (47,21%), sedangkan untuk wilayah ibukota NKRI yaitu Jakarta Raya dan sekitarnya telah mencapai 100%.



Gambar 1.1. Grafik Peningkatan Rasio Elektrifikasi Indonesia Tahun 2010 - 2014

Listrik telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam aktivitas keseharian kehidupan manusia, baik di Indonesia maupun di negara lainnya. Mengingat Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang luas, maka pemenuhan *supply* dan *demand* listrik di daerah terpencil, kepulauan terluar dan juga wilayah perbatasan, menjadi isu penting yang membutuhkan kajian khusus dalam penyelesaiannya. Daerah-daerah yang tidak mendapat asupan listrik, masyarakatnya cenderung terisolir dari perkembangan perekonomian, wawasan pengetahuan, serta teknologi. Anggaran Dasar PLN Tahun 2008 Pasal 3 menyebutkan bahwa tujuan dan lapangan usaha PLN adalah menyelenggarakan usaha penyediaan tenaga listrik bagi kepentingan umum dalam jumlah dan mutu yang memadai, sebagai bentuk pelaksanaan tugas Pemerintah dalam rangka menunjang pembangunan. Bagaimanapun pembangunan sektor ketenagalistrikan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari program pembangunan nasional.

Permintaan kebutuhan listrik yang sejalan dengan kebutuhan energi akan terus meningkat setiap tahunnya, sedangkan kapasitas yang tersedia masih belum memadai untuk memenuhinya. Pada periode tahun 2015-2024 diperkirakan kebutuhan listrik akan meningkat dari 219,1 TWh pada tahun 2015 menjadi 464,2 TWh pada tahun 2024, atau tumbuh rata-rata 8,7% per tahun. Dalam periode yang sama, untuk wilayah Sumatera tumbuh rata-rata 11,6% per tahun, wilayah Jawa-Bali 7,8% per tahun dan wilayah Indonesia Timur 11,1% per tahun. Prakiraan kebutuhan listrik indonesia yang akan terus bertambah setiap tahunnya terlihat pada Tabel 1.1 berikut ini.

Tabel 1.1. Prakiraan Kebutuhan Listrik, Angka Pertumbuhan dan Rasio Elektrifikasi

URAIAN	Satuan	2014*	2015	2016	2018	2020	2022	2024
1. Energi Demand	Twh							
- Indonesia		201,5	219,1	238,8	282,9	332,3	392,3	464,2
- Jawa Bali		153,6	165,4	178,3	207,1	239,5	278,6	324,4
- Indonesia Timur		20,0	22,6	25,8	33,1	40,0	47,8	57,1
- Sumatera		27,9	31,2	34,7	42,7	52,8	65,9	82,8
2. Pertumbuhan	%							
- Indonesia		8,6	8,7	9,0	8,9	8,4	8,7	8,8
- Jawa Bali		8,2	7,6	7,8	7,6	7,5	7,9	7,8
- Indonesia Timur		12,2	12,9	14,5	14,2	9,9	9,2	9,2
- Sumatera		8,5	11,7	11,1	11,1	11,2	11,8	12,2
3. Rasio Elektrifikasi	%							
- Indonesia		84,4	87,7	91,3	95,7	98,4	99,1	99,4
- Jawa Bali		86,8	90,5	94,6	98,4	99,8	99,9	99,9
- Indonesia Timur		76,1	79,2	82,1	87,9	92,9	95,8	97,5
- Sumatera		84,8	87,2	89,8	95,0	99,2	99,9	99,9

* Estimasi realisasi Energi Jual

Pemerintah saat ini telah fokus untuk memberikan pasokan listrik di pulau-pulau luar terdepan dan daerah perbatasan Indonesia bekerja sama dengan swasta dan Kementerian Pekerjaan Umum (PU). Hal ini terwujud pada perayaan kemerdekaan HUT RI ke-70 tertanggal 17 Agustus 2015 yang lalu, sekitar 50 pulau luar terdepan mendapatkan listrik setelah PT PLN berhasil membangun Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Sebanyak 149 unit mesin diesel dibangun di beberapa lokasi yang tersebar di 13 provinsi, yang pembagiannya meliputi Nangroe Aceh Darusalam, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Kepulauan Riau, Kalimantan Barat, Kalimantan Utara, Kalimantan Timur, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Utara, Maluku, Maluku Utara dan Papua.

Adapun untuk wilayah Jawa Timur (Jatim) belum semua masyarakatnya telah dapat menikmati listrik. Pada tahun 2013 tingkat rasio elektrifikasi Jatim masih 79,21%, kemudian meningkat menjadi 83,14% pada akhir tahun 2014, dan pada akhir tahun 2015 telah mencapai 86,67%. Jumlah permintaan baru tahun 2014 sebesar 605.832KK sebenarnya menurun dari tahun 2013 yang besarnya 657.536KK, tetapi karena daya yang dapat dipenuhi mengalami penurunan sehingga terjadi lonjakan daftar tunggu dari yang sebelumnya 30.920 KK di tahun 2013 meningkat menjadi 45.296 KK pada akhir tahun 2014.

Kondisi kelistrikan Jawa Timur tahun 2016 ini masih mengalami surplus listrik sekitar 2.600MW (Mega Watt) dimana kelebihan tersebut disalurkan ke daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Bali. Seharusnya kelebihan tersebut masih sangat memungkinkan untuk meningkatkan pasokan listrik ke daerah Situbondo yang rasio elektrifikasinya masih 64,88% dan ke Madura khususnya, guna mendukung tercapainya target rasio elektrifikasi nasional 100% pada tahun 2020 nanti. Sebelum adanya pembangunan jembatan Suramadu pada tahun 2010 pasokan daya listrik yang tersedia di Madura adalah 80MW, meningkat menjadi 200MW pada tahun 2012, dan menjadi 260MW pada tahun 2016.

Untuk wilayah Madura sendiri, dari total 219.439 kepala Keluarga (KK), yang telah dialiri listrik hanya sekitar 129.522 KK. Rasio elektrifikasi di tahun 2014 hanya mencapai 59,02% yang meningkat menjadi 60,55% pada akhir tahun 2015. Tetapi untuk wilayah kepulauannya masih belum menyentuh 40%. Data dari Dinas Energi Sumber Daya Manusia (ESDM) Provinsi Jatim per Desember 2015 menyebutkan bahwa jumlah desa yang belum berlistrik di Madura menyebar di 4 kabupatennya, yaitu 50 desa di Kabupaten Bangkalan, 78 desa di Kabupaten Sampang, 58 desa di Kabupaten Pamekasan, dan 32 desa di Kabupaten Sumenep. Secara mayoritas desa yang masih belum berlistrik tersebut berada di Jalur Pantai Utara Madura (Pantura) dan di juga wilayah kepulauan yang tidak terjangkau dari sumber listrik utama. Untuk wilayah kepulauan, sudah lima pulau yang dialiri listrik dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), diantaranya Sapeken, Gili Genting, Mandangin yang sudah beroperasi selama 24 jam, sedangkan Kangean dan Sapudi masih beroperasi selama 12 jam saja.

Berdasarkan data di kantor PLN Area Pamekasan yang mengurus listrik se-Madura, tidak meratanya aliran listrik di wilayah selatan dan wilayah utara disebabkan oleh infrastruktur jalan yang kurang mendukung. Listrik yang kuat berada di wilayah selatan daratan Madura karena jaringan transmisi di bangun di wilayah selatan, mulai dari Suramadu, Bangkalan, Blega, Sampang, Pamekasan dan Sumenep. Untuk memberikan pelayanan listrik ke wilayah utara, yaitu Ambunten, Waru, Ketapang dan Tanjung Baru, PLN membutuhkan kabel listrik yang panjang untuk proses pembenahan infrastruktur. Topografi Madura menjadi kendala investasi dalam membangun infrastruktur kelistrikan karena dalam satu kampung hanya berkisar 10 rumah, dan jarak perdesa saling berjauhan satu dengan lainnya, disamping juga banyak wilayah desa terletak di dataran tinggi dan juga beberapa kepulauan yang sulit dijangkau.

Energi sangat diperlukan dalam menjalankan aktivitas perekonomian Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun aktivitas produksi di berbagai sektor. Menurut Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM, 2009), cadangan energi minyak mentah Indonesia hanya dapat diproduksi atau akan habis dalam kurun waktu 22,99 tahun, gas selama 58,95 tahun dan batubara selama 82,01 tahun, dengan asumsi perhitungan bahwa tidak ditemukan lagi ladang-ladang baru sebagai sumber energi fosil (Elinur, 2010). Adanya peningkatan kebutuhan energi dapat menjadi indikator peningkatan kemakmuran, namun pada saat yang bersamaan akan menimbulkan masalah dalam hal penyediaannya (Bachtiar, 2006).

Ketergantungan terhadap energi fosil terutama minyak bumi dalam pemenuhan konsumsi energi di dalam negeri masih tinggi yaitu sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18% dan batubara 30%) dari total konsumsi. Konsumsi energi listrik yang terus meningkat akan menjadi masalah bila ketersediaannya tidak mencukupi kebutuhan. Ditinjau dari aspek penyediaan, sebenarnya Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya energi, baik energi yang bersifat *unrenewable resources* maupun yang bersifat *renewable resources*. Energi yang bersifat terbarukan mempunyai peran yang sangat penting sebagai alternatif sumber energi baru dalam sistem pembangkit listrik.

Menurut Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, yang dimaksud dengan energi baru adalah energi yang berasal dari sumber energi baru, yaitu sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru, baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan, antara lain nuklir, hidrogen, gas metana batubara, batu bara tercairkan, dan batubara tergaskan. Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan, yaitu sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, (RUKN, 2015-2034).

Kementerian ESDM menginginkan Pemerintah Daerah (Pemda) ikut berperan dalam pencapaian target rasio elektrifikasi. Permen ESDM No. 1 Tahun 2015 dikeluarkan untuk mengatur tentang kerjasama penyediaan tenaga listrik dan pemanfaatan bersama jaringan tenaga listrik, melalui program pemerintah berupa listrik perdesaan yang pendanaannya diperoleh dari Anggaran Pendapatan Belanja Negara (APBN) dan diutamakan pada provinsi dengan rasio elektrifikasi yang masih rendah. Target bidang kelistrikan ini juga didukung penuh oleh Dinas ESDM Jatim, yang dituangkan dalam rancangan program kerja mereka selama lima tahun dan dapat dilihat dalam Tabel 1.2 dibawah ini.

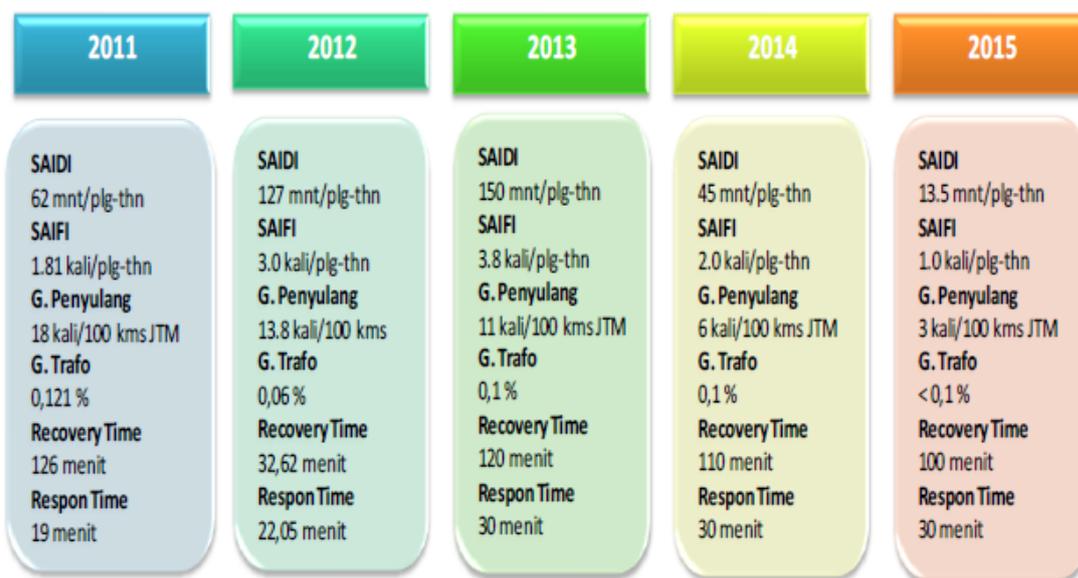
Tabel 1. 2. Program Kerja Dinas ESDM tahun 2014 – 2019

TUJUAN	SASARAN	INDIKATOR KINERJA	PROGRAM	KEGIATAN
MISI 1 : Mengembangkan diversifikasi energi pedesaan berbasis sumber daya energi baru terbarukan				
Menyediakan pasokan energi dari sumberdaya energi baru terbarukan di pedesaan dan daerah terpencil	Meningkatnya pengembangan pengelolaan/pemanfaatan sumber energi baru terbarukan bagi penduduk pedesaan, daerah terpencil dan wilayah kepulauan	1. Jumlah Rumah Tangga pemakai listrik PLTMH di daerah terpencil 2. Jumlah Rumah Tangga pemakai listrik PLTS di daerah terpencil. 3. Jumlah Rumah Tangga pemakai listrik non PLN	PROGRAM INVENTARISASI, PEMANFAATAN DAN PENGAWA SAN ENERGI DAN KETENAGA LISTRIKAN	1. Kegiatan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) 2. Kegiatan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 3. Kegiatan Hibah instalasi listrik di rumah-rumah.
	Meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan baik secara langsung maupun tidak langsung	4. Survey Desa /Dusun belum berlistrik. 5. Survey Potensi energi baru terbarukan 6. Survey data penggunaan energi		4. Kegiatan Identifikasi Desa mandiri Energi 5. Kegiatan Studi Kelayakan FS dan/ DED PLTMH 6. Kegiatan Audit Energi di instansi/perusahaan
MISI 2 : Mewujudkan dan menjaga ketersediaan pasokan tenaga listrik yang aman dan ramah lingkungan				
Menyediakan pasokan listrik yang aman dan ramah lingkungan	Meningkatnya elektrifikasi rumah tangga didaerah pedesaan	1. Rasio Elektrifikasi di Jawa Timur 2. Rasio desa berlistrik di Jawa Timur		Kegiatan Penyusunan data kebutuhan listrik
	Meningkatnya pemenuhan kebutuhan energi listrik bagi penduduk dan industri.	1. Ketersediaan listrik di Jawa Timur		Kegiatan inventarisasi pembangkit listrik di Jawa Timur

Seluruh masyarakat adalah pelanggan yang harus dilayani kebutuhan listriknya secara merata oleh PLN tanpa membedakan mereka dalam tingkatan status ekonominya. Setiap proses bisnis yang terkait dengan sistem pelayanan, maka kualitas pelayanan menjadi target penting yang harus ditingkatkan setiap tahunnya secara efektif dan efisien. Terdapat dua hal yang harus diperhatikan dalam pengelolaan sistem pelayanan PLN, yaitu pertama komunikasi data untuk pengolahan informasi, kedua teknologi komunikasi yang dapat mentransfer data-data untuk operasi sistem (Soleh, 2014). Perkembangan teknologi dan informasi telah membawa era baru dalam semua aspek kehidupan termasuk sistem kelistrikan, yang memerlukan komunikasi data untuk pengolahan informasi dan teknologi komunikasi yang dapat mentransfer data-data operasional sistem (Widyanarko, 2014).

Masalah utama dalam operasional kelistrikan adalah bagaimana mengatasi gangguan dengan cepat. Tingkat kontinuitas pelayanan suatu sistem jaringan disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali *supply* setelah mengalami pemutusan karena adanya gangguan, yang menggunakan parameter keandalan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), dan *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI). SAIDI merupakan indeks yang didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya gangguan secara terus menerus untuk setiap pelanggan selama satu tahun, sedangkan SAIFI didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gangguan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya per tahun). CAIDI adalah indeks keandalan hasil pengukuran dari waktu rata-rata penormalan system ketika terjadi gangguan pemadaman.

Untuk wilayah Jatim, SAIDI tahun 2014 adalah 2,97 yang berarti mengalami penurunan dari tahun sebelumnya yang sebesar 4,24. Sedangkan SAIFI wilayah Jatim tahun 2014 adalah sebesar 2,75 yang juga mengalami penurunan dari tahun 2013 yang besarnya 3,41. Gambar 1.2 dibawah ini diambil dari Program Kerja PT PLN Distribusi Jawa Timur pada tahun 2013 yang dicanangkan dalam buletin tahunan.



Gambar 1.2. Realisasi Keandalan 2011 – 2012 dan Sasaran Keandalan Distribusi 2013 - 2015

Faktor lain yang menjadi parameter keandalan dan kualitas listrik, diantaranya: (i) Ketidakstabilan frekuensi (ii) Fluktuasi tegangan (iii) interupsi atau pemadaman listrik. Untuk parameter pertama dan kedua, umumnya permasalahannya muncul dalam sistem transmisi atau distribusi, sedangkan parameter ketiga lebih banyak terjadi pada sistem pembangkitan karena terkait masalah pemenuhan kapasitas pasokan terhadap beban. Perkembangan teknologi dan informasi dalam sistem kelistrikan membawa pengaruh yang sangat besar dalam hal efektif dan efisien yang berarti sistem operasional harus mampu meminimalkan *blackout* terjadi.

Saat ini dibutuhkan sistem listrik yang juga mampu meningkatkan peranan dari energi terbarukan; meningkatkan kehandalan, keamanan dan efisiensi; mengurangi biaya energi; pulih dengan cepat; memungkinkan peran serta pelanggan untuk lebih efektif dan efisien. Sebuah sistem pengelolaan grid energi masa depan yang banyak dikembangkan negara maju saat ini di sebut *Smart Grid*, dengan menggunakan konsep penggabungan beberapa pembangkit dan sekelompok pengguna dalam wilayah tertentu dimana transmisi energi dan jaringan distribusi yang ditingkatkan melalui control secara digital, pemantauan, dan kemampuan aliran telekomunikasi.

Adapun yang menjadi *Key Driver* pengembangan konsep sistem kelistrikan masa depan di PLN adalah:

1. Peningkatan efisiensi Energi
 - Menurunkan rugi-rugi (*losses*) teknis dan non-teknis
 - Meningkatkan penyaluran energi di sistem jaringan tenaga listrik
 - Mengintegrasikan informasi kebutuhan daya dan *smart metering*
 - Memungkinkan partisipasi pelanggan secara dinamis
2. Peningkatan Keandalan dan stabilitas suplai tenaga listrik
 - Mencegah terjadinya *black-out* dan meminimalkan pemadaman penyulang
 - Memperkirakan kondisi asset jaringan secara *real-time*
 - Memungkinkan partisipasi pelanggan secara dinamis
3. Pengurangan emisi karbondioksida
 - Memungkinkan partisipasi pembangkit *renewable* dan hybrid dalam sistem tenaga listrik
 - Mengintegrasikan sumber-sumber pembangkitan terpisah (*distributed generation*) dan *eco-buildings*

Manusia adalah makhluk pengambil keputusan hampir dalam seluruh aspek kehidupannya, terutama tentang bagaimana memanfaatkan berbagai sumber daya di sekelilingnya dari waktu ke waktu. Keputusan strategis harus memanfaatkan komputer untuk menampilkan informasi menyeluruh secara cepat, akurat dan relevan dengan sistem yang sedang berjalan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Model Driven-Decision Support System* (MD-DSS) dan sistem dinamik. Model akan sangat berguna untuk menganalisis masalah yang kompleks dengan banyak elemen yang interaktif, namun juga dibutuhkan data yang cukup dan aturan-aturan terstruktur dengan baik untuk menganalisis sistem dengan berbagai skenario yang diberikan (*Transportation Research Board Executive*, 2005). MD-DSS lebih menekankan kepada akses dan manipulasi dari statistik, finansial, optimasi atau model simulasi. Data dan parameter yang digunakan MD-DSS didapat dari pengguna untuk membantu membuat keputusan dalam menganalisis situasi dan kondisi sistem (Gachet, 2004).

Menurut (Axella, 2012; Lyneis 2000), alasan digunakan model simulasi sistem dinamik dikarenakan sistem dinamik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode peramalan konvensional, yaitu dapat memberikan perkiraan yang lebih handal daripada model statistik, menyediakan cara untuk memahami perilaku industri, mendeteksi terhadap perubahan dini dan penentuan faktor-faktor yang meramalkan perilaku secara sensitif dan signifikan.

MD-DSS yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan dapat membantu proses pengambilan keputusan bagi manajemen PLN untuk menerapkan sistem operasional kelistrikan yang efektif dan efisien di Pulau Madura guna kelancaran *supply* dan *demand* listrik di wilayah kepulauan, yang pasokannya dapat diandalkan. Hambatan dan kendala yang mungkin terjadi dalam sistem operasional kelistrikan yang digambarkan secara sistematis dan terkomputerisasi membantu fungsi-fungsi manajemen PLN, yaitu *planning*, *organizing*, *directing* dan *controlling* dimana setiap aspeknya memerlukan pengambilan keputusan tersendiri, sehingga mempermudah analisa dengan adanya identifikasi faktor-faktor dan variabel-variabel apa saja yang mempengaruhi secara signifikan dalam sistem.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini dari hasil pengamatan situasi dan kondisi serta isu yang berkembang dalam sistem operasional kelistrikan di Indonesia adalah:

1. Bagaimana kondisi pemenuhan kebutuhan daya listrik yang telah berjalan selama ini di Pulau Madura?
2. Kendala dan hambatan apa saja yang dapat mengganggu kelancaran dan keandalan sistem operasional listrik di Pulau Madura?
3. Faktor-faktor apa yang perlu dianalisa sebagai prioritas dalam menentukan sistem operasional kelistrikan yang sesuai dan tepat sasaran?
4. Bagaimana mengintegrasikan sistem pembangkit, transmisi dan distribusi sehingga tercipta keseimbangan *supply* dan *demand* pasokan listrik yang dapat diandalkan?

5. Bagaimana mengembangkan *Model Driven–Decision Support System* (MD-DSS) yang mudah dipahami dalam menggambarkan parameter yang mempengaruhi *output* dari sistem operasional listrik sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam mengambil keputusan?

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ditetapkan untuk menentukan batasan fokus penelitian sehingga hasilnya dapat menjadi lebih jelas, tajam dan terperinci. Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Objek penelitian adalah sistem operasional listrik, yaitu mempelajari perencanaan sistem pembangkit listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi untuk memenuhi keandalan *supply* dan *demand* listrik di Pulau Madura, Provinsi Jawa Timur.
2. Data yang digunakan adalah data operasional listrik, tidak mencakup perhitungan biaya operasional dan anggaran dana.
3. Sumber Data diperoleh dari data historis yang telah dimiliki oleh PT. PLN Distribusi Jawa Timur dan UPJ Pamekasan untuk Area Madura.
4. Lokasi Penelitian adalah Pulau Madura yang terdiri dari 4 kabupaten yaitu Bangkalan, Sampang, Pamekasan, dan Sumenep
5. Pengembangan model simulasi untuk analisa sistem operasional kelistrikan PLN dengan menggunakan model sistem dinamis yang dilengkapi skenario untuk membantu dalam analisa keputusan.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya, maka yang menjadi tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kendala dan hambatan terjadinya gangguan pasokan listrik di Pulau Madura.
2. Mengembangkan model yang menggambarkan sistem operasional listrik yang efektif, efisien dan dapat diandalkan.

3. Merumuskan model simulasi untuk menganalisa sistem operasional kelistrikan yang efektif dan efisien dengan metode sistem dinamis.
4. Mengembangkan MD-DSS untuk membantu analisa keputusan yang dapat mendukung kebijakan sistem operasional PLN dalam mencapai keandalan pelayanan pasokan listrik yang efektif dan efisien di Pulau Madura.

1.5. Kontribusi Penelitian

Dalam bidang akademis penelitian ini akan memberikan wawasan baru dalam mengintegrasikan sumber energi, sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi, yang dapat mempermudah proses monitoring dan analisa guna mencapai optimasi dalam sistem operasional kelistrikan PLN nantinya.

Dalam dimensi praktikal, penelitian ini dapat membantu pengambil keputusan di kantor PLN Area Pamekasan untuk melakukan analisa sistem operasional kelistrikan secara sistematis melalui berbagai skenario model yang dikembangkan, sehingga kebijakan yang diambil dapat tepat sasaran untuk melakukan pembenahan sistem operasional PLN menjadi lebih baik.

Dengan adanya sistem operasional listrik yang terintegrasi, diharapkan dapat secara efektif dan efisien mencapai kepuasan pelanggan melalui keandalan suplai pasokan listrik di Madura guna meningkatkan aktivitas bisnis maupun kegiatan keseharian mereka.

1.6. Sistematika Penelitian

- A. **Bab I Pendahuluan.** Bab ini berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian serta sistematika penulisan.
- B. **Bab II Dasar Teori dan Tinjauan Pustaka.** Berisi tinjauan pustaka yang meliputi teori dasar sistem pembangkit listrik, sistem transmisi, sistem distribusi, Konservasi dan Ketahanan Energi, MD-DSS, dan Sistem dinamik.
- C. **Bab III Metodologi Penelitian.** Penjelasan mengenai tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian yang secara keseluruhan.

- D. **BAB IV Analisa dan Pengembangan Model.** Pembahasan pengembangan model dari sistem operasional kelistrikan berdasarkan data yang telah ada (*existing data*), validasi hasil simulasi dari pengembangan model, dan skenario yang ditawarkan untuk proyeksi strategi operasional sistem kelistrikan PLN di Pulau Madura, dan visualisasi *dashboard*.
- E. **BAB V Simpulan dan Saran.** Merupakan rangkuman kesimpulan dari keseluruhan proses penelitian yang telah dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang menjadi temuan. Selain itu juga dikemukakan beberapa saran yang kiranya dapat bermanfaat untuk mengembangkan penelitian selanjutnya (*further research*).

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dibahas materi yang mendukung penelitian, yaitu teori-teori yang terkait dengan sistem operasional listrik PLN yang terdiri dari sistem pembangkitan; sistem transmisi dan sistem distribusi, *Decision Support System* (DSS), Metode Simulasi Sistem Dinamis dan juga konsep Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

2.1. Sistem Operasional PLN

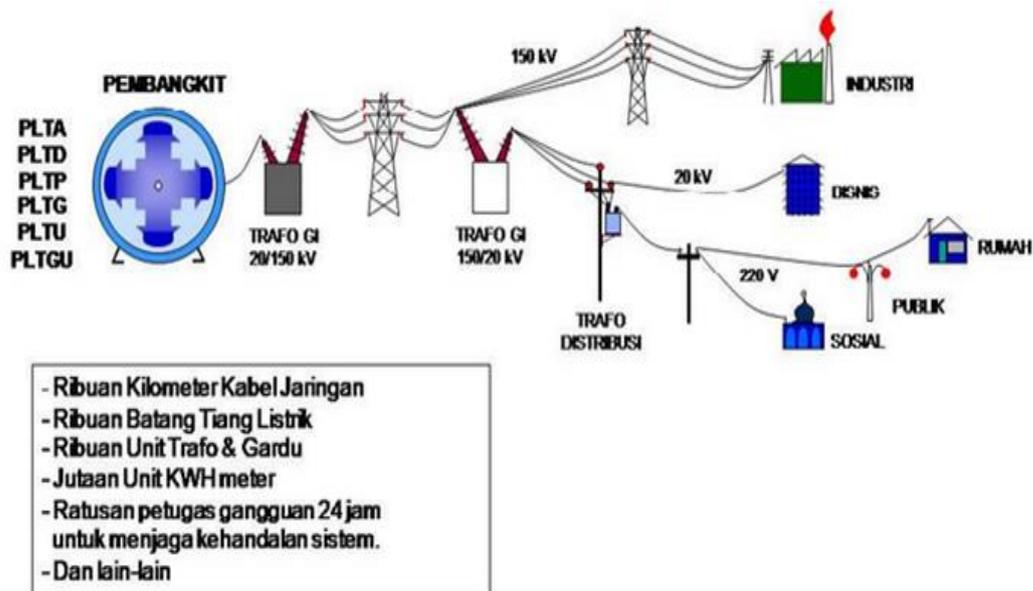
PT. PLN (Persero) adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang berkonsentrasi dalam penyediaan *supply* sampai ke penyaluran kebutuhan energi listrik untuk masyarakat di Indonesia. Energi listrik dimanfaatkan untuk aktivitas sehari-hari baik di sektor rumah tangga, transportasi, ataupun industry, sehingga menjadi kebutuhan primer. Untuk meningkatkan pelayanan PT. PLN maka keandalan pasokan energi listrik perlu dijaga kontinuitas dari waktu ke waktu demi mencapai kepuasan pelanggannya. Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Marsudi (2011) menyatakan bahwa mutu tenaga listrik meliputi:

1. Kontinuitas penyediaan; apakah tersedia 24 jam sehari sepanjang tahun
2. Nilai tegangan; apakah selalu berada dalam batas-batas yang diijinkan
3. Nilai frekuensi; apakah selalu berada dalam batas-batas yang diijinkan
4. Kedip tegangan; apakah besarnya dan lamanya masih dapat di terima oleh pemakai tenaga listrik
5. Kandungan harmonisa; apakah jumlahnya masih dalam batas-batas yang dapat diterima oleh pemakai tenaga listrik

Perencanaan sistem tenaga listrik akan melibatkan masalah perencanaan pengoperasian, perbaikan dan perluasan dari sistem tenaga, sehingga diperlukan:

1. Analisis aliran beban sistem tenaga listrik; untuk penyempurnaan operasi sistem tenaga listrik baik pada saat dianalisis atau pada masa yang akan datang.

2. Analisis gangguan sistem tenaga listrik; untuk memberikan informasi dalam menjawab masalah pengamanan sistem tenaga listrik, koordinasi isolasi sistem tenaga listrik serta koordinasi rele dan pemutus tenaga dalam mengisolasi bagian atau peralatan yang terganggu.
3. Analisis Stabilitas sistem tenaga listrik; menyangkut masalah kemampuan sistem untuk tetap sinkron selama terjadinya gangguan.



Gambar 2. 1. Sistem Operasional Penyaluran Listrik oleh PLN

Dari gambar 2.1 diatas, tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan 11 kV sampai dengan 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 150 kV, 220 kV, atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20kV dengan transformator penurun tegangan di gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke pelanggan.

Dari SK Direksi PLN Nomor 032/DIR/1981 tertanggal 30 Maret 1981 dan SK Nomor 028/DIR/1987 tertanggal 1 April 1987, dapat disimpulkan bahwa terdapat tiga tujuan operasi sistem tenaga pembangkitan dan penyaluran listrik, yaitu:

1. **Ekonomi**; Optimasi pengoperasian tenaga listrik tanpa melanggar batasan keamanan dan mutu, efisien yang berorientasi pada biaya operasi yang rendah dengan menitikberatkan pada biaya sistem pembangkitan, yang dalam hal ini adalah biaya bahan bakar.
2. **Sekuriti**; Kemampuan Sistem untuk menghadapi kejadian yang tidak direncanakan, tanpa mengakibatkan pemadaman. Grid Code dalam aturan operasi menyebutkan bahwa “Aturan Operasi ini menjelaskan tentang peraturan dan prosedur yang berlaku untuk menjamin agar keandalan dan efisiensi operasi Sistem Jawa-Madura-Bali dapat dipertahankan pada suatu tingkat tertentu”.
3. **Mutu**; Kemampuan sistem untuk menjaga agar semua batasan operasi terpenuhi. Grid Code dalam aturan operasi (OC 1.6) menyebutkan keadaan Operasi Sistem yang berhasil / memuaskan dalam keadaan baik apabila:
 - Frekuensi dalam batas operasi normal ($50 \pm 0,2$ Hz), penyimpangan dalam waktu singkat ($50 \pm 0,5$ Hz), selama kondisi gangguan berada pada 47.5 Hz dan 52.0 Hz.
 - Tegangan di Gardu Induk berada dalam batas yang ditetapkan dalam Aturan Penyambungan (CC 2.0). Batas-batas menjamin bahwa tegangan berada dalam kisaran yang ditetapkan sepanjang pengatur tegangan jaringan distribusi dan peralatan pemasok daya reaktif bekerja dengan baik. Operasi pada batas-batas tegangan ini diharapkan dapat membantu mencegah terjadinya voltage collapse dan masalah stabilitas dinamik Sistem.
 - Tingkat pembebanan jaringan transmisi dipertahankan dalam batas yang ditetapkan melalui studi analisis stabilitas steady state dan transient untuk semua gangguan yang potensial (credible outage).

- Tingkat pembebanan arus di semua peralatan jaringan transmisi dan gardu induk (transformator dan switchgear) dalam batas rating normal untuk semua *single contingency* gangguan peralatan.
- Konfigurasi sistem sedemikian rupa sehingga semua PMT di jaringan transmisi mampu memutus arus gangguan yang mungkin terjadi dan mengisolir peralatan yang terganggu.

2.1.1. Sistem Pembangkitan

Dari segi ekonomi teknik, komponen biaya penyediaan listrik yang terbesar adalah biaya pembangkitan, khususnya biaya bahan bakar. Oleh sebab itu berbagai teknik untuk menekan biaya bahan bakar terus berkembang, baik dr segi unit pembangkit secara individu maupun dari segi operasi sistem tenaga listrik secara terpadu. Pusat listrik adalah tempat dimana proses pembangkitan tenaga listrik dilakukan, dimana proses pembangkitan tenaga listrik merupakan proses konversi energi primer (bahan bakar atau potensi tenaga alam) menjadi energi mekanik penggerak generator, yang selanjutnya energi mekanik ini dikonversikan oleh generator menjadi tenaga listrik.

Berdasarkan sumber energi pusat listrik, maka jenis-jenis pembangkit listrik dibedakan menjadi:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), menggunakan tenaga air sebagai sumber energi primer.
2. Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), menggunakan bahan bakar minyak atau bahan bakar gas sebagai energi primer.
3. Pembangkit Listrik tenaga Uap (PLTU), menggunakan bahan bakar batubara, minyak atau gas sebagai sumber energi primer.
4. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), menggunakan bahan bakar gas atau minyak sebagai energi primer.
5. Pembangkit listrik tenaga Gas dan Uap, merupakan kombinasi PLTG dan PLTU dimana gas buangan dari PLTG dimanfaatkan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap penghasil uap untuk penggerak turbin uap.

6. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), merupakan PLTU yang tidak mempunyai ketel uap dikarenakan sumber uap penggerak turbin uapnya didapat dari dalam bumi.
7. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), merupakan PLTU yang menggunakan uranium sebagai bahan bakar yang menjadi sumber energi primernya, dimana uranium menjalani proses fisi dalam reaktor nuklir yang menghasilkan energi panas yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap.

Adapun beberapa masalah utama dalam sistem pembangkit tenaga listrik diuraikan sebagai berikut:

1. Penyediaan Energi Primer

Energi primer untuk pusat listrik termal adalah bahan bakar, dimana penyediaan bahan bakar meliputi: pengadaan, transportasi, dan penyimpanannya, terutama yang memerlukan perhatian terhadap risiko kebakaran.

2. Penyediaan air pendingin

Masalah penyediaan air pendingin timbul pada pusat listrik termal seperti PLTU dan PLTD sehingga banyak dibangun di daerah pantai karena membutuhkan air pendingin dalam jumlah besar dengan menggunakan air laut. PLTG tidak memerlukan air pendingin yang banyak.

3. Masalah limbah

PLTU batu bara menghasilkan limbah berupa abu batu bara dan asap yang mengandung gas SO₂, CO₂, dan NO₂. PLTD dan PLTG mempunyai limbah berupa minyak pelumas. PLTA tidak menghasilkan limbah, sebaliknya limbah dari masyarakat yang dibuang ke sungai penggerak PLTA yang sering menimbulkan gangguan.

4. Masalah Kebisingan

Pusat listrik termal menimbulkan suara keras yang merupakan kebisingan bagi masyarakat yang tinggal di dekatnya, sehingga perlu dijaga agar tidak melampaui standar yang berlaku.

5. Operasi

Sebagian besar pembangkit listrik berlaku 24 jam sehari, dan mengingat biaya penyediaan tenaga listrik sebanyak 60% untuk membeli bahan bakar, maka penting dilakukan operasi yang seefisien mungkin untuk meminimisasi peningkatan biaya operasional yang tidak optimal hasilnya.

6. Pemeliharaan

Pemeliharaan peralatan sangat diperlukan secara berkala untuk mempertahankan efisiensi, keandalan produksi listrik yang dihasilkan serta umur ekonomisnya.

7. Gangguan dan Kerusakan

Gangguan adalah peristiwa yang menyebabkan Pemutus Tenaga (PMT) membuka trip diluar kehendak operator sehingga terjadi pemutusan pasokan energy. Gangguan sesungguhnya adalah peristiwa hubung singkat yang penyebabnya kebanyakan petir atau tanaman, tetapi tidak menutup kemungkinan terjadi dari kerusakan alat.

8. Pengembangan Pembangkitan

Karena beban yang terus bertambah setiap waktu, sedang pihak unit pembangkit yang ada menjadi semakin tua dan perlu dikeluarkan dari operasi, maka pusat listrik yang berdiri sendiri ataupun yang terdapat dalam system interkoneksi memerlukan pengembangan. Jika gedung pusat listrik masih memungkinkan untuk pengembangan, maka dilakukan penambahan unit pembangkit, sedangkan jika tidak ada maka harus dilakukan pembangunan pusat listrik yang baru.

9. Perkembangan Teknologi Pembangkitan

Pada umumnya mengarah pada perbaikan efisiensi dan penemuan teknik konversi energi yang baru dan penemuan bahan bakar baru. Perkembangannya dapat meliputi perangkat keras (*hardware*) seperti komputerisasi, juga perangkat lunak (*software*) seperti pengembangan model-model matematika untuk optimasi.

2.1.2. Sistem Transmisi

Sistem transmisi sebagai bagian dari sistem tenaga listrik memegang peranan penting dalam penyampaian tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik ke gardu induk distribusi. Sistem transmisi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang jauh dari pusat-pusat beban, dan juga untuk saluran interkoneksi antara sistem tenaga listrik yang satu dengan sistem tenaga listrik yang lain. Misalnya pembangkit listrik tenaga air dibangun dekat sumber energi alam berupa air terjun yang jauh di pedalaman, sedangkan pusat beban atau pelanggan tenaga listrik yaitu pabrik, industry, komersial, perumahan dan sebagainya kebanyakan berlokasi di perkotaan. Saluran transmisi ini akan mengalami rugi-rugi tenaga sehingga untuk mengatasinya tenaga yang dikirim dari pusat pembangkit ke pusat beban harus ditransmisikan dengan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi.

Sistem transmisi pada dasarnya dapat dikategorikan menjadi:

1. Berdasarkan arus terdiri dari saluran transmisi arus bolak balik dan transmisi arus searah
2. Berdasarkan tegangan terdiri dari saluran tegangan rendah, saluran tegangan menengah, saluran tegangan tinggi dan saluran tegangan ekstra tinggi, yang masing-masing mengikuti standar tertentu.
3. Berdasarkan penempatan terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah.
4. Berdasarkan jarak terdiri dari saluran transmisi jarak pendek sekitar sampai dengan 50 mil, saluran transmisi jarak menengah antara 50 mil sampai dengan 150 mil dan saluran transmisi jarak jauh lebih dari 150 mil.
5. Berdasarkan karakteristiknya saluran transmisi mempunyai parameter yang terdiri dari resistans, induktans, kapasitans dan konduktans.

Jarak tempuh yang jauh, faktor alam dan penggunaan saluran transmisi yang berada di atas tanah menyebabkan sistem transmisi rentan terhadap terjadinya gangguan. Dampak gangguan yang dirasakan pelanggan berupa pemadaman listrik juga kerusakan peralatan elektronik, sedangkan untuk PLN sendiri adalah memburuknya citra PLN dimata masyarakat.

Widyastuti (2014), mengidentifikasi gangguan yang menjadi top level event pada saluran transmisi pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1. Gangguan Sistem Transmisi

No	Faktor Penyebab	Penyebab Gangguan	Keterangan
1	Alat	Kerusakan alat	Gangguan peralatan yang disebabkan oleh factor teknis dimana alat tidak berfungsi sebagaimana mestinya.
2	Material	Kualitas material buruk	Gangguan yang disebabkan oleh kondisi material yang digunakan kurang baik.
3	Manusia	Kegiatan dan kesalahan manusia	Gangguan yang disebabkan oleh semua aktivitas manusia yang tidak mengikuti prosedur kerja yang telah ditetapkan.
4	Lingkungan	Gangguan alam	Gangguan yang sulit diprediksi terjadinya karena berasal dari alam dan umumnya bersifat temporer.

2.1.3. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Sistem distribusi merupakan rangkaian yang dimulai dari sisi sekunder (tegangan menengah) di gardu induk hingga sisi tegangan rendah di pelanggan. Sub Divisi sistem distribusi terdiri dari distribusi primer, yang merupakan saluran distribusi tegangan menengah 20 kV yaitu menyalurkan energy listrik mulai dari transformator sisi sekunder pada gardu induk tegangan menengah sampai sisi primer transformator gardu distribusi, dan distribusi sekunder, yang menggunakan tegangan rendah 220/380 Volt dan menyalurkan energi listrik dari transformator sisi sekunder pada gardu distribusi sampai ke konsumen.

Sistem distribusi merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, yang berfungsi untuk membagi atau menyalurkan tenaga listrik ke beberapa tempat konsumen baik pabrik, industri, komersial, dan

umum untuk menjadi kebutuhan tenaga listrik perumahan yang dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Berbagai tipe saluran distribusi yang terdiri dari:
 - a. Menurut arus, searah dan bolak balik
 - b. Menurut besar tegangan yang dipakai
 - c. Menurut frekuensi yang di pakai
 - d. Menurut jenis konstruksi yang dipakai
 - e. Menurut beban, penerangan, komersial dan industri
 - f. Menurut bentuk sambungan, 3 fasa 3 kawat, 3 fasa 4 kawat, fasa tunggal
 - g. Menurut hubungan rangkaian, radial, tertutup (*loop*), dan *network*
 - h. Menurut sistem pentanahan titik netralnya
2. Berdasarkan peralatan terdiri dari tiang penyangga, penghantar, isolator, dan trafo distribusi
3. Berdasarkan pengaman gangguan sistem distribusi:
 - a. Pengaman terhadap arus lebih dapat mempergunakan pengaman lebur, penutup balik otomatis dan pemutus tenaga untuk distribusi saluran udara; pengaman lebur dan pemutus tenaga untuk saluran distribusi bawah tanah
 - b. Pengaman terhadap gangguan tegangan lebih, untuk saluran distribusi udara memakai arester atau penangkal petir.

Keandalan dalam sistem distribusi adalah suatu ukuran ketersediaan / tingkat pelayanan tenaga listrik dari sistem ke pemakai, dimana ukuran keandalan dapat dinyatakan sebagai seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi (*restoration*).

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada aliran distribusi yang dibentangkan di udara bebas (SUTM) yang umumnya tidak memakai isolasi disbanding dengan saluran distribusi yang ditanam dalam tanah (SKTM).

Soleh (2014), menyatakan berdasarkan sumber terjadinya, gangguan distribusi dapat dikelompokkan menjadi:

1. Gangguan dari dalam sistem, antara lain:
 - Tegangan lebih atau arus lebih
 - Pemasangan yang kurang tepat
 - Usia pemakaian komponen dan peralatan
2. Gangguan dari luar sistem antara lain:
 - Dahan/ranting pepohonan yang mengenai SUTM
 - Sambaran petir
 - Hujan atau cuaca
 - Kerusakan pada peralatan
 - Binatang ataupun layang-layang
 - Penggalian tanah
 - Gagalnya isolasi karena kenaikan temperature
 - Kerusakan sambungan

Berdasarkan sifatnya gangguan sistem distribusi dibagi menjadi:

1. Gangguan temporer,
yaitu gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (*autorecloser*) maupun secara manual oleh operator. Jika gangguan ini terjadi berulang-ulang dapat menyebabkan gangguan permanen dan juga kerusakan peralatan.
2. Gangguan permanen,
yaitu gangguan yang bersifat tetap sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai dengan jatuhnya (*trip*) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadinya gangguan. Sebuah peralatan harus dilengkapi dengan sistem pengamanan relay yang dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamannya.

2.2. *Decision Support System (DSS)*

Untuk mengembangkan suatu sistem informasi diperlukan metodologi pengembangan sistem, yaitu menyusun suatu sistem baru untuk menggantikan sistem lama secara keseluruhan atau memperbaiki sistem yang telah ada. Robert A Szymanski dkk, dalam bukunya "*Computer & Information Systems*" mendefenisikan "sistem informasi adalah sekumpulan fungsi yang bekerja secara bersama-sama dalam mengelola: pengumpulan, penyimpanan, pemrosesan, serta pendistribusian informasi". Sejalan dengan perkembangan komputer, terkesan bahwa seluruh sistem yang terkomputerisasi dianggap sebagai sistem informasi, dan juga sebaliknya dimana sistem informasi harus selalu berbasiskan sistem pengolahan data berbantuan komputer.

Simkin Mark G dalam bukunya yang berjudul "*Computer Information Systems for Business*" mengatakan bahwa "sistem informasi adalah sekumpulan elemen yang bekerja secara bersama-sama baik secara manual ataupun berbasis komputer dalam melaksanakan pengolahan data yang berupa pengumpulan, penyimpanan, pemrosesan data untuk menghasilkan informasi yang bermakna dan berguna bagi proses pengambilan keputusan". Jadi keberadaan komputer pada sistem informasi pada dasarnya tidak mutlak, tetapi komputer dengan segenap kemampuannya dalam memproses data, akan meningkatkan efektivitas, produktivitas, serta efisiensi suatu sistem informasi.

Burch dan Strater dalam bukunya "*Information System: Theory and Practice*" mendefenisikan "sistem informasi adalah suatu kumpulan fungsi-fungsi yang bergabung secara formal dan secara sistematis: (a) melaksanakan pengolahan data transaksi operasional, (b) menghasilkan informasi untuk mendukung manajemen dalam melaksanakan aktivitas perencanaan, pengendalian dan pengambilan keputusan, (c) menghasilkan berbagai laporan bagi kepentingan eksternal organisasi".

Dari ketiga defenisi diatas, dapat dilihat bahwa sistem informasi harus bermanfaat bagi manajemen dalam proses pengambilan keputusan yang terkait dengan pengolahan data untuk menghasilkan laporan. Kualitas informasi yang dimaksudkan terkait dengan relevan, aksesibilitas, kelengkapan, ketelitian,

ketepatan makna (akurat), ketepatan waktu, dapat dipahami dengan jelas dan fleksibilitas karena informasi merupakan sumber daya strategis bagi suatu organisasi.

Simkin Mark G mengklasifikasikan sistem informasi kedalam enam generasi, yaitu:

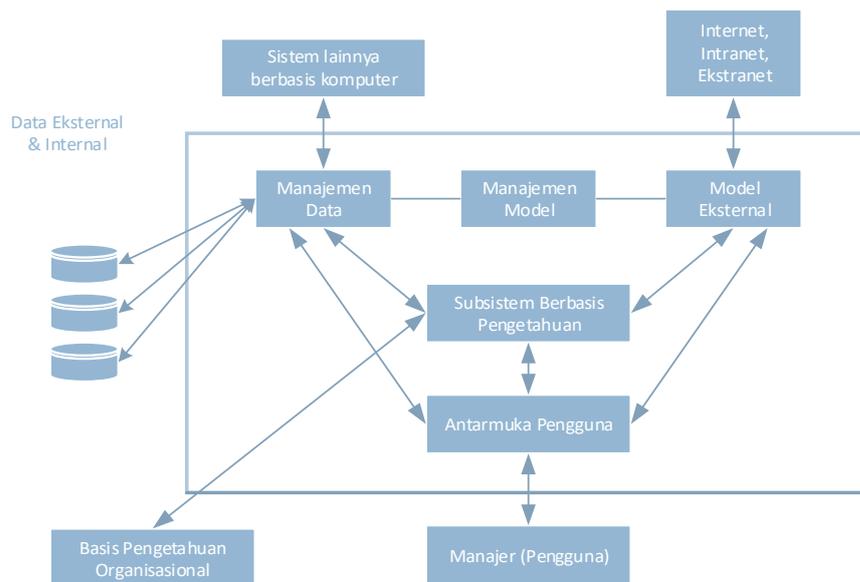
1. Sistem Manual (*Manual Systems*)
2. Sistem Mekanik (*Mechanical Systems*)
3. Sistem Pengolahan Data Elektronik (*Electronic Data Processing / EDP*)
4. Sistem Informasi Manajemen (*Management Informations Systems*)
5. Sistem Pendukung Keputusan (*Decision Support Systems*)
6. Sistem Pakar (*Expert Systems*)

Salah satu tugas utama manajemen adalah mempertahankan keberadaan (*existence*) dan meningkatkan kinerja (*performance*) organisasi yang di kelolanya. Untuk itu manajemen harus mengambil keputusan mengenai langkah-langkah yang harus diambil, baik pada tingkat strategi, taktik maupun operasional. Fishburn dalam bukunya yang berjudul “*Strategy for Action*” mendefenisikan pengambilan keputusan adalah suatu pilihan tentang suatu bagian tindakan (*course of action*). Burch dan Strater mendefenisikan “keputusan adalah suatu pilihan yang mengarah kepada tujuan yang diinginkan, sebagai aktivitas pemilihan tindakan dari sekumpulan alternatif untuk memecahkan suatu masalah”. Churchman mendefenisikan pengambilan keputusan merupakan aktivitas manajemen berupa pemilihan tindakan dari sekumpulan alternatif yang telah dirumuskan sebelumnya untuk memecahkan suatu masalah atau suatu konflik dalam manajemen.

Konsep Sistem Pendukung Keputusan (SPK) / *Decision Support System (DSS)* pertama kali diungkapkan pada awal tahun 1970-an oleh Michael S. Scott Morton dengan istilah *Management Decision Systems*, dengan menyimpulkan bahwa sistem ini merupakan suatu sistem yang berbasis komputer yang ditujukan untuk membantu pengambil keputusan dalam memanfaatkan data dan model tertentu untuk memecahkan berbagai persoalan yang tidak terstruktur. Mat dan Watson memberikan defenisi bahwa DSS merupakan suatu system interaktif yang membantu pengambil keputusan melalui penggunaan data dan model-model

keputusan untuk memecahkan masalah-masalah yang sifatnya semi terstruktur dan tidak terstruktur.

Maryam Alavi dan H. Albert Napier mendefenisikan DSS sebagai suatu kumpulan prosedur pemrosesan data dan informasi yang berorientasi pada penggunaan model untuk menghasilkan berbagai jawaban yang dapat membantu manajemen dalam pengambilan keputusan. Menurut Alter (2002), *Decision Support Systems/DSS* merupakan sistem informasi interaktif yang menyediakan informasi, pemodelan, dan pemanipulasian data, yang digunakan untuk membantu pengambilan keputusan dalam situasi yang semi terstruktur dan situasi yang tidak terstruktur, dimana tak seorang pun mengetahui secara pasti bagaimana keputusan yang seharusnya dibuat.



Gambar 2. 2. Arsitektur Decision Support System

Masalah semi terstruktur memiliki karakteristik yang merupakan perpotongan dari masalah terstruktur dan masalah tidak terstruktur. Dua sifat diantaranya adalah beberapa bagian dari masalah terjadi berulang-ulang sementara beberapa bagian dari masalah melibatkan subjektivitas manusia. Karena mencakup masalah yang semi terstruktur ini, maka perpaduan antara komputer dan manusia menjadi faktor yang menentukan. Bagian dari masalah yang lebih bersifat terstruktur dapat ditangani dengan baik oleh aplikasi komputer yang dibangun

untuk menangani masalah tersebut, sementara bagian masalah yang bersifat tidak terstruktur ditangani oleh manusia pembuat keputusan. Oleh karena itu DSS akan memadukan unsur aplikasi komputer dengan unsur kemanusiaan pengambil keputusan.

Aplikasi DSS menggunakan data, memberikan antarmuka pengguna (*interface*) dan dapat menggabungkan pemikiran pengambil keputusan yang mendukung manajemen dalam melakukan pekerjaan yang bersifat analitis dalam situasi yang kurang terstruktur dengan kriteria yang kurang jelas. DSS tidak dimaksudkan untuk mengotomatisasikan pengambilan keputusan, tetapi memberikan perangkat interaktif yang memungkinkan pengambil keputusan untuk melakukan berbagai analisis menggunakan model-model yang tersedia.

Tujuan dari DSS adalah (Turban, 2005):

1. Membantu manajer dalam pengambilan keputusan atas masalah semi terstruktur
2. Memberikan dukungan atas pertimbangan manajer dan bukannya dimaksudkan untuk menggantikan fungsi manajer.
3. Meningkatkan efektifitas keputusan yang di ambil manajer lebih dari pada perbaikan efisiensinya.
4. Kecepatan kompuasi memungkinkan para pengambil keputusan untuk melakukan banyak komputasi secara tepat dengan biaya yang rendah.
5. Peningkatan produktivitas, menggunakan peralatan optimasi yang menentukan cara terbaik untuk menjalankan sebuah bisnis, dan juga memungkinkan anggota kelompok pengambil keputusan berada di berbagai lokasi yang berbeda-beda.
6. Dukungan kualitas, dimana semakin banyak data yang diakses, makin banyak juga alternative yang dapat dievaluasi. Dengan komputerisasi para pengambil keputusan bias melakukan simulasi yang kompleks, memeriksa banyak scenario yang memungkinkan, dan menilai berbagai pengaruh secara cepat dan ekonomis.
7. Berdaya saing karena adanya tekanan persaingan bisnis, yang mengharuskan organisasi untuk sering dan cepat mengubah mode operasi, merekayasa ulang proses dan struktur, memberdayakan karyawan, serta berinovasi.

8. Mengatasi keterbatasan kognitif dalam pemrosesan dan penyimpanan. Menurut Simon (1977) bahwa otak manusia memiliki kemampuan yang terbatas untuk memproses dan menyimpan informasi, sehingga orang-orang kadang sulit mengingat dan menggunakan informasi.

Adanya penekanan dari defenisi para ahli akan pentingnya penggunaan model sebagai dasar perumusan berbagai alternatif untuk membantu pencarian jawaban terhadap permasalahan yang dihadapi. Model merupakan abstraksi dunia nyata menjadi bentuk simbolik dengan tujuan menyederhanakan, meminimalkan biaya, dan meminimalkan resiko agar lebih efektif. Sebuah model akan sangat bergantung pada variable waktu (tetap/tidak), hasil (acak/terdistribusi/pola) dan nilai awalnya (ada/tidak ada). Pemilihan model tergantung pada tujuan dari pengkajian sistem dan terlihat jelas dalam formulasi permasalahan dalam tahap evaluasi kelayakan. Sifat model tergantung pada teknik permodelan yang dipakai dengan harus memperhatikan bahwa pemodelan merupakan sesuatu yang sulit dilakukan dan seringkali menggunakan asumsi-asumsi (tidak menggunakan data).

Adapun keuntungan penggunaan model adalah:

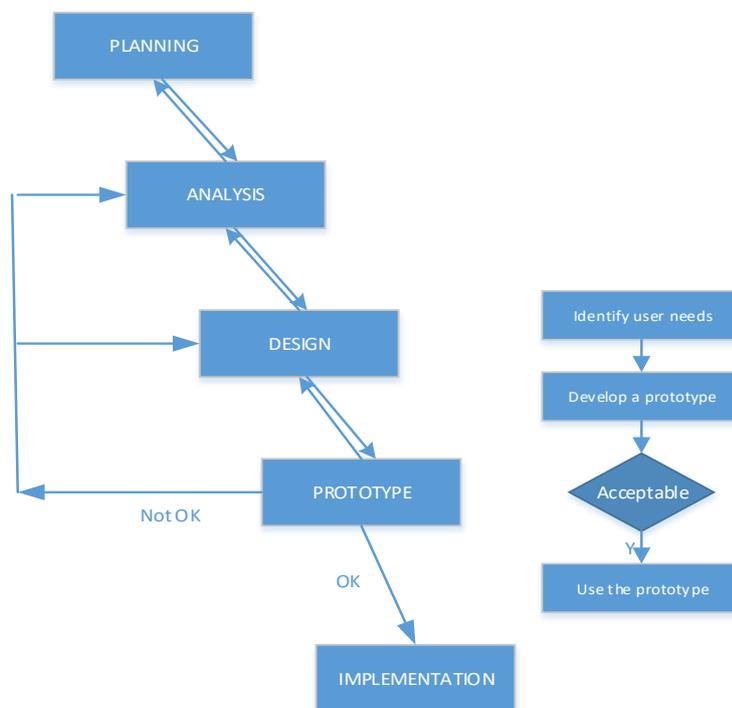
1. Mereduksi biaya
2. Mereduksi waktu
3. Mudah dimanipulasi
4. Mendekati real systems
5. Lebih pasti
6. Dapat menganalisis permasalahan yang kompleks
7. Dapat digunakan sebagai bahan latihan

Karena DSS berhubungan dengan kegiatan pengambilan keputusan, maka kita perlu mengetahui dengan baik bagaimana melakukan pemodelan dalam tahapan proses pengambilan keputusan dilakukan. Simon (1980) membaginya menjadi 4 tahapan, yaitu:

1. Tahap penelusuran/Studi kelayakan (*Intelligence*), mempelajari kenyataan yang terjadi, menentukan sasaran dan melakukan pencarian prosedur, pengumpulan data, identifikasi masalah, kepemilikan masalah, klasifikasi

masalah, hingga akhirnya terbentuk sebuah pernyataan masalah. Biasanya dilakukan analisis berurutan dari sistem ke subsistem pembentuknya

2. Perancangan (*Design*), menemukan, mengembangkan, dan menganalisis semua pemecahan yang mungkin, berkaitan dengan bagian apa yang akan dibangun oleh DSS dan tugas apa dari bagian tersebut sehingga model tersebut bias relevan dengan kebutuhan si pemilik masalah.
3. Pemilihan (*Choice*), menentukan berbagai alternatif model beserta variabel-variabelnya, melakukan pemilihan model termasuk solusi dari model tersebut yang dipandang sebagai aksi paling tepat untuk masalahnya. Kemudian melakukan analisis sensitivitas yaitu dengan mengganti beberapa variabel.
4. Tahap Implementasi DSS, merupakan pelaksanaan dari keputusan yang diambil, menjalankan rangkaian aksi pemecahan yang dipilih, dimana implementasi yang sukses ditandai dengan terjawabnya masalah yang dihadapi, sementara kegagalan ditandai dengan tetap adanya masalah yang sedang dicoba untuk diatasi. Hasil keputusan harus selalu dipantau dan disesuaikan kembali apabila diperlukan perbaikan-perbaikan.



Gambar 2.3. Metode Pengembangan Decision Support System (DSS)

Pada umumnya DSS yang dirancang nantinya diharapkan dapat memenuhi kemampuan berikut ini:

1. Memberikan dukungan yang kuat bagi manajemen bila suatu saat manajer dihadapkan dengan masalah-masalah yang sifatnya terstruktur maupun tidak terstruktur.
2. Memberikan dukungan pada proses pengambilan keputusan untuk semua tingkat manajemen dalam suatu organisasi, dan mengintegrasikan semua tingkat manajemen pada saat yang tepat.
3. Memberikan dukungan komunikasi bagi para pengambil keputusan dalam rangka pengambilan suatu keputusan yang saling bergantung (interdependence)
4. Mendukung semua langkah proses pengambilan keputusan dan memberikan fasilitas interaksi diantara langkah-langkah tersebut.
5. Mendukung berbagai proses pengambilan keputusan namun tidak menjadikan seluruh proses manajerial tergantung pada dirinya
6. Mudah dalam pemakaiannya dan memungkinkan modifikasi terhadap perubahan sesuai dengan perkembangan kebutuhan pemakai.

Disamping berbagai keuntungan dan manfaat, DSS juga memiliki beberapa keterbatasan, diantaranya adalah:

1. Ada beberapa kemampuan manajemen dan bakat manusia yang tidak dapat dimodelkan, sehingga model yang ada dalam system tidak semuanya mencerminkan persoalan sebenarnya.
2. Kemampuan suatu DSS terbatas pada pembendaharaan pengetahuan yang dimilikinya yaitu pengetahuan dasar serta model dasar.
3. Proses-proses yang dapat dilakukan oleh DSS biasanya tergantung juga pada kemampuan perangkat lunak yang digunakannya.
4. DSS tidak memiliki kemampuan intuisi seperti yang dimiliki oleh manusia, karenanya secanggih apapun suatu DSS hanyalah sekumpulan perangkat keras, perangkat lunak dan sistem operasi yang tidak dilengkapi dengan kemampuan berpikir.

2.3. Sistem, Pemodelan dan Simulasi

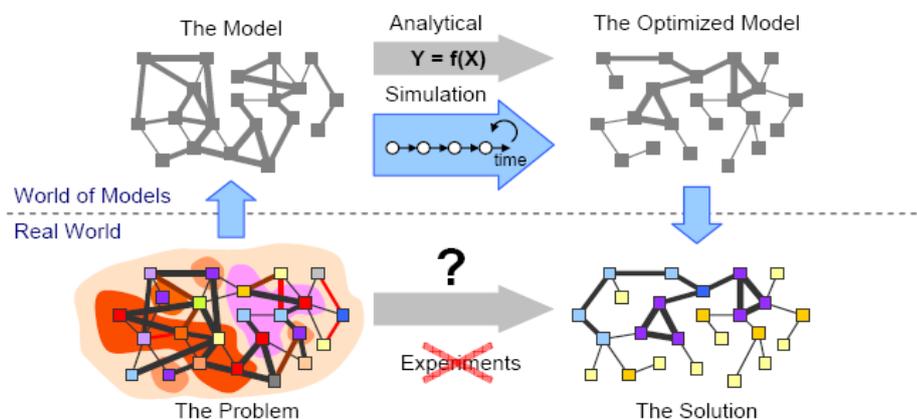
Pendefinisian sistem terbagi dalam dua pendekatan, dimana pendekatan pertama lebih menekankan pada prosedurnya, dan yang kedua lebih menekankan pada komponen atau elemennya. Berdasarkan prosedurnya, FitzGerald (1981) mendefinisikan sistem adalah suatu jaringan kerja dari prosedur-prosedur yang saling berhubungan, berkumpul bersama-sama untuk melakukan suatu kegiatan atau untuk menyelesaikan suatu sasaran tertentu. Pendekatan sistem yang lebih menekankan pada elemen atau komponennya mendefinisikan sistem sebagai kumpulan dari elemen-elemen yang berinteraksi untuk mencapai suatu tujuan tertentu.

Pendekatan sistem yang kedua lebih banyak diterima karena pada kenyataannya suatu sistem dapat terdiri dari beberapa subsistem atau sistem-sistem bagian, sehingga pendekatan pada elemen atau komponen akan lebih mudah mempelajari suatu system untuk tujuan analisis dan perancangannya. Jogiyanto (2005); suatu system mempunyai karakteristik yaitu mempunyai komponen-komponen (*components*), batas system (*boundary*), lingkungan luar system (*environments*), penghubung (*interface*), masukan (*input*), keluaran (*output*), pengolah (*process*), dan sasaran (*objectives*) atau tujuan (*goal*).

Pemodelan adalah sebuah cara untuk menyelesaikan masalah yang terjadi di dunia nyata (A.Filippov July 25 - 29, 2004.). Pemodelan dilakukan jika implementasi langsung atau eksperimen terlalu mahal untuk dilakukan atau sulit dilakukan. Pemodelan memungkinkan sistem dioptimalkan sebelum diimplementasikan di dunia nyata. Pemodelan meliputi proses pemetaan masalah dari dunia nyata untuk dimodelkan dalam dunia model (proses abstraksi) untuk kemudian dianalisa dan dioptimalkan sehingga didapat solusi yang dapat diimplementasikan di dunia nyata.

Menurut Borshchev dan filippov 2004, metode simulasi berbeda dengan metode analitis. Dalam metode analitis atau statistic hasil yang didapat bergantung pada input (jumlah parameter). Sehingga memungkinkan mengimplemtasikan model dalam bentuk spreadsheet. Namun solusi analitis tidak selalu tersedia atau sangat sulit didapatkan. Dalam kasus seperti itu pemodelan dinamis dapat

diterapkan. Sebuah model simulasi dapat dianggap sebagai seperangkat aturan, misal: (persamaan dan diagram alir) yang mendefinisikan bagaimana sistem yang dimodelkan akan berubah dimasa mendatang, mengacu pada keadaan sekarang. Simulasi adalah proses eksekusi model yang mengambil pola perubahan yang terjadi terhadap waktu. Secara umum, untuk sebuah permasalahan yang kompleks dimana dinamika waktu adalah penting, pemodelan simulasi adalah jawaban yang lebih baik. Gambaran perbedaan konsep model analitis (statistik) dengan model simulasi dijelaskan pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2. 4. Diskripsi model analitis dan Vs Model Simulasi

(A.Filippov July 25 - 29, 2004,)

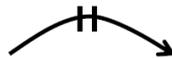
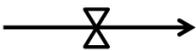
Model yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan bantuan perangkat lunak, penggunaan perangkat lunak tersebut bertujuan untuk mempercepat menganalisa perilaku dari model yang sudah dibuat. Terdapat beberapa perangkat lunak yang bisa digunakan untuk melakukan simulasi diantaranya Vensim, Dynamo, Ithink, Stella dan Power Simulation.

Pemanfaatan perangkat lunak tersebut untuk mempermudah dalam penggambaran dari model yang hendak dianalisa, karena perangkat lunak tersebut umumnya mempunyai kemampuan untuk menggambarkan sistem dalam bentuk visual dengan menggunakan simbol-simbol tertentu yang biasa digunakan untuk pemodelan (Suryani, Yan Chou, et al. 2010). Keuntungan lain ketika menggunakan perangkat lunak tersebut adalah kemudahan dalam melakukan validasi atau uji coba terhadap model yang sudah dibuat, validasi tersebut dilakukan untuk memastikan

bahwa model yang dibuat sudah sesuai aturan pembuatan model, sedangkan uji coba bertujuan menguji model yang dibuat sudah sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan dengan cara melakukan rekayasa dalam bentuk uji coba bermacam-macam skenario sebelum model dari sistem diterapkan secara nyata (Suryani, Pemodelan dan Simulasi 2006).

Pada umumnya aneka simbol yang digunakan untuk menggambarkan model dari sistem yang digunakan oleh perangkat lunak simulasi Seperti yang terlihat pada Tabel 2.2 seperti di bawah ini:

Tabel 2. 2. Simbol-simbol diagram alir yang digunakan pada pemodelan (Sterman 2000)

No	Simbol	Arti
1		Level
2		Auxiliary
3		Konstanta
4		Sumber
5		Hubungan
6		Hubungan tertunda
7		Inisialisasi hubungan
8		Aliran

2.4. Sistem Dinamis

Sistem dinamik merupakan pendekatan dengan bantuan komputer untuk menganalisa dan mendesain suatu kebijakan. Secara harfiah setiap sistem dinamik ditandai dengan ketergantungan, interaksi mutualisme, umpan balik informasi, dan perputaran sebab akibat, (Richardson, 2013). Pendekatan sistem dinamik (adaptasi dari Richardson 2013) dimulai dari pendefinisian masalah secara dinamis dari waktu ke waktu, dilanjutkan dengan tahap pemetaan dan pemodelan variabel-variabel signifikan yang mempengaruhi. Setelah variabel-variabel dirasa cukup,

tahap selanjutnya yaitu pengembangan *stock and flow diagram*. Pada tahap ini proses yang dilakukan yaitu identifikasi arus masuk atau akumulasi (*level*) dalam sistem dan arus keluar (*rate*). Tahap selanjutnya yaitu pengembangan model dan disimulasikan dengan bantuan komputer lalu mengumpulkan pemahaman dan kebijakan yang berlaku dari model yang dihasilkan.

Langkah-langkah yang terlibat dalam simulasi, (Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, 2000):

1. Pendefinisian masalah yang meliputi:
 - a. Penentuan batasan masalah
 - b. Identifikasi variabel yang signifikan
2. Formulasi model: merumuskan hubungan antar komponen-komponen model.
3. Pengambilan data yang diperlukan sesuai dengan tujuan pembuatan model.
4. Pengembangan model.
5. Verifikasi model terhadap error.
6. Validasi model, apakah model yang dibuat sudah sesuai dengan sistem nyata.

Dua cara validasi yaitu (Barlas, 1996):

- a. Perbandingan Rata-Rata (Mean Comparison)

$$E1 = \frac{[\bar{S} - \bar{A}]}{\bar{A}} \quad (2.1)$$

\bar{S} = nilai_rata - rata_hasil_simulasi

\bar{A} = nilai_rata - rata_data

Model dianggap valid bila $E1 \leq 5\%$

- b. Perbandingan Variasi Amplitudo (Variance Comparison)

$$E2 = \frac{|Ss - Sa|}{Sa} \quad (2.2)$$

Ss = standard deviasi model

Sa = standard deviasi data

Model dianggap valid bila $E2 \leq 30\%$

7. Setelah model valid maka langkah selanjutnya adalah membuat beberapa skenario (eksperimen) untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan keinginan. Jenis-jenis skenario:

- a. Skenario parameter dilakukan dengan jalan mengubah nilai parameter model. Relatif mudah dilakukan karena hanya melakukan perubahan terhadap nilai parameter model namun dampaknya hanya terhadap output model.
 - b. Skenario struktur dilakukan dengan jalan mengubah struktur model. Skenario jenis ini memerlukan pengetahuan yang cukup tentang sistem agar struktur baru yang diusulkan/dieksperimenkan dapat memperbaiki kinerja sistem.
8. Interpretasi model. Proses ini merupakan penarikan kesimpulan dari hasil output model simulasi.
 9. Implementasi, penerapan model pada sistem.
 10. Dokumentasi, merupakan proses penyimpanan hasil *output* model.

2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Penggunaan energi matahari untuk sistem pembangkit listrik menjadi pilihan yang tepat karena Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi radiasi matahari yang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Dibutuhkan sebuah penerapan teknologi fotovoltaik untuk menghasilkan energi listrik dari konversi energy cahaya matahari, dimana prosesnya tidak menimbulkan pencemaran lingkungan emisi gas CO₂ dan juga kebisingan sehingga ramah lingkungan. Pemilihan sumber energi terbarukan ini sangat efektif mengingat suplai energy surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 3x10²⁴ joule pertahun, dimana dengan jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi diseluruh dunia (Yuliananda, 2015).

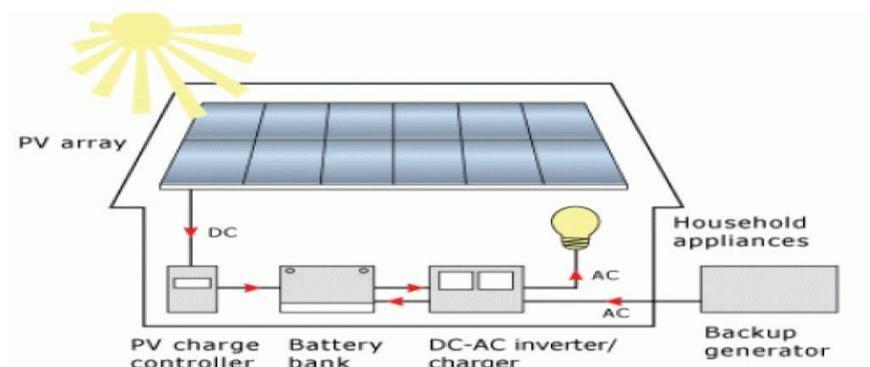
Radiasi matahari di Indonesia dapat dibagi menjadi dua area, yaitu wilayah barat dengan distribusi radiasnya sekitar 4,5 kWh/m²/hari yang bervariasi setiap bulannya sekitar 10%, dan 5,1 kWh/m²/hari untuk wilayah timur dengan variasi sekitar 9% (Handayani, 2012). Kebanyakan wilayah di Indonesia mendapatkan intensitas radiasi sinar matahari, yang biasa disebut dengan insolasi surya, rata-rata sekitar 4,8 kWh/m²/hari, yang berarti setiap 1kW fotovoltaik (PV) dapat menghasilkan energi listrik sebesar 4,8 kWh setiap harinya (Syaiquddin, 2012).

Masalah yang paling penting dalam merealisasikan energi matahari sebagai sumber alternative adalah efisiensi piranti sel surya dan harga pembuatannya, karena sistem PLTS sebenarnya tergantung pada efisiensi konversi energi dan konsentrasi sinar matahari yang diterima oleh sel tersebut (Riyadi, 2008). Kapasitas daya dari sel atau modul surya dilambangkan dalam watt peak (Wp) dan diukur berdasarkan standar pengujian internasional, yaitu *Standard Test Condition* (STC), dimana standar ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar $1.000\text{W}/\text{m}^2$ yang tegak lurus sel surya pada suhu 25°C (Gunawan, 2012). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya, diantaranya adalah radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya (*array*), sudut kemiringan panel surya (*array*), dan bayangan (*shading*) (Asy'ari, 2012; Ariani, 2015).

Dalam penerapannya, PLTS dapat dibangun dengan beberapa cara, yaitu:

1. Sistem terpusat (*centralized PV*), sistem PLTS yang mensuplai listrik secara terpusat untuk berbagai lokasi/beban yang bersifat on-grid maupun off-grid.
2. Sistem tersebar (*stand-alone*), sistem PLTS yang hanya mensuplai listrik khusus untuk kebutuhan beban yang tersebar di masing-masing lokasi dan sistem ini bersifat off-grid.
3. Sistem hibrida (*hybrid system*), sistem PLTS yang digunakan bersama-sama dengan sistem pembangkit lainnya dalam mensuplai listrik.

Gambar 2.5 berikut ini menjelaskan bagaimana tahapan sistem operasional PLTS mulai dari proses penyerapan radiasi sinar matahari sampai dikonversikan menjadi energy listrik.



Gambar 2. 5. Sistem Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia karena memiliki keunggulan sebagai sumber energi yang mudah didapatkan, ramah lingkungan, sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis, instalasi dan pengoperasian serta perawatannya mudah, listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai sehingga bisa mandiri. Energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik disebut juga dengan *energy photovoltaic*.

Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam sistem fotovoltaik antara lain:

1. Modul Surya, merupakan komponen utama dari PV yang menghasilkan energy listrik DC, yang terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya silicon) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik.
2. Baterai, merupakan komponen yang diperlukan untuk menyimpan energy listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari untuk kemudian digunakan pada malam hari.
3. Regulator baterai, adalah alat yang mengatur pengisian arus listrik dari modul surya ke baterai dan sebaliknya.
4. Inverter, adalah alat yang mengubah arus DC menjadi AC sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik yang digunakan.
5. Kabel instalasi, adalah kabel khusus yang dapat mengurasi susut daya, pemanasan pada kabel, dan kerusakan pada perangkat.

Kumara (2010) mengemukakan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap perluasan pemanfaatan PLTS khususnya yang bersifat swakarsa dan swakelola antara lain tingkat pendidikan dan pengetahuan masyarakat, daya beli, insentif dari pemerintah bagi pengguna PLTS, ketersediaan informasi teknis yang mudah diakses, dan ketersediaan peralatan dan komponen PLTS serta layanan purna jual untuk menjaga keberlanjutan penggunaan sistem yang telah terpasang.

2.6. Variabel Bilangan Acak (*Random*)

Statistika adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang metode perencanaan, pengumpulan data, pengelompokan dan pengolahan data, penyajian data dengan analisa data, serta pengambilan kesimpulan dengan memperhitungkan unsur ketidakpastian. Statistika dibagi menjadi dua, yaitu: (1) statistika deskriptif yang digunakan untuk mengumpulkan, meringkas data, menyajikan dan mendeskripsikan data sehingga dapat memberikan informasi yang berguna, dan (2) statistika inferensi yang berhubungan dengan analisis data pada sampel dan hasilnya digunakan untuk generalisasi pada populasi.

Data statistik adalah data yang berwujud angka, dimana angka tersebut menunjukkan suatu ciri dari penelitian yang bersifat agresif, yaitu pencatatan dilakukan lebih dari satu kali dan mencerminkan kegiatan dalam bidang tertentu, (Hartono, 2008). Oleh karenanya pengenalan jenis-jenis data statistik sangat penting karena menentukan pilihan teknis analisis data yang akan digunakan. Para pengambil keputusan sering memperhatikan nilai-nilai data yang dikaitkan dengan berbagai peristiwa daripada sekedar melihat nilai-nilai itu sendiri.

Dalam menggunakan model simulasi yang bersifat stokhastik, maka akan melibatkan variabel acak (*random*) karena faktor-faktor yang tidak terkendali dalam sistem berfluktuasi dalam bentuk yang sulit diramalkan, tetapi dapat dijelaskan secara stokhastik. Variabel acak menggambarkan hasil-hasil percobaan sebagai nilai-nilai numerik secara sederhana dan didefinisikan sebagai deskripsi numerik dari hasil percobaan. Nilai-nilai tersebut dapat bersifat diskrit (hasil perhitungan) dan bersifat kontinu (hasil pengukuran), sehingga pengelompokannya dibagi menjadi:

1. **Variabel Acak Diskrit**, adalah variabel acak yang tidak mengambil seluruh nilai yang ada dalam sebuah interval dimana nilainya merupakan bilangan bulat dan asli, dan tidak berbentuk pecahan karena dihasilkan oleh enumerasi atau perhitungan. Jika digambarkan pada sebuah garis interval akan berupa sederetan titik-titik yang terpisah, yang disusun berdasarkan jenis atau kategori. Contoh: banyaknya saham yang terjual setiap hari di pasar saham, pendapatan tahunan seorang pegawai.

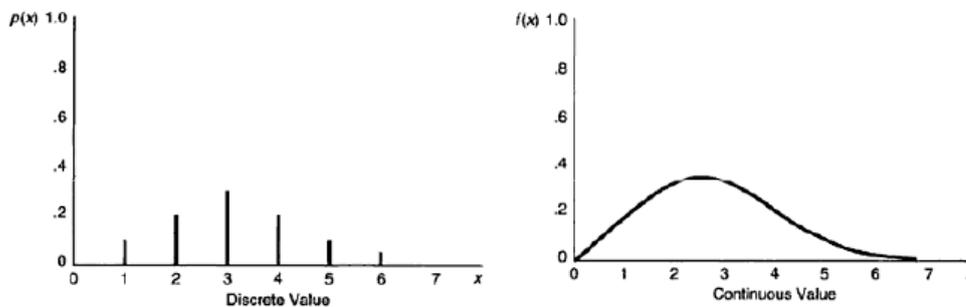
Distribusi variabel acak diskrit yang biasa digunakan adalah:

- a. Distribusi Binomial
 - b. Distribusi Multinomial
 - c. Distribusi Hipergeometrik
 - d. Distribusi Poisson
2. **Variabel Acak Kontinu**, adalah variabel acak yang mengambil seluruh nilai yang ada dalam sebuah interval, atau variabel yang dapat memiliki nilai-nilai pada suatu interval tertentu, dimana nilainya dapat berupa bilangan bulat maupun pecahan. Jika digambarkan pada sebuah garis interval, akan berupa sederetan titik yang bersambung membentuk suatu garis lurus.

Contoh: waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki sebuah mesin, volume bahan bakar yang dijual oleh perusahaan minyak

Distribusi variabel acak kontinu yang umum digunakan adalah:

- a. Distribusi Normal
- b. Hampiran Distribusi Normal terhadap Distribusi Binomial



Gambar 2.6. Perbandingan Distribusi Diskrit dengan Distribusi Kontinu

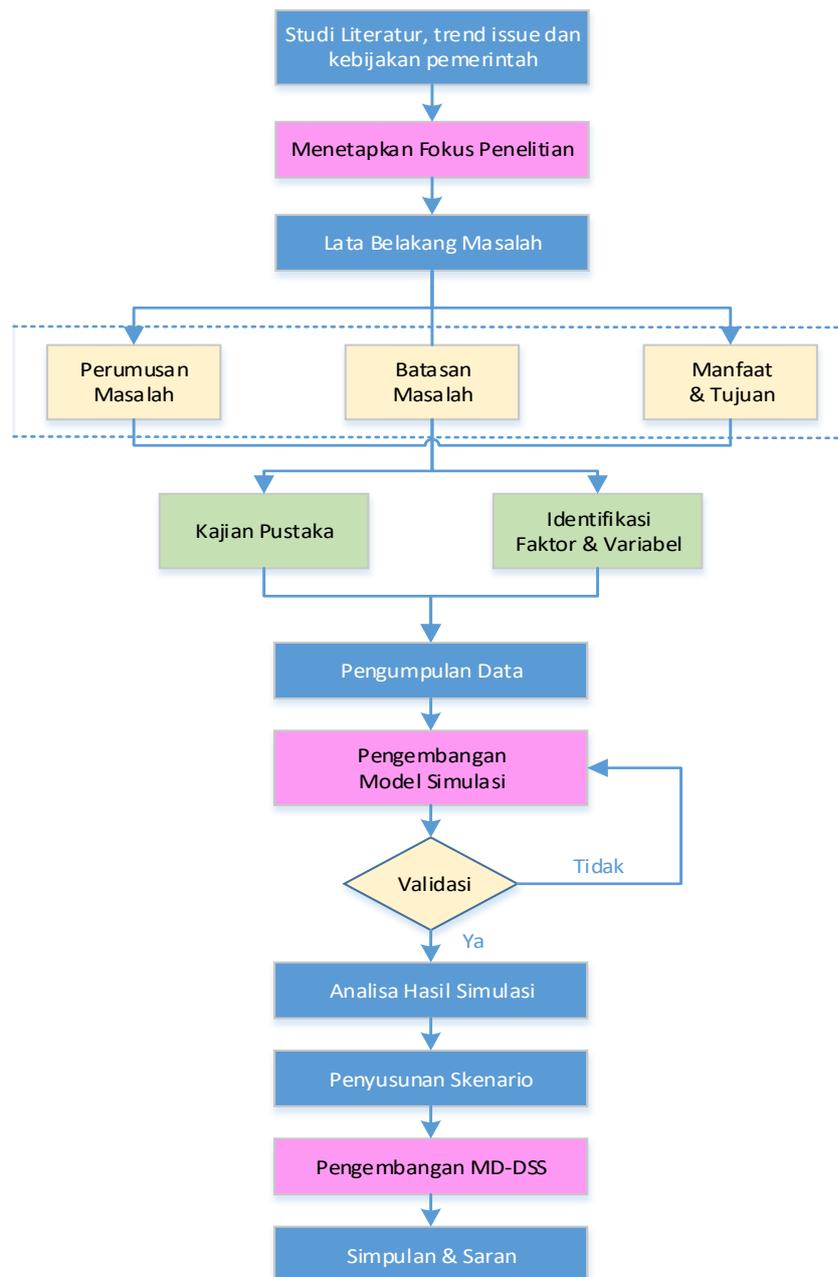
Suatu pembangkit bilangan acak harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Angka yang dihasilkan harus sedekat mungkin distribusinya
2. Pembangkit bilangan random harus cepat dan efisien dalam penyimpanan dan waktu eksekusinya.
3. Dapat menghasilkan kelompok-kelompok bilangan random yang berbeda atau dapat menghasilkan kembali suatu urutan angka kapan saja diperlukan.
4. Metode yang digunakan harus menjamin tidak akan menghasilkan kembali angka-angka yang sama pada waktu relatif dekat.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian yang secara keseluruhan dapat dilihat pada bagan Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3. 1. Tahapan Metode Penelitian

3.1. Studi Literatur

Mempelajari sistem yang menjadi objek penelitian, yang dalam hal ini adalah sistem operasional listrik yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur dan UPJ PLN Area Pamekasan. Proses pembelajaran sistem meliputi hal-hal yang berhubungan dengan sistem pembangkit listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi. Selain itu juga mencari isu-isu global dan kemajuan teknologi yang sedang berkembang dalam sistem kelistrikan, baik informasi umum yang diberitakan media massa maupun laporan-laporan kerja berkala yang dipublikasikan dalam *website* resmi PLN untuk lingkungan dalam dan luar perusahaan sendiri. Berbagai kebijakan baru juga perlu diperhatikan, berupa peraturan-peraturan yang dikeluarkan Pemerintah Indonesia dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui dinas-dinas dan badan usaha terkait yang menjadi landasan untuk menentukan fokus penelitian.

3.2. Menetapkan Fokus Penelitian

Menetapkan bidang area dalam sistem operasional listrik yang akan menjadi fokus utama dalam penelitian ini, sehingga hal-hal yang ingin diketahui dapat digali lebih tajam dan detail sampai ke permasalahan utama yang ingin diselesaikan. Ruang lingkup yang akan dianalisa adalah batasan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kelancaran pasokan listrik dalam sistem operasional PLN, sehingga dapat menemukan solusi yang terintegrasi untuk kompleksitas masalah yang ditemukan dalam penelitian.

3.3. Latar Belakang Masalah

Pada tahapan penelitian ini dijabarkan hal-hal penting yang memberikan dampak positif ataupun negative terhadap situasi dan kondisi sistem yang menjadi objek penelitian, sehingga menjadi landasan keilmuan dalam merumuskan masalah, menentukan batasan masalah dan juga mengambil manfaat dan tujuan yang di harapkan dari hasil penelitian.

3.4. Kajian Pustaka

Kajian pustaka yang dilakukan dengan mempelajari teori pendukung dan penelitian-penelitian terdahulu yang membahas sistem operasional listrik, konsep sumber daya energi baru dan terbarukan, *Model Driven-Decision Support System* (MD-DSS) dan metode simulasi Sistem Dinamis. Semua teori dan konsep yang diperoleh menjadi landasan dasar untuk mengembangkan sebuah kerangka berpikir baru dalam membuat model simulasi dengan mengidentifikasi faktor-faktor dan variabel yang dapat mempengaruhi perbaikan kinerja sistem operasional listrik di PLN.

3.5. Identifikasi Faktor dan Variabel

Landasan teoritis yang dirangkum akan membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor dan variabel apa saja yang mempengaruhi sistem secara signifikan, baik pengaruhnya secara langsung ataupun tidak langsung ke dalam kinerja sistem operasional listrik di PLN. Poin-poin yang dikemukakan dalam hasil penelitian harus dapat mewakili permasalahan-permasalahan yang sering ditemukan di dalam sistem nyata sehingga model-model simulasi yang dikembangkan merupakan representasi dari sistem yang sebenarnya.

Tabel 3.1. Pembagian Sub Sistem dan Variabel Penelitian

No.	SUB SISTEM	VARIABEL SISTEM
1	Neraca Energi	Energi siap dijual, Energi terjual, Susut energy, Efisiensi energy, Produksi energy listrik, energy listrik swasta, interkoneksi P3B
	Keandalan Sistem Transmisi	Lama gangguan blackout, Jumlah gangguan Blackout, Jumlah pelanggan blackout, SOD, SOF
	Keandalan Sistem Distribusi	Lama pemadaman, Frekuensi pemadaman, Jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman, SAIFI, SAIDI, CAIDI
4	Rasio Elektrifikasi	Jumlah rumah tangga di Madura, Jumlah pelanggan (rumah tangga, bisnis, industry, publik sosial), Jumlah rumah tangga belum berlistrik.
5	Kebutuhan Daya Listrik	Jumlah pasokan daya listrik, Jumlah daya listrik pelanggan, Kebutuhan listrik standar untuk rumah tangga, Total kebutuhan daya listrik

3.6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah salah satu hal penting dalam mencari pemecahan masalah dalam sistem nyata, sehingga menjadi salah satu permasalahan yang sulit dan paling utama dalam simulasi (Arifin, 2009). Sekalipun struktur model yang dikembangkan telah baik dan mewakili sistem nyata, tetapi apabila masukan (*input*) data yang dikumpulkan tidak tepat, maka proses simulasi akan memperoleh hasil keluaran (*output*) penyelesaian yang tidak tepat juga.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi empat fokus utama dalam pengembangan model, yaitu model keseimbangan energi, model keandalan sistem transmisi dan sistem distribusi, model kebutuhan daya listrik pelanggan, serta model peningkatan rasio elektrifikasi di Madura. Keempat fokus pengembangan model tersebut ditelaah lebih luas dalam hubungannya dengan pengembangan sistem pembangkit listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik untuk melihat hubungan antar faktor dan variabel yang saling terkait dalam sistem operasional kelistrikan. Tujuan akhir yang ingin dicapai adalah keseimbangan antara jumlah *demand* listrik yang dibutuhkan pelanggan dengan *supply* listrik yang tersedia secara kontinu.

Periode waktu data historis yang digunakan dalam penelitian adalah tahun 2000 – 2015 yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur, UPTD PLN Area Pamekasan sebagai penanggung jawab sistem kelistrikan untuk seluruh Madura, data statistik PLN melalui *website* resmi www.pln.co.id/disjatim/. Perkembangan tentang sistem kelistrikan di Madura dirangkum dari berita-berita yang dipublikasikan media massa secara online. Peraturan-peraturan pemerintah tentang kebijakan energi, pengaturan kerjasama antar departemen untuk pengadaan program kerja kelistrikan menjadi informasi tambahan untuk menganalisa sistem. Selain itu data pendukung dari Badan Pusat Statistik (BPS), *website* resmi masing-masing kabupaten (Bangkalan, Sampang, Pamekasan dan Sumenep) di Madura juga diperlukan untuk mengembangkan model simulasi menjadi lebih baik.

Penelitian ini bersifat kuantitatif karena menggunakan data kuantitatif dalam melakukan analisa sistem operasional listrik. Berdasarkan data historis yang digunakan dalam penelitian, kebanyakan pola data ditemukan memiliki nilai

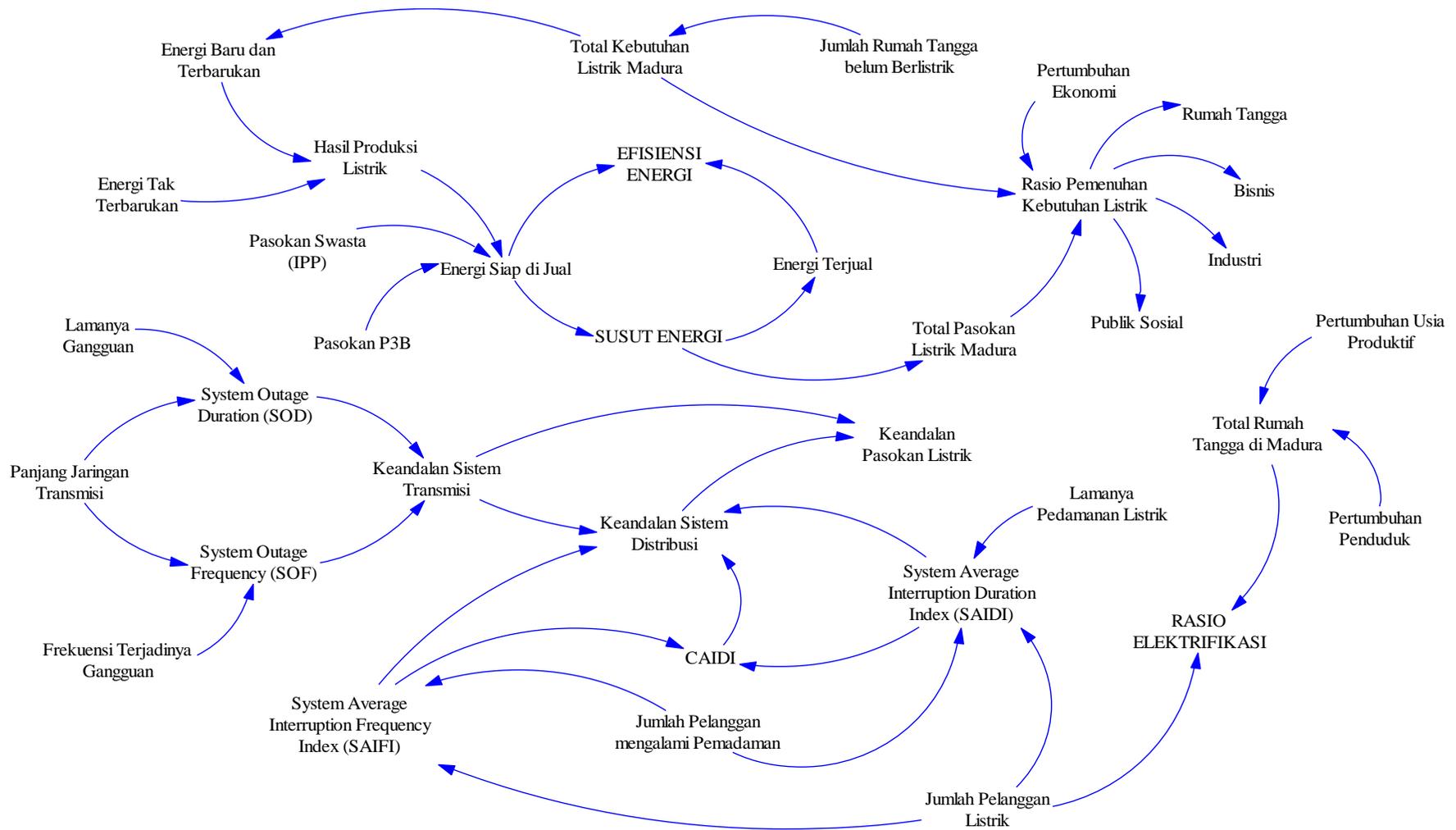
peningkatan yang terstruktur dari tahun ke tahun sehingga *rate value* dapat dihitung dengan pasti, dan masukan data dalam aplikasi program simulasi dapat menghasilkan nilai-nilai perhitungan yang valid untuk memprediksikan kondisi sistem yang sebenarnya.

Untuk data yang fluktuasinya sulit di hitung karena nilainya terlalu acak setiap tahunnya, seperti gangguan listrik dalam sub sistem keandalan distribusi listrik yang dapat terjadi kapan saja, maka perhitungan simulasinya dilakukan dengan membangkitkan bilangan acak (*random*). Variabel random digunakan untuk merepresentasikan tingkah laku faktor-faktor yang tidak terkendali dalam sistem karena sulit diramalkan, tetapi dapat dijelaskan secara stokhastik. Adapun dua variabel yang datanya bersifat acak adalah jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman dan lamanya pemadaman terjadi.

3.7. Pengembangan Model Simulasi

Pengembangan model simulasi harus disesuaikan dengan jenis bahasa simulasi maupun tools yang dipergunakan dalam membangun model. Penelitian ini menggunakan *tools ventana simulation (vensim)* sebagai alat untuk memodelkan sistem operasional listrik di Madura. Model yang dikembangkan tersebut merupakan replikasi dari sistem nyata yang telah berjalan selama ini, sehingga dengan adanya model maka perhitungan data historis dan hasil simulasi yang diperoleh akan lebih mewakili sistem.

Dari Tabel 2.1 diatas, dimana sistem operasional listrik dibagi menjadi lima sub sistem untuk memudahkan identifikasi faktor dan variabel yang berpengaruh dalam sistem. Sebagai langkah paling awal yang dilakukan dalam proses simulasi adalah dengan membuat *Causal Loop Diagram (CLD)* yang menggambarkan hubungan sebab-akibat (*causality*) antar variabel. Interaksi antar faktor dan variabel yang saling mempengaruhi dalam sistem nyata operasional kelistrikan PLN dijabarkan dalam Gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2. Causal Loop Diagram (CLD) Sistem Pembangkit Listrik, Sistem Transmisi dan Sistem Distribusi

3.8. Validasi

Untuk memastikan model yang dikembangkan memiliki keabsahan, maka harus dilakukan validasi terhadap hasil awal simulasi, yang bertujuan untuk memastikan bahwa model telah mendeskripsikan kondisi yang sebenarnya. Barlas (1994) menyatakan ada dua tahap melakukan validasi model, yaitu validasi dengan statistic uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan validasi dengan uji perbandingan variasi amplitude atau *% error variance*.

a. *Mean Comparison*

$$E_1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (3.1)$$

Dimana:

\bar{S} = Nilai rata – rata hasil simulasi

\bar{A} = Nilai rata – rata data

dan model dianggap valid apabila $E_1 \leq 5\%$

b. *% error variance*

$$E_2 = \frac{|s_S - s_A|}{s_A}, \quad (3.2)$$

Dimana:

s_S = Standar deviasi model

s_A = Standar deviasi data

dan model dianggap valid apabila $E_2 \leq 30\%$

3.9. Analisa Hasil Simulasi

Data hasil simulasi kemudian akan dianalisa untuk dapat menentukan faktor apa saja yang akan berpengaruh signifikan pada hasil akhir yang diharapkan, sehingga dapat dijadikan parameter dalam mengembangkan alternatif skenario model yang diperhitungkan akan lebih tepat dengan kebutuhan PT. PLN (Persero).

Sedapat mungkin data hasil analisa mampu memberikan kontribusi untuk skenario pengembangan model, serta menambah wawasan keilmuan tentang sistem operasional kelistrikan.

3.10. Penyusunan Skenario

Pada tahapan ini, model yang sudah divalidasi akan dikembangkan lagi dengan beberapa perlakuan model, yaitu dengan mencoba beberapa skenario untuk mendapatkan rekomendasi yang nantinya bisa digunakan sesuai kebutuhan bisnis. Barlas (1989) memberikan dua alternatif pengembangan skenario model yang bisa digunakan dalam sistem dinamis, yaitu:

1. Skenario Parameter

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan pada nilai parameter yang paling memiliki pengaruh yang dominan terhadap keseluruhan base model yang sudah dibuat untuk mendapatkan hasil yang paling optimal atau yang sesuai dengan kebutuhan. Dalam skenario parameter, dikembangkan *scenario optimistic*, *most likely* dan *pessimistic* untuk mendeskripsikan berbagai kemungkinan yang akan terjadi di masa mendatang, yaitu prediksi secara optimis, pesimis maupun rata-rata.

2. Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga di dapat struktur model yang baru dengan tujuan untuk mendapatkan peningkatan kinerja sistem dibandingkan sistem yang lama. Dalam penelitian ini, fokus permasalahan terletak pada ketidak-seimbangan antara kebutuhan daya listrik dengan pasokan daya listrik yang ada, sehingga tingkat rasio elektrifikasi di Madura masih sangat rendah dibandingkan dengan daerah lain di Jawa Timur. Dengan memperhitungkan jumlah rumah tangga di desa-desa belum berlistrik, diperlukan sumber pembangkit listrik yang menggunakan energi baru dan terbarukan, sehingga Madura dapat mandiri menghasilkan daya listrik juga mengurangi beban ketergantungan terhadap suplai listrik dari PLN untuk memenuhi kebutuhannya.

3.11. Pengembangan MD-DSS

Model Driven-Decision Support System (MD-DSS) adalah alat pendukung keputusan yang penting bagi para manajer sehingga kedepannya akan menjadi kebutuhan untuk memperbaharui model berdasarkan sistem yang telah ada dengan mengembangkan kemampuan baru yang mengimplementasikan teknologi. Belajar membangun model dan MD-DSS merupakan tugas sulit yang membutuhkan persiapan kerja ekstensif, serta latar belakang yang kuat dalam keilmuan manajemen dan riset operasi. Berbagai asumsi yang digunakan dalam model merupakan kondisi pasti yang dapat diprediksi serta mewakili sistem nyata.

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah mengembangkan MD-DSS dalam bentuk *dashboard* yang dapat dimanfaatkan secara sistematis dalam melakukan analisa pengembangan sistem operasional listrik bagi manajemen PT. PLN (Persero). Desain antarmuka yang akan dikembangkan berupa informasi perkembangan sistem dari data historis yang menggambarkan faktor-faktor dan variable-variabel saling mempengaruhi dalam sistem.

Dashboard dapat dipecah sesuai dengan perannya, yaitu dari sisi strategis, analitis, operasional atau informasional:

- a. *Dashboard Strategic* membantu para manajer di level manapun dalam sebuah organisasi untuk dan memberikan gambaran singkat bagi para pengambil keputusan untuk peluang bisnis. *Dashboard* tipe ini berfokus pada pengukuran kinerja dan peramalan.
- b. *Dashboard analytical* lebih banyak tentang konteks, perbandingan dan sejarah bersamaan dengan evaluasi kinerja. *Dashboard* tipe ini biasanya mendukung interaksi dengan data yang mendalam pada rincian.
- c. *Dashboard for operation* biasanya hanya terfokus pada 1 perspektif saja sehingga informasi yang ditampilkan lebih cenderung menyoroti kegiatan operasional perusahaan dalam satu bidang. Tujuannya hanya untuk membuat peningkatan yang hanya bertahan sementara saja, dan seringkali memancing persaingan untuk membuktikan kelebihan dari setiap aspek yang ada di dalam *dashboard* tersebut. Misalnya, *dashboard* operasional mengenai kinerja karyawan (Kompasiana, 2010).

3.12. Simpulan dan Saran

Sebagai penutup, mengacu pada hasil penelitian berupa pengembangan MD-DSS yang dilakukan dalam sistem operasional listrik, maka akan diperoleh kesimpulan berupa landasan dasar dalam pengambilan keputusan yang bersifat strategis dan manajerial untuk membantu perencanaan dalam mengembangkan sistem menjadi lebih baik lagi ke depannya.

3.13. Jadwal Penelitian

Rancangan jadwal kegiatan penelitian yang dilakukan beserta dengan penulisan laporannya dilihat pada table 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.2. Jadwal Kegiatan Penelitian Tesis

No	KEGIATAN	2016									
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober
1	Studi literatur, trend isu dan kebijakan pemerintah										
2	Menetapkan fokus penelitian dan latar belakang masalah										
3	Melakukan kajian pustaka dan mengidentifikasi Faktor dan Variabel										
4	Pengumpulan Data										
5	Pengembangan Model Simulasi Causal Loop Diagram										
6	Analisa Hasil Simulasi dan Penyusunan Skenario										
7	Pengembangan MD-DSS										
8	Perumusan Simpulan dan Saran										
9	Penulisan Laporan Penelitian										

BAB IV

ANALISA DAN PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini akan membahas pengembangan model dari sistem operasional kelistrikan berdasarkan data yang telah ada (*existing data*), validasi hasil simulasi dari pengembangan model, dan skenario yang ditawarkan untuk proyeksi strategi operasional sistem kelistrikan PLN di Pulau Madura, dan visualisasi *dashboard*.

4.1. Pengembangan Model Berdasarkan Kondisi Saat Ini (*Existing Data*)

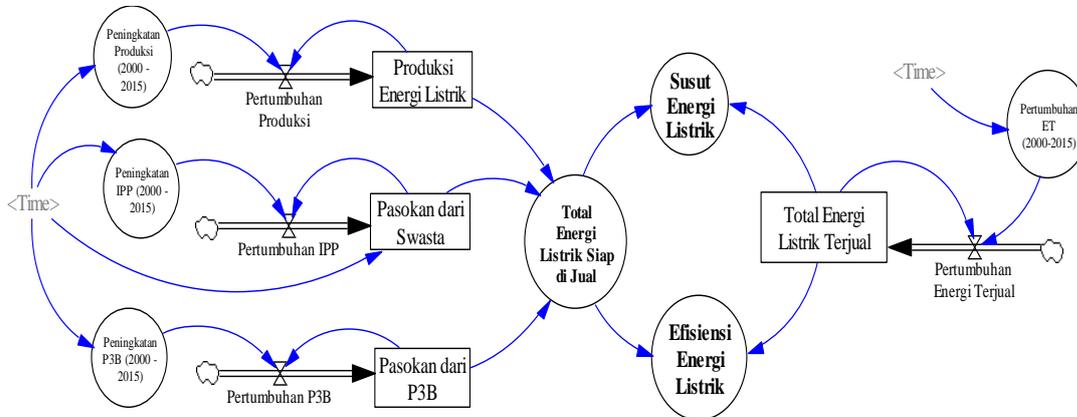
Unit Pelayanan dan Jaringan (UPJ) Pamekasan adalah salah satu unit PT. PLN yang menangani keseluruhan sistem operasional kelistrikan di Pulau Madura. Karena Madura merupakan bagian dari propinsi Jawa Timur, maka data yang digunakan dalam penelitian selain diperoleh dari UPJ Pamekasan juga didapat dari PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur. Adapun untuk model yang dikembangkan akan disesuaikan dengan kondisi terkini dari sistem operasional kelistrikan di Madura, yang meliputi sistem pembangkit listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi.

4.1.1. Model Neraca Energi Listrik di Madura

Neraca Energi Listrik adalah kesetimbangan antara energi listrik yang siap dijual (*energy transmitted*) dengan energi listrik yang terjual (*energy received*). Pada neraca akan ditemukan kondisi dimana jumlah energi listrik yang masuk berbeda dengan jumlah yang terjual atau disebut juga terjadinya susut energi (*energy losses*). Susut energi merupakan kerugian PLN yang harus diminimisasi setiap tahunnya, baik susut teknis ataupun susut non teknis. Efisiensi energi (*energy efficiency*) dapat diketahui dengan membandingkan data energi listrik yang siap dijual dengan energi listrik yang terjual.

Berdasarkan data historis dari tahun 2000 sampai dengan 2015, energi listrik yang siap dijual untuk propinsi Jawa Timur meningkat rata-rata 5,4% setiap tahunnya sedangkan khusus Madura mengalami peningkatan rata-rata 6,5% per tahun, dimana pasokan energi listrik dari P3B meningkat signifikan tepatnya sejak jembatan Suramadu difungsikan sebagai jalur interkoneksi listrik ke Madura.

Pengembangan basis model untuk neraca energi listrik yang lengkap dengan sub modelnya serta variabel yang terkait dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini:



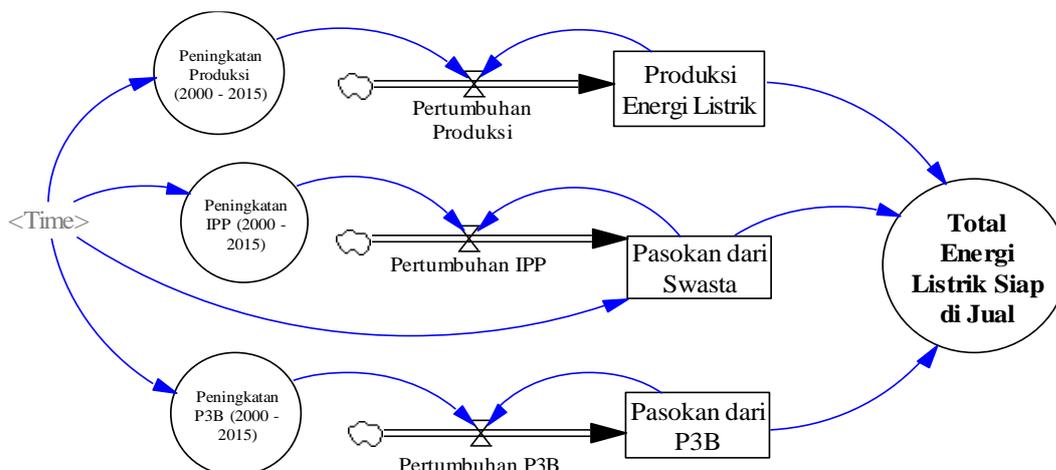
Gambar 4.1. Basis Model Neraca Energi listrik di Madura

4.1.1.1. Sub Model Energi Listrik Siap Jual

Pasokan energi siap dijual untuk Madura diperoleh dari tiga sumber, yaitu produksi sendiri, menyewa dari pihak lain, dan dari Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B). Total energi siap dijual dapat dihitung sebagai berikut:

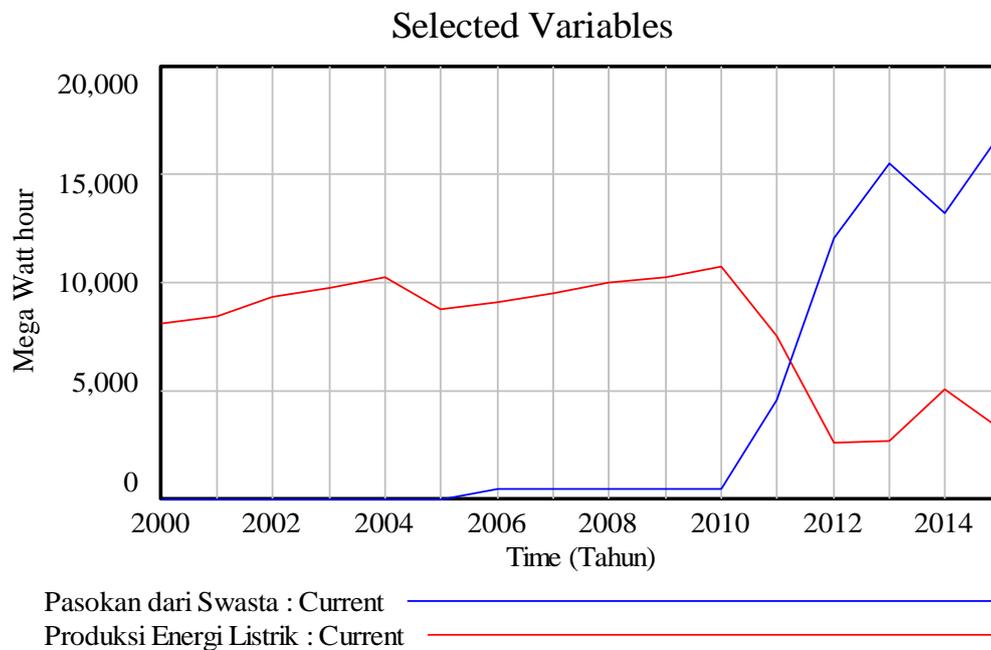
$$\text{Energi Siap di Jual} = \text{Produksi} + \text{Swasta} + \text{P3B} \quad (4.1)$$

Pengembangan sub model untuk menghitung total energi siap dijual periode tahun 2000 sampai dengan 2015 dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini:



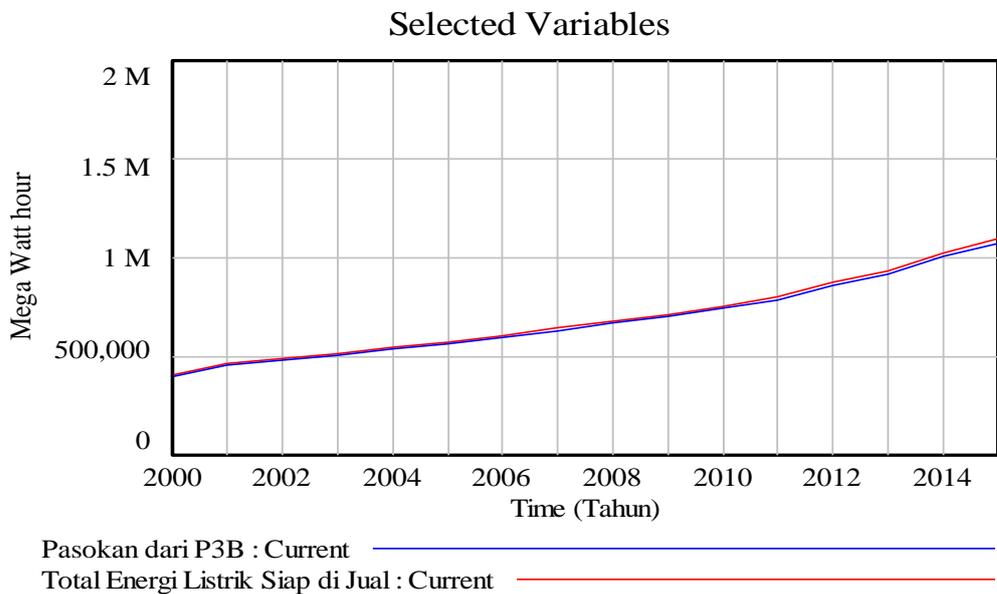
Gambar 4.2. Sub Model Energi Listrik Siap dijual

Grafik hasil simulasi untuk energi listrik yang bersumber dari produksi sendiri dan menyewa dari pihak lain (IPP) dipisahkan dengan grafik P3B karena rentang nilai hasilnya terlalu jauh. Dari hasil running model diketahui bahwa 98,22% pasokan energi listrik untuk Madura mengandalkan dari sistem interkoneksi P3B, dari produksi sendiri 0,92% dan menyewa dari pihak swasta 0,86%. Produksi yang terus menurun dikarenakan tidak dilakukan pembangunan sumber pembangkit listrik baru di Madura karena PLN menilai investasinya lebih mahal dibandingkan dengan pendistribusian energy listrik melalui sistem interkoneksi. Grafik perbandingannya dengan hasil produksi sendiri dan pihak lain dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini:



Gambar 4.3. Grafik Hasil Simulasi Energi Listrik Hasil Produksi dan Pihak Swasta

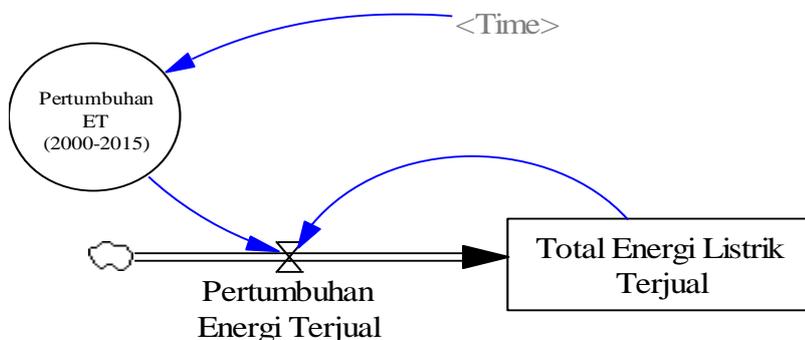
Peningkatan yang signifikan terlihat pada jumlah pasokan energi listrik dari P3B dimana pada tahun 2000 hanya 397.174 MWh (*Mega Watt hour*) menjadi 1.093.661 MWh pada tahun 2015. Infrastruktur pendistribusian listrik melalui interkoneksi hanya berkembang di jalur pantai selatan Madura. Grafik hasil simulasi yang memperlihatkan perbandingan antara total energi siap di jual di Madura dengan jumlah pasokan energi listrik dari P3B dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini:



Gambar 4.4. Grafik Hasil Simulasi Sumber Energi P3B dan Total Energi Siap di Jual

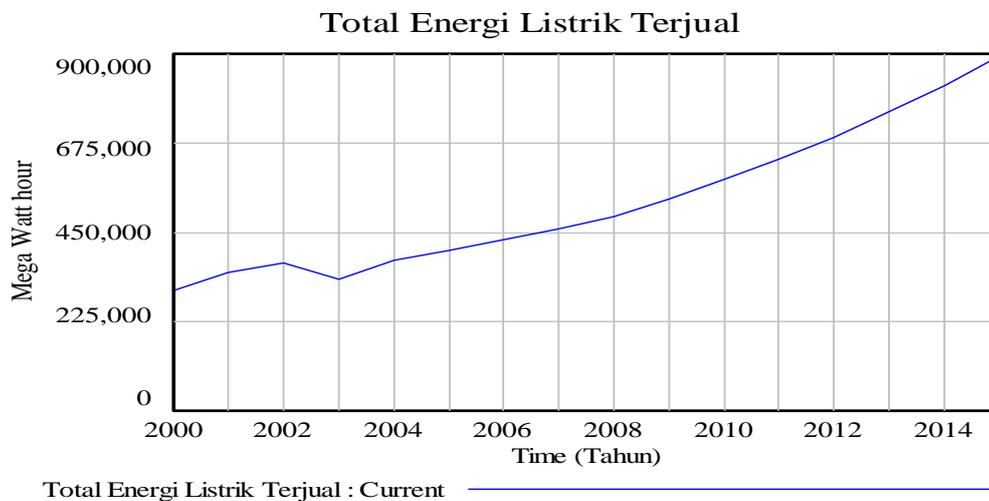
4.1.1.2. Sub Model Energi Listrik yang Terjual

Energi yang terjual kepada pelanggan adalah energi listrik yang terjual kepada pelanggan TT (tegangan tinggi), TM (tegangan menengah) dan TR (tegangan rendah) sesuai dengan jumlah kWh yang dibuat dalam rekening listrik. Energi listrik terjual mewakili besarnya energi yang terpakai oleh pelanggan dalam periode waktu tertentu yaitu setahun. Dari data historis terjadi peningkatan energi terjual rata-rata 6,6% setiap tahunnya. Pengembangan sub model untuk menghitung besarnya energi terjual dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini:



Gambar 4.5. Sub Model Total Energi Terjual di Madura

Selama ini besarnya jumlah energi listrik di Madura yang cenderung mengandalkan pasokan listrik dari Jawa Timur melalui sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali (Jamali), merupakan sebuah dampak positif dari pembangunan jembatan Suramadu. Dari hasil simulasi diketahui bahwa setelah tahun 2010 terlihat peningkatan signifikan kebutuhan daya listrik rata-rata 10% per tahun. Trend peningkatan energi yang terjual ke pelanggan di Madura dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.6 dibawah ini:

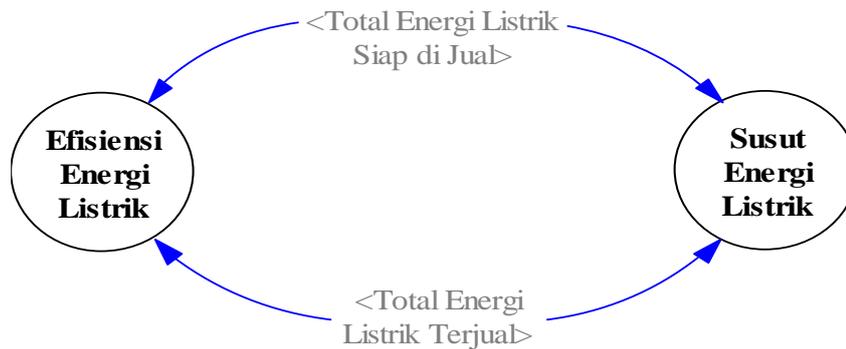


Gambar 4.6. Grafik Hasil Simulasi Jumlah Energi Terjual di Madura

4.1.1.3. Sub Model Susut Energi dan Efisiensi Energi

Susut energi, berdasarkan Surat Keputusan Menteri Keuangan Nomor: 431/KMK.06/2002, didefinisikan sebagai suatu bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari selisih sejumlah energi listrik yang dibeli dengan sejumlah energi listrik yang terjual atau jumlah energi yang hilang atau menyusut, yang terjadi karena sebab-sebab teknik maupun non teknik pada waktu penyediaan dan penyaluran energi. Satya Zulfanitra, Direktur Pembinaan Pengusahaan Ketenagalistrikan, menargetkan besarnya target untuk susut jaringan distribusi yang harus dicapai adalah 8% di Indonesia, karena setiap kenaikan maupun penurunan susut energy yang 1% tersebut setara dengan Rp 3.000.000.000,- (tiga trilyun rupiah).

Sub model yang menjelaskan perhitungan nilai susut energi yang terjadi di Madura dapat dilihat pada Gambar 4.7 dibawah ini:



Gambar 4.7. Sub Model Susut Energi dan Efisiensi Energi

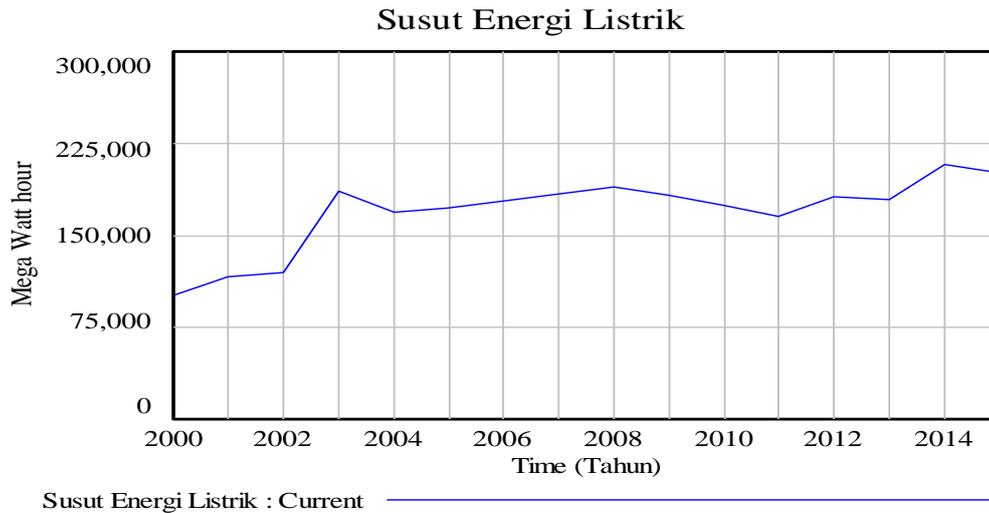
Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya nilai susut energi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$\text{Susut Energi} = \text{Energi Listrik Siap di Jual} - \text{Energi Listrik Terjual} \quad (4.2)$$

Data historis tahun 2000-2015 menunjukkan bahwa nilai dari susut energi yang terjadi di Madura berkisar antara 101.219 – 239.807 MWh. Salah satu penyebab susut energi listrik yang terjadi di Madura dikarenakan masalah struktural dimana gardu induk (GI) dibangun di wilayah pantai selatan dan kemudian didistribusikan ke wilayah pantai utara. Adapun struktur listrik yang lemah di Madura juga karena 92% pelanggannya didominasi oleh kategori pelanggan rumah tangga, dan hal ini dapat membaik apabila terjadi perubahan komposisi pelanggan untuk kategori tegangan tinggi seperti pabrik industri.

Menurut General Manager PT. PLN Distribusi Jatim sendiri, pembangunan satu atau dua gardu induk di kawasan pantai utara dapat menurunkan susut distribusi sekitar 5% dari kondisi saat ini. Manajer APJ Pamekasan Madura juga mengatakan apabila ada beberapa pabrik yang mampu menyerap listrik 40 MW saja, maka susut distribusi listrik yang terjadi di Madura dapat menurun lagi sekitar 5%.

Dari hasil simulasi terhadap sub model diatas perkembangan grafik susut energi listrik di Madura selama periode tahun 2000 sampai dengan 2015, yang merupakan selisih antara jumlah energi listrik siap di jual dengan jumlah energi listrik yang terjual, dijelaskan secara terperinci pada Gambar 4.8 berikut ini:

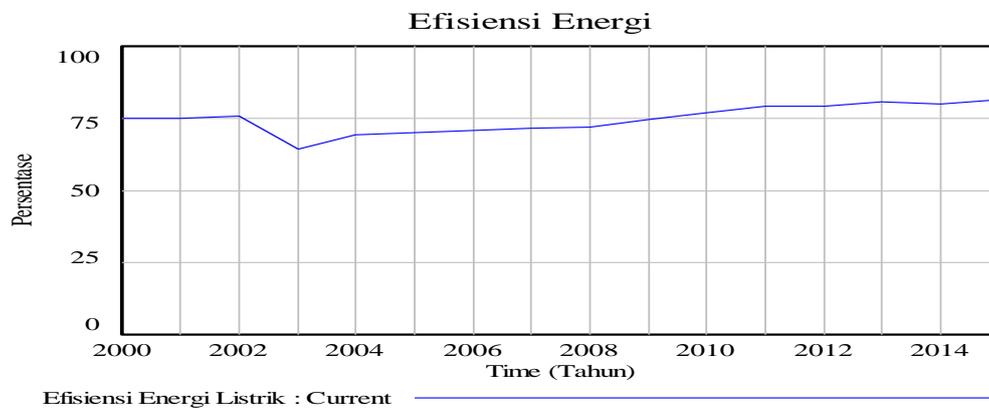


Gambar 4.8. Grafik Hasil Simulasi Susut Energi Listrik

Efisiensi energi adalah persentase yang menunjukkan perbandingan antara energi terjual dengan energi siap dijual, untuk mengetahui berapa banyak kerugian yang terjadi dan harus ditanggung oleh PT. PLN. Rumus untuk menghitung efisiensi energi adalah:

$$\text{Efisiensi Energi} = \frac{\text{Energi Listrik Terjual}}{\text{Energi Listrik Siap di Jual}} \times 100\% \quad (4.3)$$

Dari hasil simulasi diketahui rentang efisiensi untuk energi listrik di Madura berkisar antara 64,10% - 79,79% selama periode tahun 2000 sampai dengan 2015. Nilai efisiensi ini seharusnya meningkat jika permasalahan infrastruktur listrik di Madura yang menyebabkan terjadinya susut energi dapat diminimisasi. Adapun grafik hasil simulasinya dapat dilihat pada Gambar 4.9 dibawah ini:

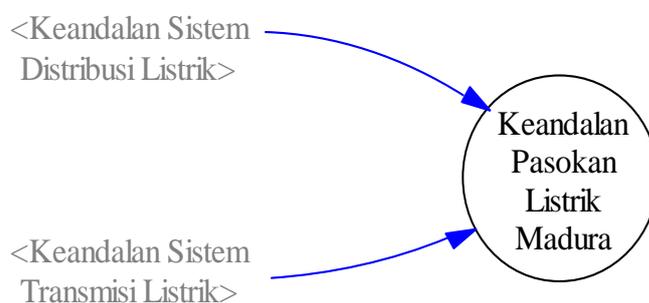


Gambar 4.9. Grafik Hasil Simulasi Efisiensi Energi Listrik

4.1.2. Model Keandalan Pasokan Listrik

PLN berusaha memenuhi kebutuhan daya listrik yang terus meningkat dengan juga memperbaiki mutu keandalan pelayanannya sehingga pasokan daya listrik dan kontinuitasnya tetap selalu terjaga. Keandalan pasokan daya listrik menjadi target dalam mencapai kepuasan pelanggan dengan parameter SOF, SOD, SAIFI, SAIDI, dan SAIDI sebagai acuan pengukuran kinerjanya. Sejalan dengan visi PT. PLN (Persero) sebagai satu-satunya Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang penyediaan sampai penyaluran tenaga listrik maka harus dapat memberikan pelayanan yang terbaik kepada pelanggan dengan cara meningkatkan kualitas dan kuantitas pasokan tenaga listrik yang selaraskan dengan visi PLN untuk diakui sebagai perusahaan kelas dunia (*world class services*).

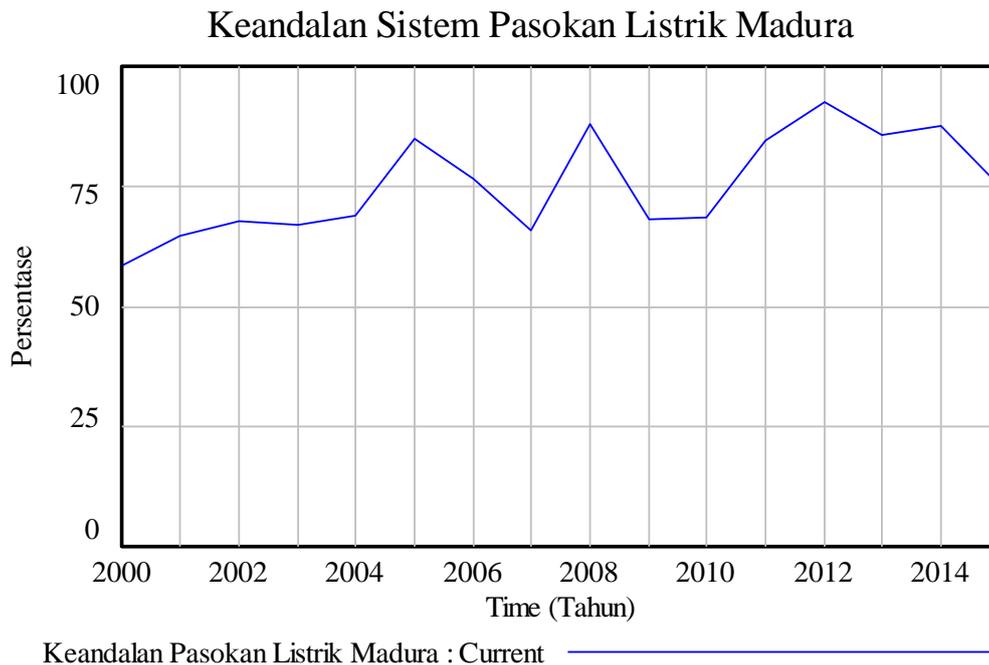
Pengembangan model keandalan sistem pasokan listrik dilakukan dengan mengintegrasikan sub model keandalan sistem transmisi dan sistem distribusi, terlihat pada Gambar 4.10 berikut ini:



Gambar 4.10. Basis Model Keandalan Pasokan Daya Listrik

Hasil penilaian keseluruhan performa untuk keandalan sistem pasokan daya listrik di Madura yang terdiri dari sistem transmisi dan sistem distribusi bervariasi, berkisar antara 60%-95% dari tahun 2000-2015, dimana hal tersebut disebabkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi dalam sistem transmisi dan sistem distribusi. Gangguan tersebut dapat bersifat teknis yang sumbernya dari dalam PLN sendiri dan juga gangguan non teknis yang disebabkan oleh pihak lain serta lingkungan.

Grafik hasil simulasi dari model keandalan pasokan daya listrik di Madura dapat dilihat perkembangannya pada Gambar 4.11 dibawah ini:



Gambar 4.11. Grafik Hasil Simulasi Keandalan Pasokan Listrik

4.1.2.1. Sub Model Keandalan Sistem Transmisi

Parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari sistem transmisi adalah:

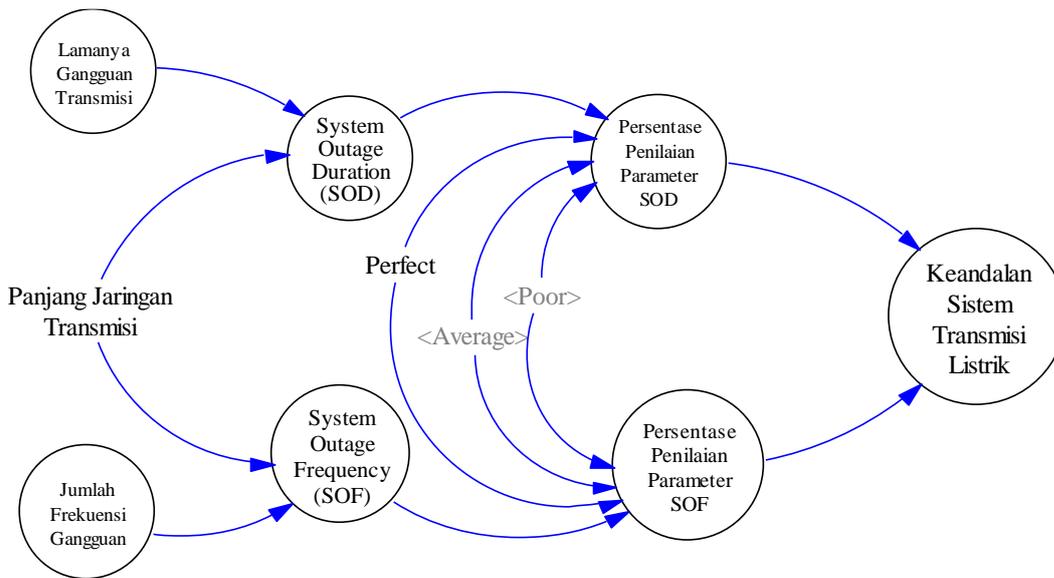
1. Lama keluar sistem (*System Outage Duration*) adalah indikator kinerja lama gangguan yang menyebabkan pemadaman sistem transmisi pada titik pelayanan, dengan satuan jam/100kms.

$$SOD = \frac{\text{Lama gangguan yang menyebabkan pemadaman}}{100 \text{ kms transmisi}} \quad (4.4)$$

2. Jumlah keluar sistem (*System Outage Frequency*) adalah indikator kinerja jumlah gangguan yang menyebabkan pemadaman sistem transmisi pada titik pelayanan, dengan satuan kali/100kms.

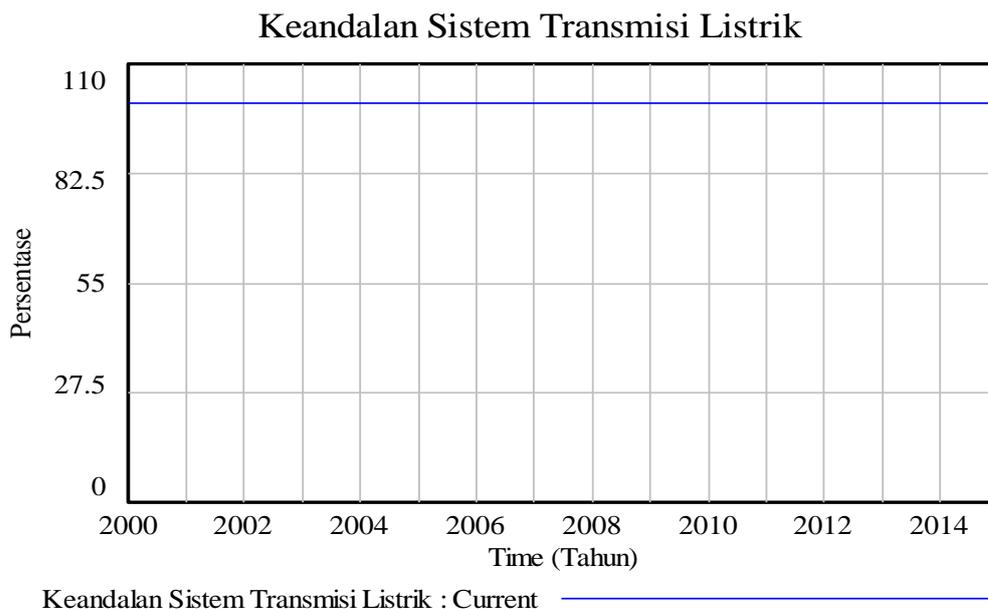
$$SOF = \frac{\text{Jumlah gangguan yang menyebabkan pedamanan}}{100 \text{ kms transmisi}} \quad (4.5)$$

Dengan menggunakan variabel-variabel dalam perhitungan rumus untuk SOD dan SOF diatas, maka desain pengembangan model simulasi dari keandalan sistem transmisi dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut:



Gambar 4.12. Sub Model Keandalan Sistem Transmisi

Data historis yang didapat dari laporan statistik PLN selama tahun 2009 sampai dengan 2014 tidak ada gangguan transmisi untuk propinsi Jawa Timur, sehingga nilai keandalan dari hasil simulasi adalah 100% untuk masing-masing SOD dan SOF. Untuk menghitung persentase keandalan adalah dengan mengklasifikasikan kondisi menjadi tiga indikator, yaitu baik (*good*), menengah (*average*) dan buruk (*poor*). Adapun grafik hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.13 dibawah ini:



Gambar 4.13. Grafik SOD dan SOF untuk Keandalan Sistem Transmisi

4.1.2.2. Sub Model Keandalan Sistem Distribusi

Jaringan distribusi dikatakan andal apabila jaringan tersebut frekuensi pemadamannya rendah dan mutu tegangan sesuai standar, sehingga mutu pelayanan tergantung dari lamanya pemadaman dan frekuensi pemadaman yang terjadi dalam periode waktu selama satu tahun. Wirapraja (2012) menjelaskan bahwa dalam sistem distribusi ada beberapa parameter yang digunakan dalam mengukur tingkat keandalannya adalah:

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah jumlah rata-rata gangguan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu. Indeks keandalan ini merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani.

$$SAIFI = \frac{\Sigma(\text{kali padam} \times \text{pelanggan yang mengalami pemadaman})}{\text{Jumlah pelanggan}} \quad (4.6)$$

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) adalah nilai rata-rata dari lamanya gangguan untuk setiap pelanggan selama satu tahun. Indeks keandalan ini merupakan hasil pengukuran durasi gangguan sistem rata-rata tiap tahun, yang dihitung dari hasil pembagian jumlah dari lamanya gangguan secara terus menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu yang ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama tahun tersebut.

$$SAIDI = \frac{\Sigma(\text{lama pelanggan padam} \times \text{pelanggan yang mengalami pemadaman})}{\text{Jumlah pelanggan}} \quad (4.7)$$

3. CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) adalah indeks keandalan hasil pengukuran dari durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, yang berisi tentang waktu rata-rata penormalan sistem ketika terjadi gangguan pada setiap konsumen dalam satu tahun.

$$CAIDI (\text{menit}) = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{\text{menit/pelanggan}}{\text{kali/pelanggan}} \quad (4.8)$$

Tabel 4.1 berikut ini menyajikan data jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman (dengan nilai minimum=1.147.223; maksimum=2.533.729; rata-rata=1.842.227; standar deviasi=406.613) dan data lamanya pemadaman (dengan nilai minimum=34,578; maksimum=89,775; rata-rata=52,936; Standar deviasi = 13,065).

Tabel 4.1. Data Jumlah Pelanggan yang Mengalami Pemadaman

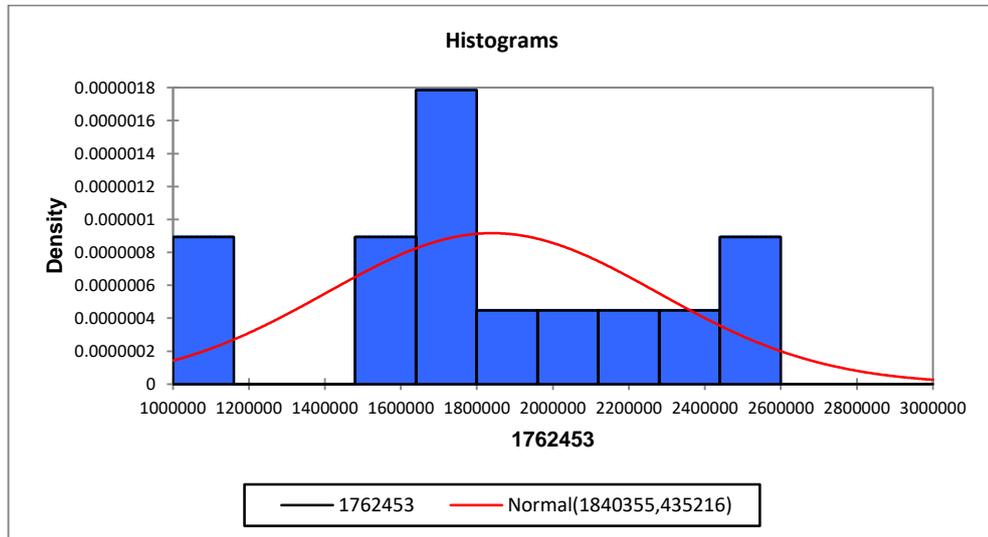
Tahun	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Jumlah Pelanggan Padam	1,948,207	1,762,453	2,050,387	1,875,650	2,137,431	1,698,562	1,663,191	1,152,685	1,618,685	1,566,376	1,695,584	1,147,223	2,381,730	2,472,886	2,533,729	1,770,849
Lamanya Pemadaman	46.755	47.958	45.293	49.589	49.745	51.864	63.198	60.260	56.611	34.578	65.618	42.199	57.128	89.775	48.984	37.424

Tabel 4.2 berikut ini perbandingan distribusi data untuk menentukan metode pembangkitan bilangan random yang akan digunakan dalam simulasi. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penentuan distribusi data dibawah ini maka metode yang dipilih adalah acak kontinu dengan distribusi normal.

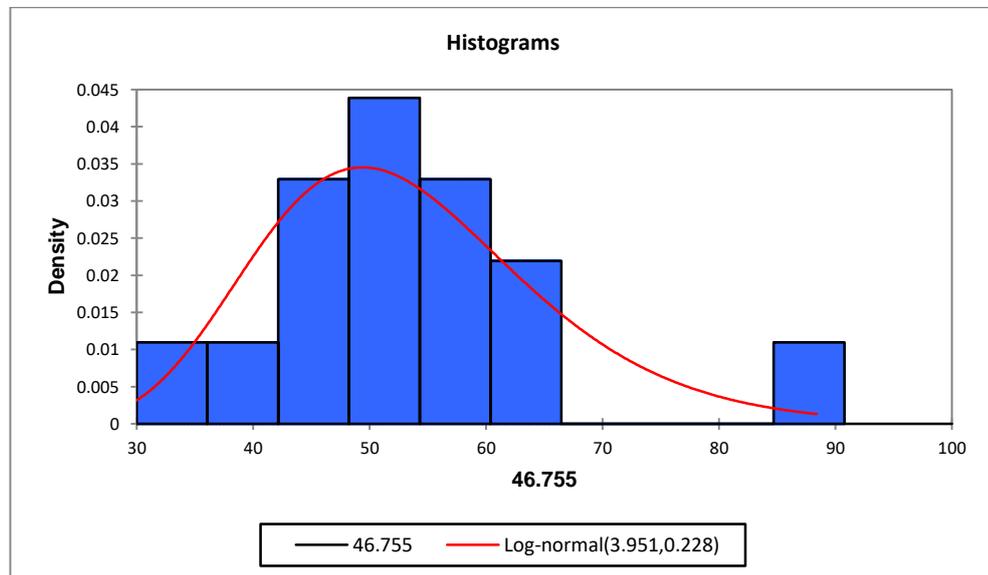
Tabel 4.2. Data Jumlah Pelanggan yang Mengalami Pemadaman

Jumlah Pelanggan Padam		Lamanya Pemadaman	
Distribution	p-value	Distribution	p-value
Beta4	0.532	Beta4	0.760
Chi-square	< 0.0001	Chi-square	0.924
Erlang	0.477	Erlang	0.792
Exponential	0.003	Exponential	0.001
Fisher-Tippett (1)	< 0.0001	Fisher-Tippett (1)	< 0.0001
Fisher-Tippett (2)	0.907	Fisher-Tippett (2)	0.975
Gamma (1)	< 0.0001	Gamma (1)	< 0.0001
Gamma (2)	0.929	Gamma (2)	0.961
GEV	0.891	GEV	0.966
Gumbel	< 0.0001	Gumbel	< 0.0001
Log-normal	< 0.0001	Log-normal	0.984
Logistic	0.896	Logistic	0.965
Normal	0.931	Normal	0.864
Normal (Standard)	< 0.0001	Normal (Standard)	< 0.0001
Student	< 0.0001	Student	< 0.0001
Weibull (1)	< 0.0001	Weibull (1)	< 0.0001
Weibull (2)	0.922	Weibull (2)	0.894
Weibull (3)	0.053	Weibull (3)	< 0.0001

Gambar berikut ini memperlihatkan bagaimana distribusi data untuk kedua variabel yaitu jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman (Gambar 4.14) dan lamanya pemadaman (Gambar 4.15).



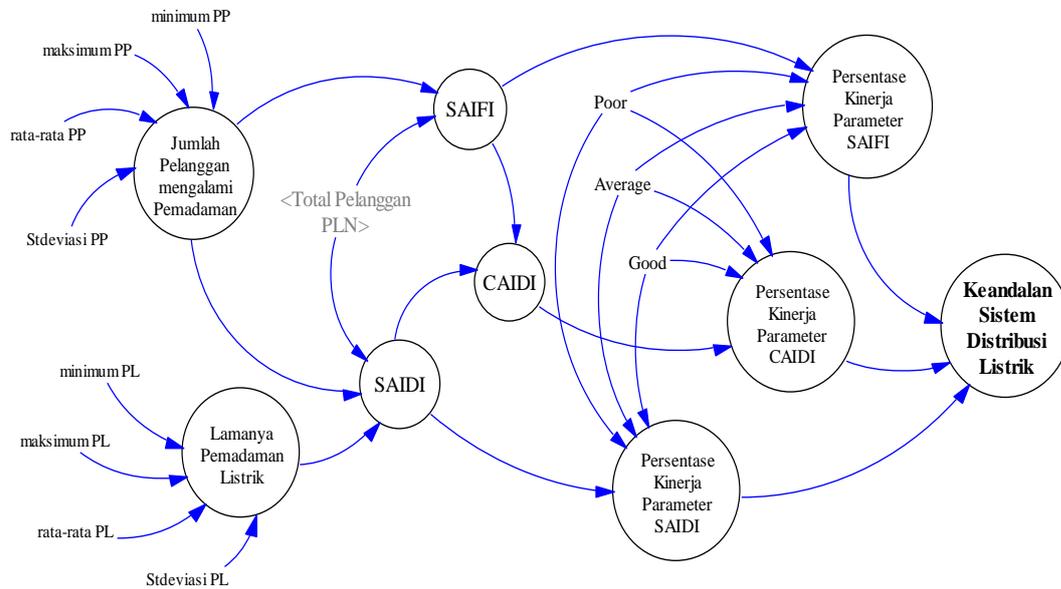
Gambar 4.14. Grafik Histogram untuk Distribusi Jumlah Pelanggan yang Padam



Gambar 4.15. Grafik Histogram Distribusi Data Lamanya Pemadaman

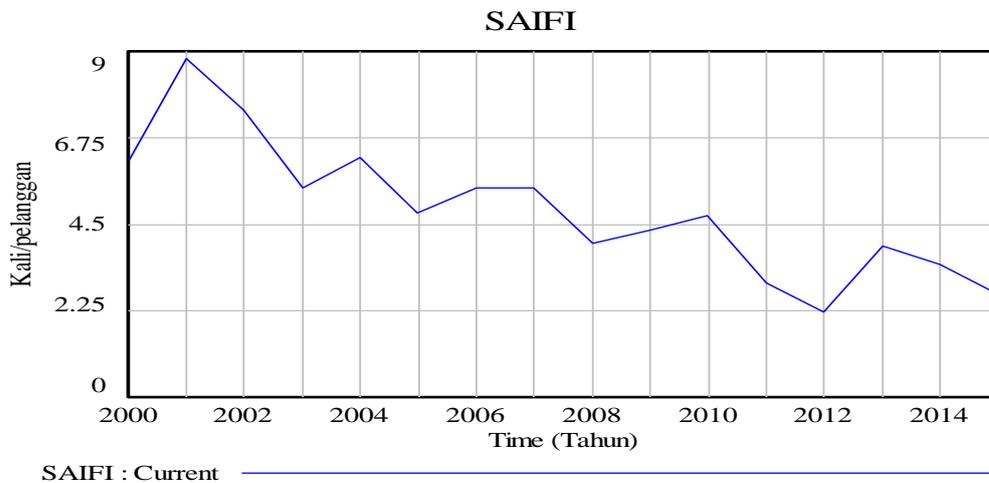
Bilangan acak yang dihasilkan dari proses simulasi nantinya akan mempengaruhi nilai dari parameter SAIFI, SAIDI, dan CAIDI sesuai dengan perhitungan dari rumus 4.6; 4.7; dan 4.8

Dengan menggunakan variabel-variabel dalam perhitungan rumus SAIDI, SAIFI dan CAIDI diatas, maka desain pengembangan model untuk simulasi dari keandalan sistem distribusi dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut:



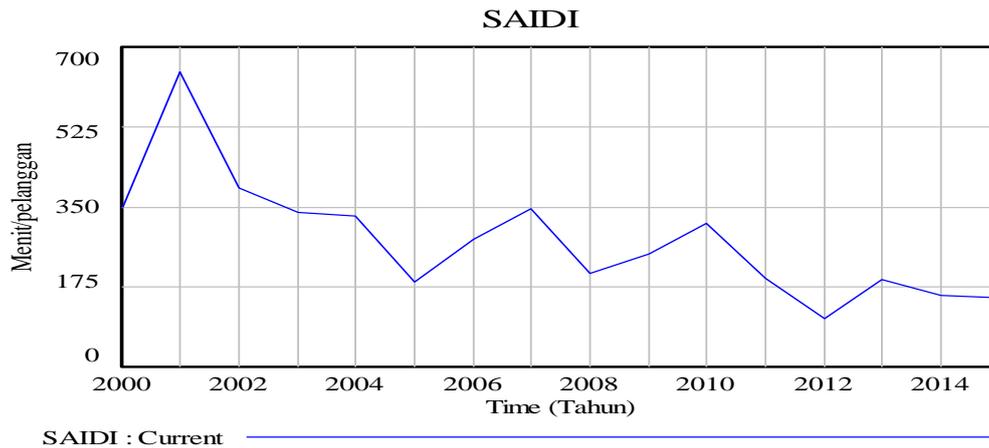
Gambar 4.16. Sub Model Keandalan Sistem Distribusi

Grafik hasil simulasi dari SAIFI dapat dilihat pada Gambar 4.15 dibawah ini. Nilai SAIFI menunjukkan berapa kali/pelanggan terjadi pemadaman, dimana hasilnya sangat bervariasi dikarenakan gangguan yang tidak terprediksi dalam sistem yaitu berkisar antara 2,4 – 8,8 kali/pelanggan/tahun.

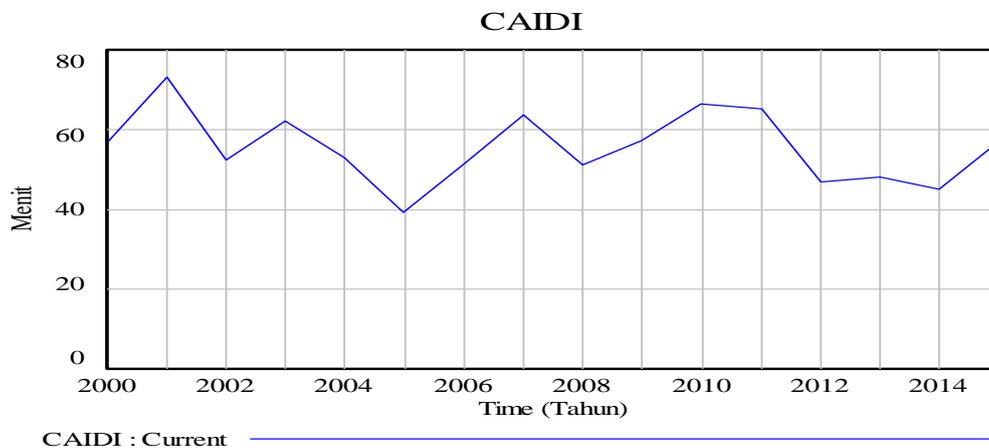


Gambar 4.17. Grafik Hasil Simulasi Parameter SAIFI untuk Keandalan Sistem Distribusi

Hasil simulasi nilai SAIDI (Gambar 4.16) menunjukkan rentang waktu yang bervariasi antara 104–645 menit setiap kali pemadaman listrik terjadi. Untuk hasil simulasi dari nilai CAIDI (Gambar 4.17) yang berkisar antara 39–74 menit adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem operasional kelistrikan PLN untuk kembali normal setelah terjadinya pemadaman.



Gambar 4.18. Grafik Hasil Simulasi Parameter SAIDI untuk Keandalan Sistem Distribusi



Gambar 4.19. Grafik Hasil Simulasi Parameter CAIDI untuk Keandalan Sistem Distribusi

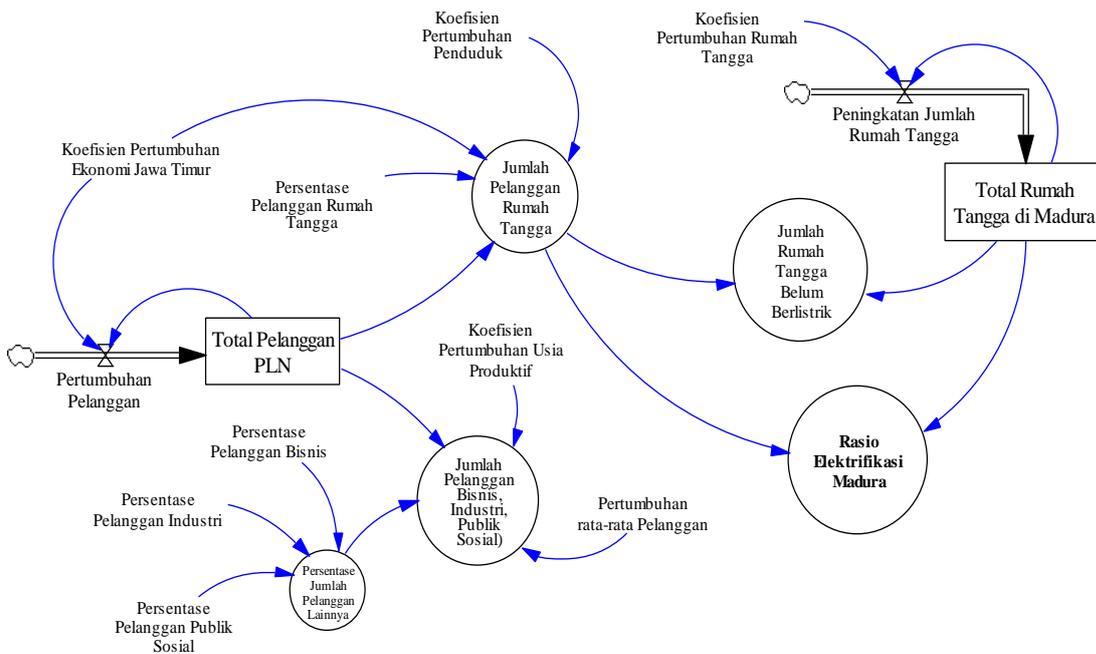
Adipraja (2015) menyatakan peningkatan jumlah pelanggan dan penurunan kondisi asset tiap tahun sangat mempengaruhi nilai keandalan kualitas pelayanan sistem distribusi. Cara untuk meningkatkannya adalah dengan menambahkan sumber cadangan, karena dengan adanya suplai cadangan tidak menyebabkan kondisi “*repair time*” melainkan mengalami proses “*switching time*” (Praditama, 2012).

4.1.3. Model Pelanggan Listrik dan Rasio Elektrifikasi di Madura

Menurut golongan tarif, PLN membagi kelompok pelanggannya menjadi empat bagian, yaitu kelompok rumah tangga (R), kelompok bisnis (B), kelompok Industri (I) dan Kelompok Publik dan Sosial (PS). Data historis dari tahun 2000-2015 memperlihatkan jumlah pelanggan yang meningkat rata-rata 6,3% setiap tahunnya. Berdasarkan kelompoknya, perbandingan jumlah pelanggan rumah tangga (R) sebesar 92,08%, kelompok bisnis (B) sebesar 4,5%, kelompok Industri (I) hanya 0,03% dan kelompok Publik dan Sosial (PS) sebesar 3,39%.

Sudirham (2013) menyatakan bahwa konsumsi listrik per pelanggan didekati dengan trend peningkatan konsumsi, dimana pertumbuhan kebutuhan listrik untuk angkatan kerja merefleksikan terjadinya pertumbuhan Industri, Bisnis, Publik dan Sosial dan pertumbuhan penduduk serta rumah tangga mempengaruhi peningkatan kebutuhan listrik pelanggan rumah tangga. Chontanawat (2006) menyimpulkan bahwa di negara-negara berkembang pertumbuhan ekonomi mempengaruhi konsumsi energi listrik.

Gambar 4.18 dibawah ini menjelaskan hubungan kausaliti jumlah pelanggan yang telah berlistrik dengan jumlah rumah tangga di Madura, yang akan digunakan untuk menghitung rasio elektrifikasi (*electrification ratio*).

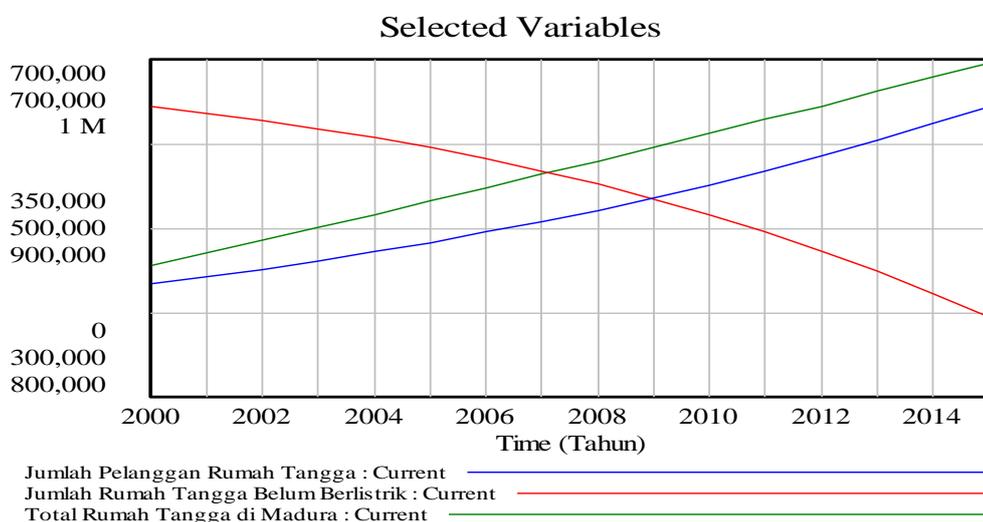


Gambar 4.20. Basis Model Jumlah Pelanggan dan Rasio Elektrifikasi

Berdasarkan RUKN 2012-2031, rasio elektrifikasi (RE) didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah rumah tangga yang sudah menikmati tenaga listrik dan jumlah rumah tangga secara keseluruhan. PT. PLN (Persero) sebagai BUMN yang mengelola kelistrikan harus terus menggenjot peningkatan rasio elektrifikasi mencapai 100% dengan mencanangkan visi 75-100, yaitu tercapainya rasio elektrifikasi sebesar 100% di seluruh Indonesia di tahun 2020. Rumus standar untuk menghitung rasio elektrifikasi adalah:

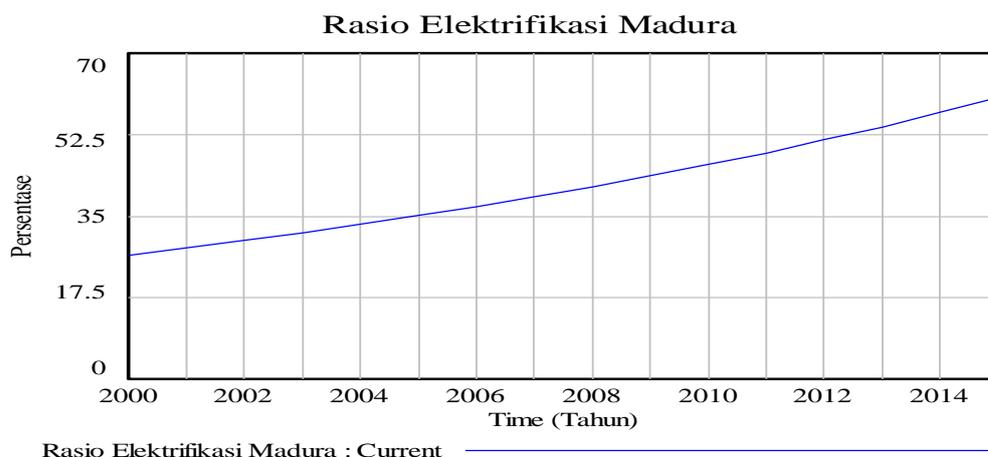
$$\text{Rasio Elektrifikasi} = \frac{\text{Jumlah Pelanggan Rumah Tangga}}{\text{Jumlah Rumah Tangga di Madura}} \times 100\% \quad (4.9)$$

Hasil simulasi dari model diatas dapat dilihat perbandingan jumlah pelanggan dari sektor rumah tangga bila dibandingkan dengan jumlah pelanggan dari sektor lainnya adalah 92% dan 8%. Perkembangan jumlah rumah tangga di Madura menurut data BPS meningkat sebesar 0,9% setiap tahunnya sehingga kebutuhan akan listrik juga turut mengalami peningkatan. Grafik perbandingan jumlah rumah tangga yang telah berlistrik dengan jumlah keseluruhan rumah tangga yang ada di Madura diperlihatkan pada Gambar 4.19 berikut ini:



Gambar 4.21. Grafik Perbandingan Pelanggan Rumah Tangga dan Jumlah Rumah Tangga

Grafik hasil simulasi untuk nilai rasio elektrifikasi yang menggambarkan tingkat rasio pemenuhan kebutuhan listrik rumah tangga di Madura dengan membandingkan jumlah pelanggan rumah tangga yang telah berlistrik dapat dilihat pada Gambar 4.20 berikut ini:



Gambar 4.22. Grafik Hasil Simulasi Rasio Elektrifikasi di Madura

Dibutuhkan penambahan jumlah rumah tangga berlistrik setiap tahunnya untuk mencapai target nasional yang telah ditetapkan, yaitu rasio elektrifikasi 100% pada akhir tahun 2020, yang dapat berupa penyambungan listrik dari PLN maupun non PLN dimana prosedur kerjasamanya diatur oleh Permen ESDM no 1 tahun 2015. Pemerintah menjalankan program listrik perdesaan yang merupakan kebijakan dalam bidang ketenagalistrikan untuk perluasan akses listrik pada wilayah yang belum terjangkau jaringan distribusi di daerah pedesaan. Program ini dilaksanakan dengan sumber pendanaan yang diperoleh dari APBN/APBD atau Dana Alokasi Khusus dari Kementerian dengan mengutamakan provinsi yang tingkat rasio elektrifikasinya masih rendah, karena semakin pelosok daerah masyarakat tinggal maka akan semakin rendah pula daya beli mereka untuk membeli listrik sehingga diperlukan subsidi listrik dari pemerintah.

Untuk Jawa Timur sendiri, rencana pencapaian target rasio elektrifikasi 100% yang dituangkan dalam draft Rancangan Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) untuk tahun 2015 – 2034 dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.3. Target Rasio Elektrifikasi Jawa Timur

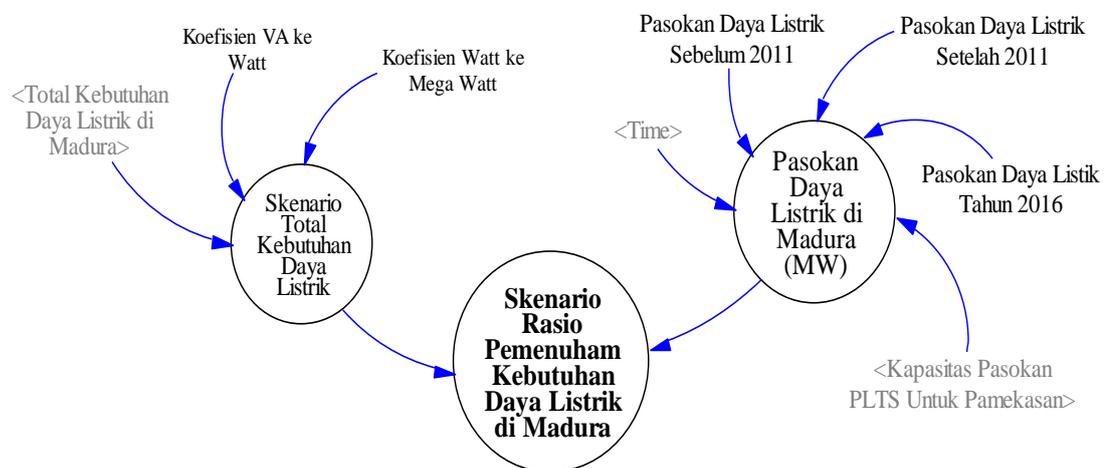
TAHUN	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Rasio Elektrifikasi	86.74	89.67	92.4	94.92	97.23	99.61	100	100
Pertumbuhan (%)		3.3779	3.0445	2.7273	2.4336	2.4478	0.3915	-

Sumber: Draft RUKN tahun 2015 – 2034

4.1.5. Model Rasio Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik

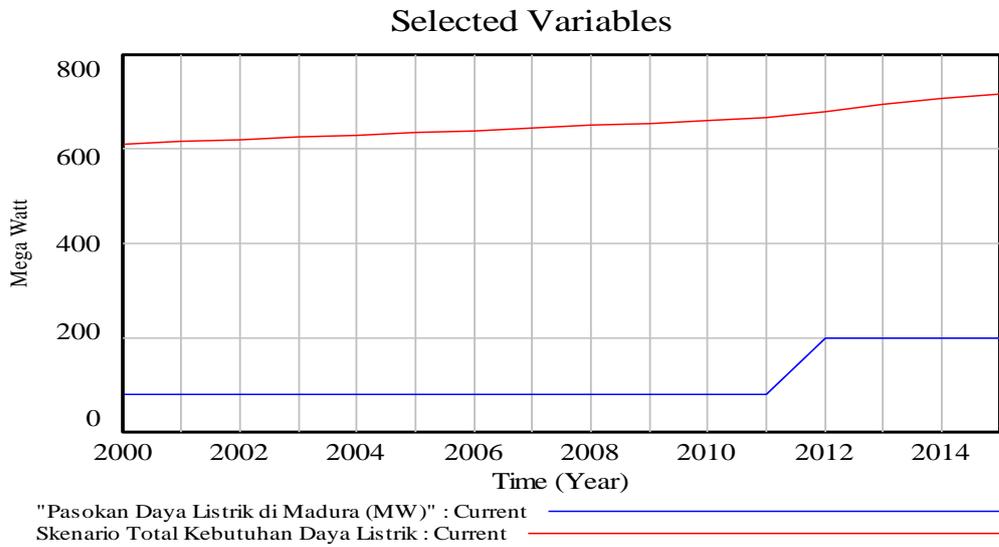
Inti dari proses bisnis PT. PLN (Persero) adalah untuk memenuhi permintaan listrik bagi masyarakat dengan menyediakan pasokan daya listrik yang dapat memenuhi peningkatan kebutuhan listrik setiap tahunnya, apakah itu penyambungan daya baru ataupun penambahan daya listrik dari yang telah ada sebelumnya. Perhitungan total kebutuhan daya dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah rumah tangga di Madura yang masih belum dapat menikmati fasilitas listrik. Menurut RUPTL Tahun 2015-2024, pengembangan kapasitas pembangkit tenaga listrik diarahkan untuk memenuhi pertumbuhan beban yang direncanakan, dan pada beberapa wilayah diutamakan untuk memenuhi kekurangan pasokan tenaga listrik. Pengembangan kapasitas pembangkit juga dimaksudkan untuk meningkatkan keandalan pasokan yang diinginkan dengan mengutamakan sumber energi setempat terutama energi baru dan terbarukan.

Pengembangan model untuk menghitung rasio pemenuhan kebutuhan daya listrik, dengan membandingkan nilai kebutuhan (*demand*) dan pasokan daya listrik (*supply*) yang tersedia saat ini dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut ini:



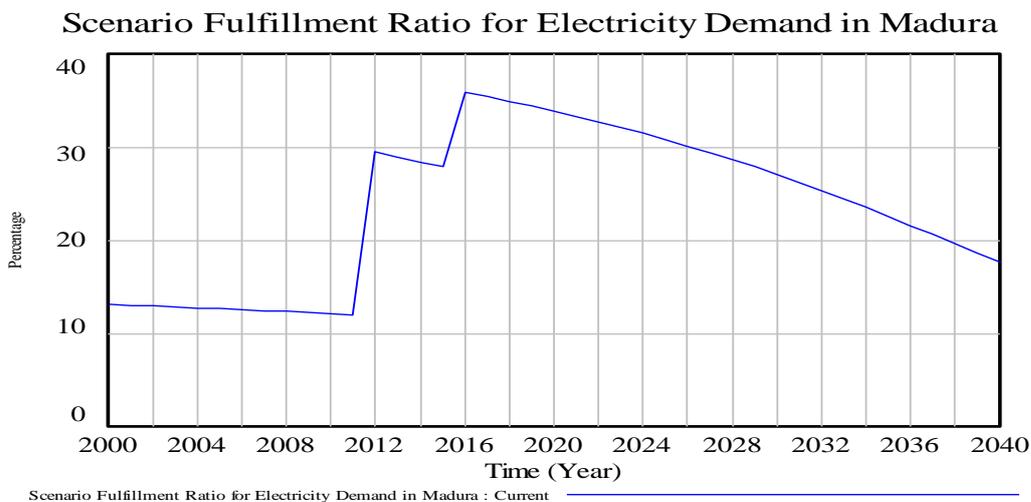
Gambar 4.23. Basis Model Rasio Pemenuhan *Supply - Demand* Ketenagalistrikan

Grafik hasil simulasi pada Gambar 4.22 berikut ini menunjukkan perbandingan dimana pertumbuhan kebutuhan daya listrik jauh lebih besar daripada pertumbuhan pasokan daya listrik ke Madura, sehingga selisih yang terjadi menyebabkan terciptanya kondisi daftar tunggu setiap tahunnya jika tidak dilakukan penambahan pasokan daya listrik untuk memenuhi permintaan yang ada.



Gambar 4.24. Grafik Perbandingan “Demand” dan “Supply” Listrik di Madura

Dalam jangka waktu 5 tahun terakhir, pasokan daya listrik di Madura telah mengalami peningkatan yaitu dari 80 MW menjadi 200 MW pada tahun 2011, dan meningkat lagi menjadi 260 MW pada tahun 2016. Walaupun demikian, pasokan daya yang tersedia saat ini masih belum dapat mengimbangi peningkatan kebutuhan listrik ke depannya. Hasil simulasi menunjukkan kebutuhan daya listrik yang dapat terpenuhi pada tahun 2016 hanya sebesar 35,85%. Secara lebih terperinci gambaran kondisi *supply-demand* listrik di Madura sampai tahun 2040 dapat dilihat pada Gambar 4.23 dibawah ini:

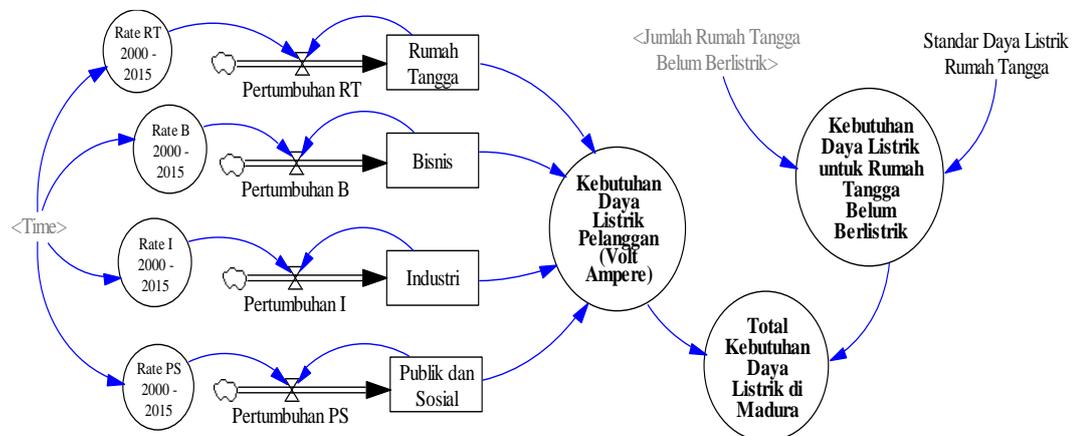


Gambar 4.25. Grafik Hasil Simulasi Rasio Pemenuhan Kebutuhan Listrik di Madura

Dari grafik diatas, terlihat rasio pemenuhan kebutuhan listrik di Madura akan terus menurun jika tidak ada tindakan penambahan pasokan. Mengingat Jawa Timur masih mengalami surplus listrik sebesar 2.600 MW, maka masih sangat memungkinkan dilakukan penambahan daya listrik ke Madura. Saat ini program pemerintah yang sejalan dengan kebijakan energi dunia, lebih cenderung untuk memanfaatkan potensi sumber daya yang tersedia di suatu daerah tersebut untuk dikembangkan menjadi sumber pembangkit baru, termasuk Madura. Tujuan yang ingin dicapai agar kedepannya Madura memiliki sistem kelistrikan yang mandiri dengan mengurangi ketergantungan terhadap interkoneksi sehingga kualitas pelayanan PLN dapat lebih diandalkan.

4.1.4. Model Kebutuhan Daya Listrik di Madura

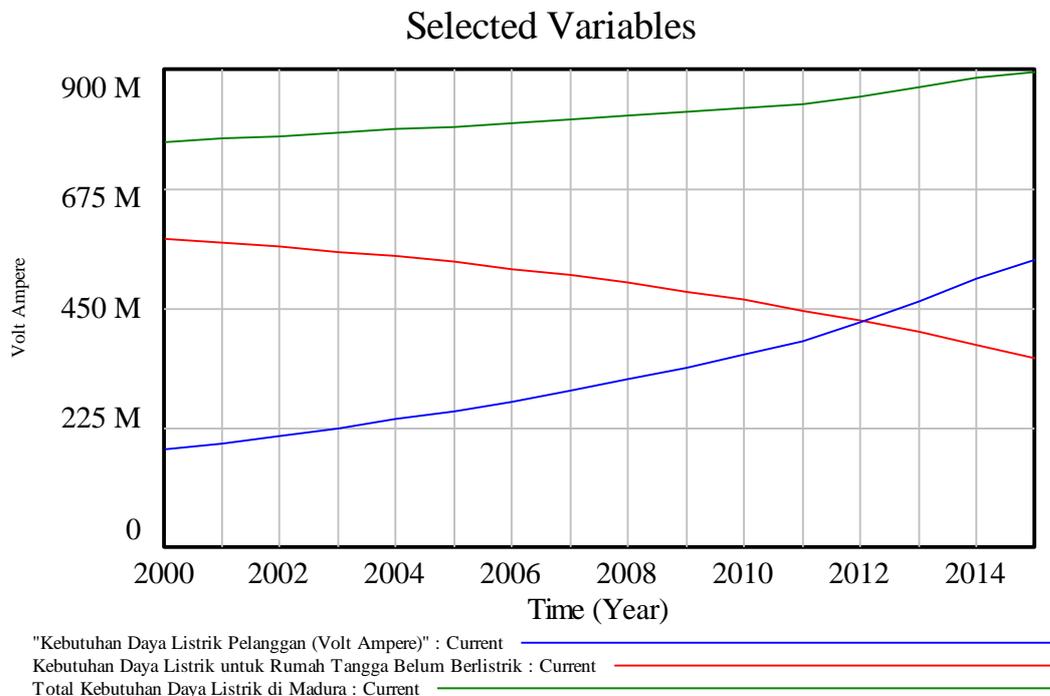
Data historis dari tahun 2011 sampai dengan 2015 memperlihatkan adanya peningkatan daya listrik sebesar 7,5% rata-rata setiap tahunnya, dimana kelompok rumah tangga (*household*) mengalami peningkatan rata-rata 6,4%, bisnis (*business*) 13,9%, industri (*industry*) 12,2%, publik dan social (*public and social*) sebesar 8,3%. Pelanggan rumah tangga masih menjadi prioritas utama yang harus dilayani kebutuhannya oleh PLN karena daya listrik terpakai di kelompok ini menyerap rata-rata 81,34% dari total keseluruhan. Pemakaian daya listrik untuk kelompok bisnis, industri, publik dan sosial hanya berkisar masing-masing 7,44%, 2,78% dan 8,44% saja. Pengembangan model kebutuhan daya listrik dan variabel-variabel yang terkait dapat dilihat pada Gambar 4.24 dibawah ini:



Gambar 4.26. Basis Model Kebutuhan Daya Listrik di Madura

Siklus kebutuhan masyarakat akan daya listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, meningkatnya perekonomian, dan juga perkembangan teknologi. Penyediaan tenaga listrik oleh PLN untuk kepentingan umum meliputi sistem pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik dan/atau penjualan tenaga listrik. Sejak tahun 2014 pemerintah telah berkomitmen untuk merealisasikan penyediaan listrik sebesar 35.000MW dalam jangka waktu lima tahun, untuk memenuhi target rasio elektrifikasi 97% pada tahun 2019 dapat tercapai. Pengadaan sumber pembangkit baru yang lebih ramah lingkungan dan dapat direalisasikan dalam jangka pendek menjadi fokus PLN untuk menambah pasokan daya listrik di propinsi-propinsi yang masih mengalami deficit daya listrik.

Total kebutuhan daya listrik merupakan jumlah kebutuhan daya listrik yang telah dinikmati oleh pelanggan saat ini dengan jumlah kebutuhan listrik rumah tangga yang belum teraliri listrik oleh PLN, dengan asumsi setiap rumah tangga membutuhkan standar daya listrik sebesar 900 Volt Ampere (VA). Grafik hasil simulasi kebutuhan daya listrik untuk Madura selama periode tahun 2000 - 2015 secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.25 dibawah ini:



Gambar 4.27. Grafik Hasil Simulasi Kebutuhan Daya Listrik di Madura

4.2. VALIDASI MODEL

Tahapan validasi bertujuan untuk menguji model secara statistik apakah sudah mewakili kondisi nyata yang sebenarnya dalam sistem dengan melihat perbandingan rata-rata (*Mean Comparison*) yang biasa diberi simbol E_1 dan perbandingan variasi amplitudo (*Error Variance*) dengan simbol E_2 . Menurut Barlas (1989), model dikatakan valid apabila hasil perhitungan $E_1 \leq 5\%$ dan $E_2 \leq 30\%$ dapat dipenuhi. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitungnya adalah:

$$\text{Mean Comparison } (E_1) = \frac{|\text{Nilai rata-rata simulasi } (\bar{S}) - \text{Nilai rata-rata data } (\bar{A})|}{\text{Nilai rata-rata data } (\bar{A})} \quad (4.10)$$

$$\text{Error Variance } (E_2) = \frac{|\text{Standar deviasi simulasi } (\bar{Ss}) - \text{Standar deviasi data } (\bar{Sa})|}{\text{Standar deviasi data } (\bar{Sa})} \quad (4.11)$$

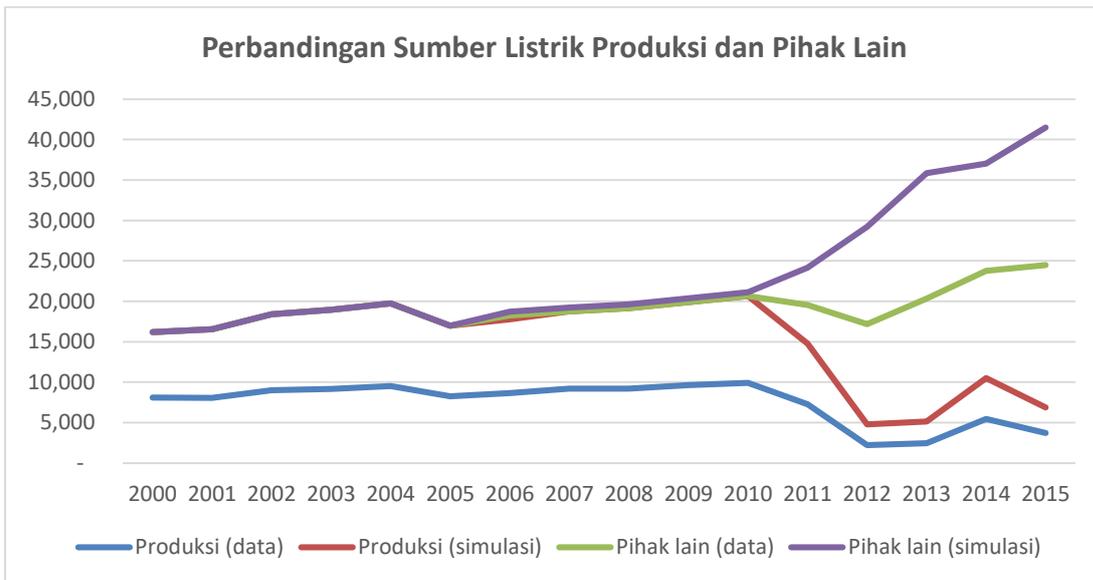
4.2.1. Validasi Model Neraca Energi Listrik

Model Neraca Energi yang telah dikembangkan diuji kembali untuk memastikan bahwa model tersebut dapat mewakili kondisi nyata dalam sistem, dimana hasil perhitungan validasinya di rangkum dalam tabel 4.4 dibawah ini:

Tabel 4.4. Nilai Validasi Sub Model Energi Siap dijual

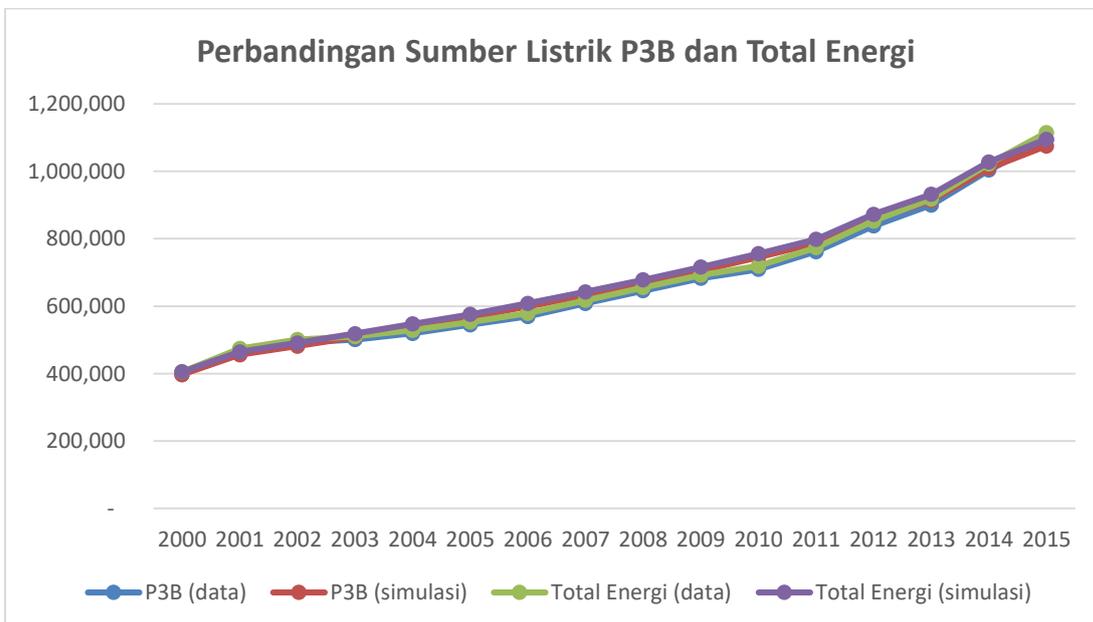
Energi Siap dijual	Rata-rata		Mean Comparison	Standar Deviasi		Error Variance
	Data	Simulasi	$E_1 \leq 5\%$	Data	Simulasi	$E_2 \leq 30\%$
Produksi	7,492	7,831	0.0452	2,584	2,831	0.0956
Sumber Lain	3,983	4,045	0.0156	6,533	6,376	0.0240
P3B	670,800	683,595	0.0191	201,876	201,328	0.0027
Total Energi	682,277	695,471	0.0193	205,867	204,934	0.0045

Dari Tabel 4.4 diatas diketahui bahwa nilai yang diperoleh dari hasil simulasi untuk masing-masing sumber energi listrik telah memenuhi kedua tahap validasi. Untuk lebih jelasnya perbandingan data yang sebenarnya dengan hasil simulasi dapat dilihat dalam Gambar 4.26 dan Gambar 4.27 berikut:



Gambar 4.28. Grafik Sumber Listrik Hasil Produksi dan Pihak Lain

Grafik perbandingan sumber listrik P3B dipisahkan dengan sumber listrik lainnya dikarenakan rentang nilainya yang terlalu jauh, sehingga lebih mendekati nilai dari total energy listrik yang siap dijual.



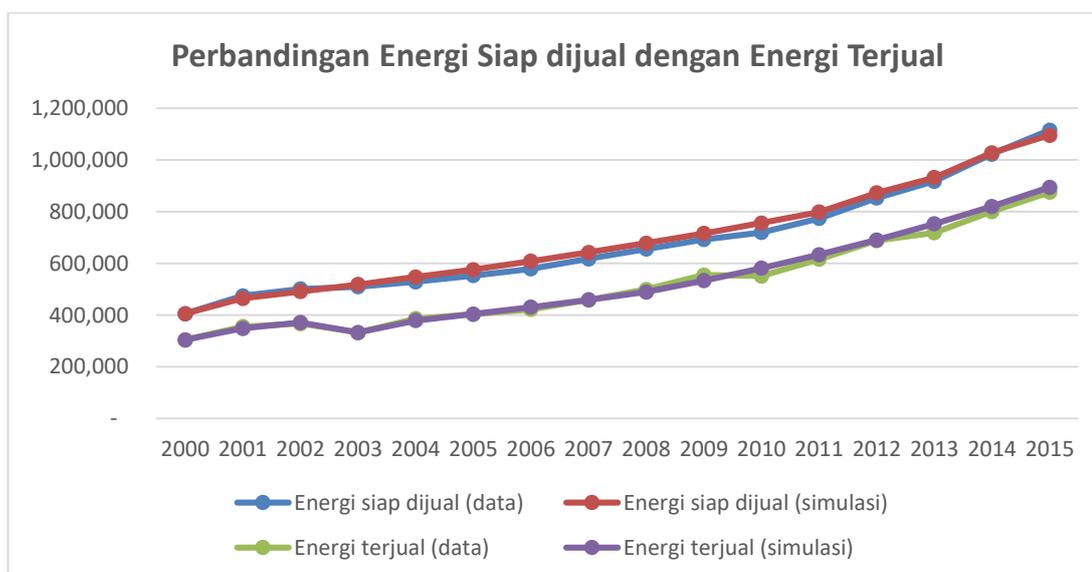
Gambar 4.29. Grafik Sumber Listrik P3B dan Total Energi Siap dijual

Untuk sub model energi terjual, serta sub model susut energi dan efisiensi energi hasil perhitungan validasinya telah memenuhi kedua persyaratan, dimana nilai *mean comparison* dan *error variance* dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5. Nilai Validasi Energi Terjual, Susut Energi dan Efisiensi Energi

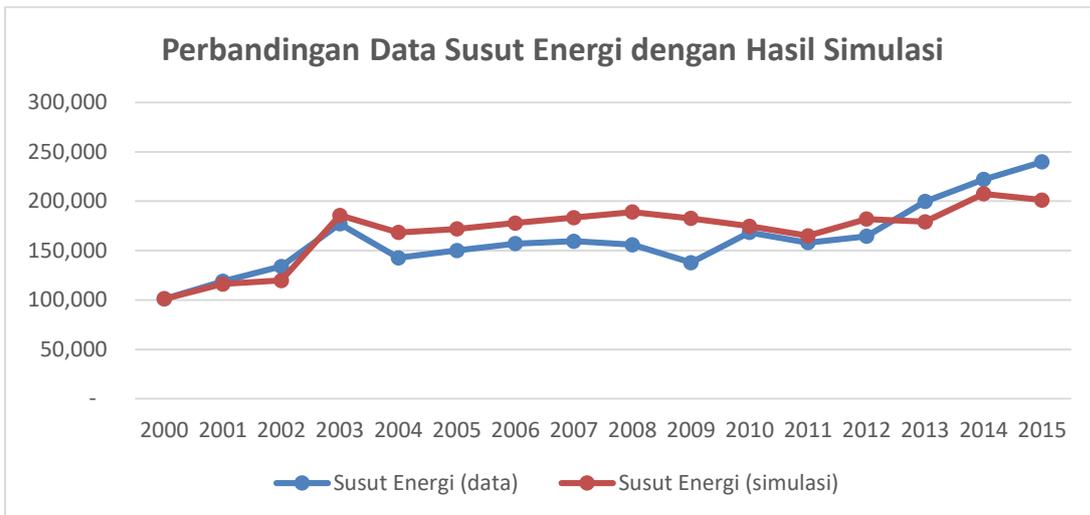
Variabel Neraca Energi	Rata-rata		Mean Comparison	Standar Deviasi		Error Variance
	Data	Simulasi	$E_1 \leq 5\%$	Data	Simulasi	$E_2 \leq 30\%$
Energi terjual	520,556	526,339	0.0111	175,376	184,200	0.0503
Susut Energi	161,721	169,132	0.0458	35,465	30,345	0.1444
Efisiensi Energi	75,588	74,716	0.0115	3.857	4.848	0.2569

Dari tabel 4.3 diketahui bahwa variabel-variabel yang terkait dengan neraca energi telah memenuhi kedua tahap persyaratan validasi, sehingga model simulasi yang dikembangkan dapat mewakili sistem nyata. Berikut ini dapat dilihat grafik perbandingan data yang sebenarnya dengan hasil simulasi untuk energi siap dijual dengan energi terjual dapat pada Gambar 4.28 dimana terjadi selisih pada nilai perhitungan yang disebabkan terjadinya susut energi.



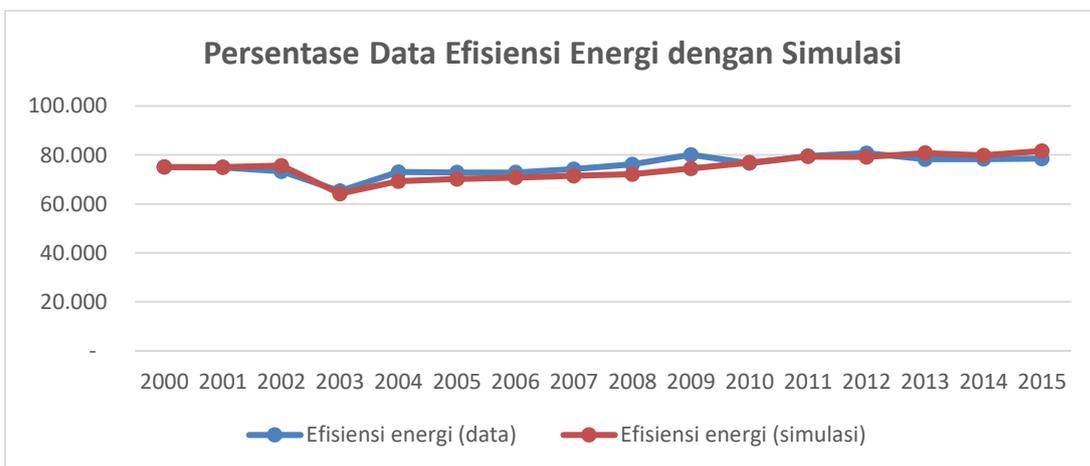
Gambar 4.30. Grafik Energi Listrik Siap dijual dan Energi Terjual

Susut energi adalah selisih energi listrik yang dihitung antara energi siap dijual dengan energi terjual, dimana energi listrik yang hilang dapat terjadi pada sistem transmisi dan sistem distribusi yang merupakan kerugian yang harus diminimalisasi oleh PLN. Pada Gambar 4.29 berikut ini terlihat bagaimana grafik perbandingan untuk susut energi antara data dengan hasil simulasi dari model yang dikembangkan.



Gambar 4.31. Grafik Perbandingan Susut Energi Listrik

Nilai dari efisiensi energi listrik menunjukkan adanya faktor yang seharusnya masih bisa dioptimalkan dalam proses transfer energi listrik dari sistem pembangkit sampai ke sistem distribusi dan pelanggan. Semakin tinggi pencapaian efisiensi energi, maka semakin banyak pasokan daya listrik yang seharusnya bisa disalurkan ke pelanggan. Grafik perbandingan untuk efisiensi energi dapat dilihat pada Gambar 4.30 dibawah ini:



Gambar 4.32. Grafik Perbandingan Efisiensi Energi Listrik

Dari perhitungan data historis, nilai efisiensi energi yang telah dicapai berkisar antara 65% - 80%, bila dibandingkan dengan hasil simulasi juga memberikan nilai yang mendekati yaitu dengan rentang 64% - 80% juga sehingga model dianggap valid.

4.2.2. Validasi Model Keandalan Pasokan Listrik

Untuk keandalan sistem transmisi, berdasarkan data historis yang dilaporkan dalam Statistik PLN tahun 2009 -2015 tidak terjadi gangguan transmisi untuk Jawa Timur dan nilainya 0 (nol), sehingga secara hukum matematis perhitungan nilai E_1 dan E_2 parameter SOD dan SOF tidak dapat dilakukan. karena hasilnya tidak bisa terdefinisi. Tabel 4.6 berikut ini memperlihatkan nilai data dan hasil simulasi untuk parameter keandalan sistem transmisi.

Tabel 4. 6. Data Gangguan Sistem Transmisi di Pulau Jawa dan Jawa Timur

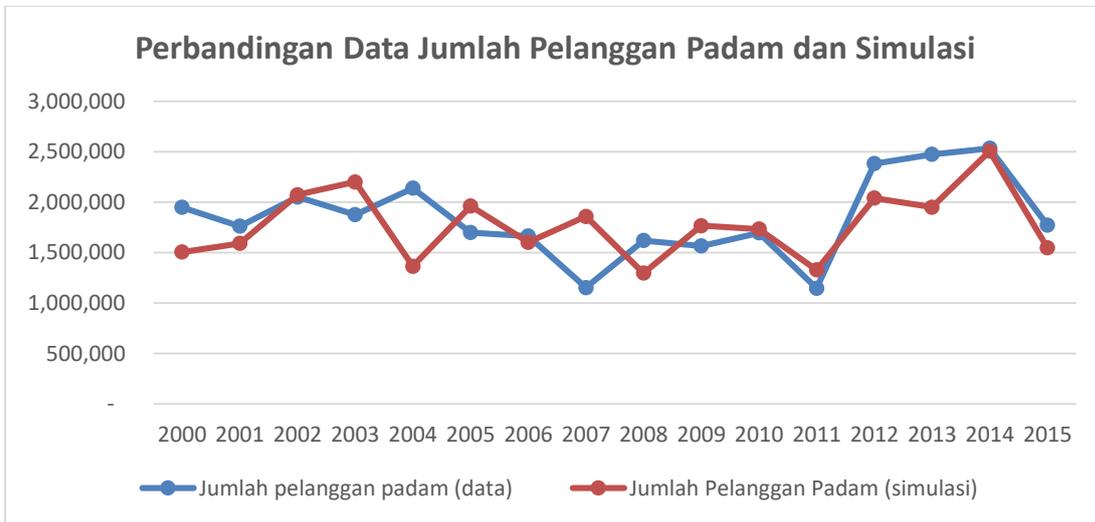
TAHUN	System Outage Duration (SOD)			System Outage Frequency (SOF)		
	Pulau Jawa	Jawa Timur		Pulau Jawa	Jawa Timur	
		Data	Sim		Data	Sim
2009	8.51	0.0	0.0	1.36	0.0	0.0
2010	4.80	0.0	0.0	0.86	0.0	0.0
2011	8.27	0.0	0.0	1.42	0.0	0.0
2012	6.77	0.0	0.0	1.24	0.0	0.0
2013	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0
2014	2.58	0.0	0.0	0.86	0.0	0.0
2015		0.0	0.0		0.0	0.0
Total	30.93	0.00	0.00	5.74	0.0	0.0
Average	5.16	0.00	0.00	0.96	0.0	0.0
Stdev	3.37	0.00	0.00	0.53	0.0	0.0

Rincian perhitungan validasi untuk variabel-variabel dalam keandalan sistem distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.7 dibawah ini:

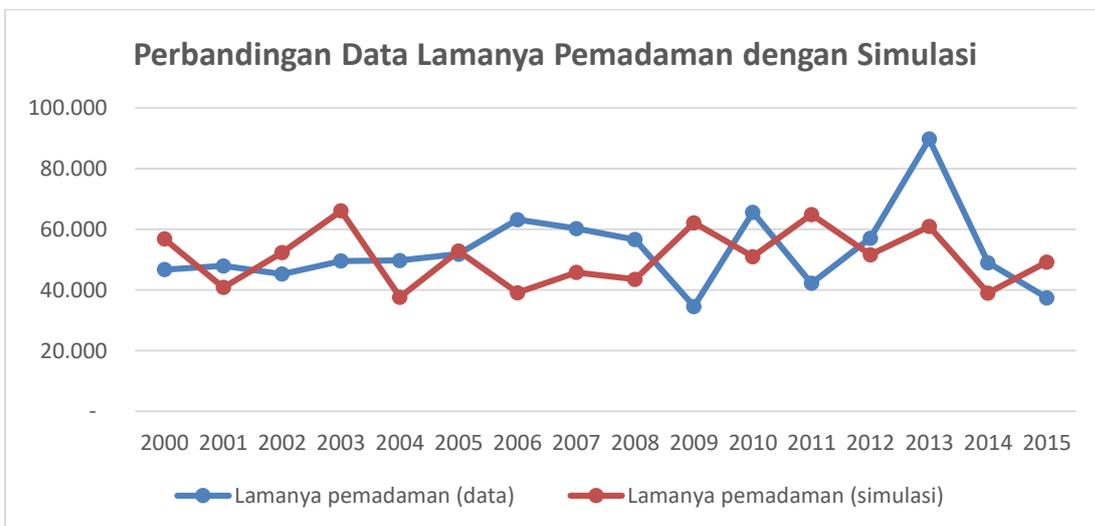
Tabel 4.7. Nilai Validasi untuk Variabel Keandalan Sistem Distribusi

Variabel Keandalan Sistem Distribusi	Rata-rata		Mean Comparison	Standar Deviasi		Error Variance
	Data	Simulasi	$E_1 \leq 5\%$	Data	Simulasi	$E_2 \leq 30\%$
Jumlah Pelanggan padam	1,842,227	1,770,076	0.0392	406,613	339,706	0.1645
Lama Pemadaman	52.936	50.868	0.0391	13.065	9.441	0.2774
SAIFI	4.777	4.880	0.0215	1.535	1.755	0.1436
SAIDI	241.908	249.556	0.0316	81.378	101.738	0.2502
CAIDI	53.936	54.300	0.0260	13.065	10.216	0.2180

Grafik perbandingan untuk masing-masing variable antara data dengan hasil simulasi dari model keandalan sistem distribusi yang dikembangkan dapat di lihat pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 berikut ini:

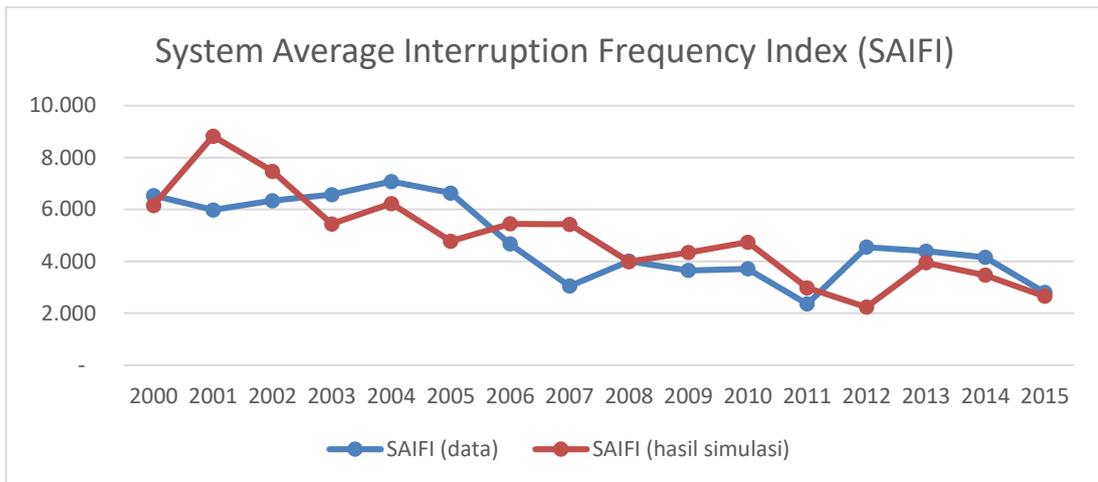


Gambar 4.33. Grafik Perbandingan Jumlah Pelanggan yang Mengalami Pemadaman

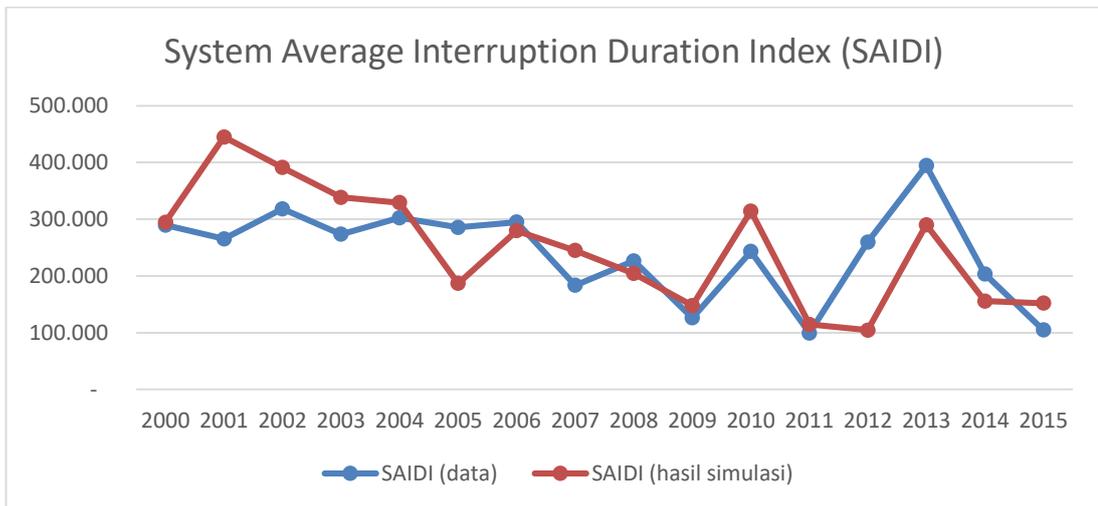


Gambar 4.34. Grafik Perbandingan Lamanya Pemadaman Listrik

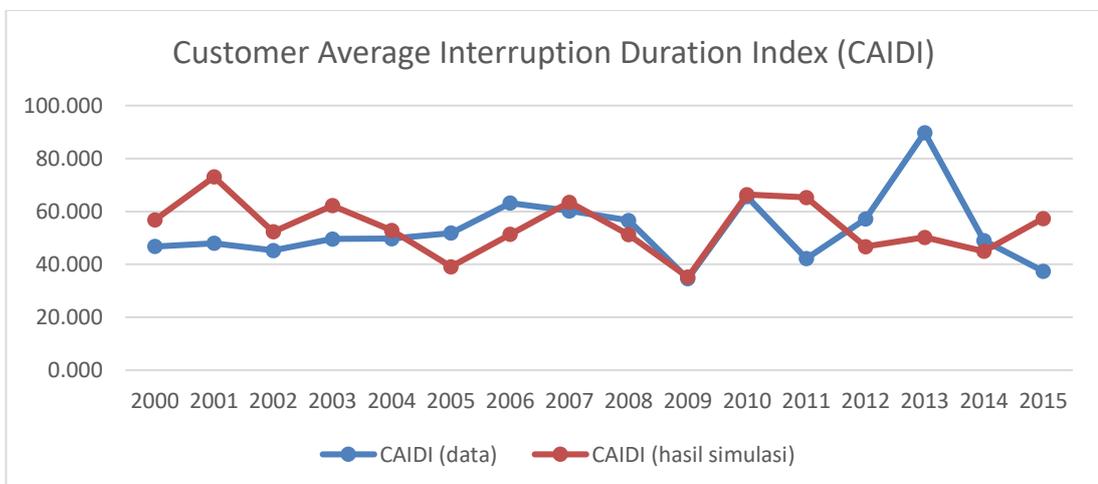
SAIFI, SAIDI, dan CAIDI adalah parameter standar yang digunakan dalam sistem kelistrikan untuk mengetahui keandalan sistem distribusi yaitu kondisi dimana frekuensi pemadamannya rendah dan lamanya pemadaman yang terjadi. Gambar 4.33, 4.34, dan Gambar 4.35 memperlihatkan grafik perbandingan data dengan hasil simulasi untuk masing-masing parameter.



Gambar 4.35. Grafik Perbandingan SAIFI untuk Parameter Keandalan Sistem Distribusi



Gambar 4.36. Grafik Perbandingan SAIDI untuk Parameter Keandalan Sistem Distribusi



Gambar 4.37. Grafik Perbandingan CAIDI untuk Parameter Keandalan Sistem Distribusi

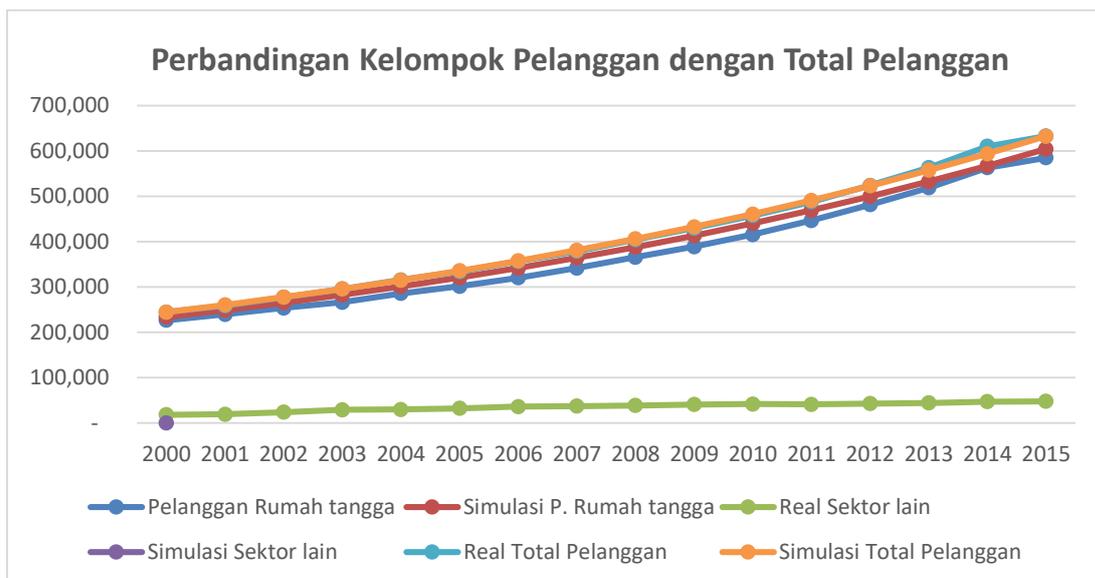
4.2.3. Validasi Model Jumlah Pelanggan dan Rasio Elektrifikasi

Pengembangan model jumlah pelanggan yang digunakan dalam simulasi dapat dikatakan valid jika hasil perhitungannya telah memenuhi syarat untuk *mean comparison* dan *error variance*. Tabel 4.8 berikut ini merangkum nilai rata-rata dan standar deviasi untuk variabel jumlah pelanggan rumah tangga dan sektor lain serta total pelanggan PLN yang ada, dimana nilai yang diperoleh kurang dari ketentuan batas maksimum sehingga model dikatakan valid.

Tabel 4.8. Nilai Validasi Jumlah Pelanggan, Pelanggan Rumah Tangga dan Lainnya

Variabel Jumlah Pelanggan	Rata-rata		Mean Comparison	Standar Deviasi		Error Variance
	Data	Simulasi	$E_1 \leq 5\%$	Data	Simulasi	$E_2 \leq 30\%$
Total Pelanggan	410,653	410,329	0.0008	124,944	122,695	0.0180
Rumah Tangga	374,994	392,018	0.0454	116,251	117,220	0.0083
Sektor Lain	35,659	35,186	0.0133	9,388	10,521	0.1207

Pelanggan sektor lain yang dimaksudkan adalah kelompok bisnis, industri, publik dan social, karena dalam model ini variabel yang dibutuhkan untuk menghitung rasio elektrifikasi adalah jumlah pelanggan rumah tangga. Grafik perbandingan untuk melihat data dengan hasil simulasinya dapat dilihat pada Gambar 4.36 berikut ini:



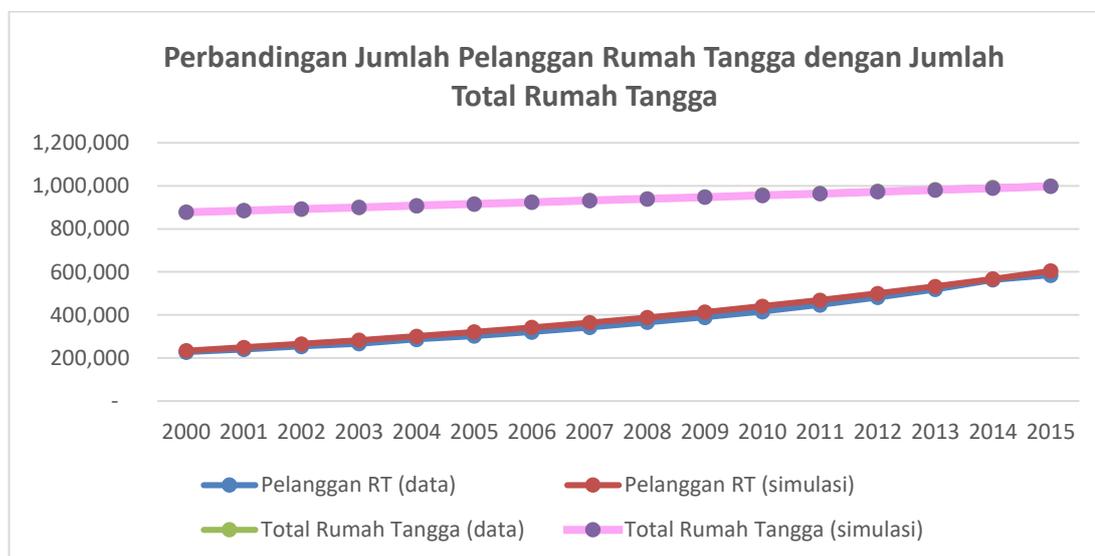
Gambar 4.38. Grafik Perbandingan Kelompok Pelanggan dengan Total Pelanggan

Perhitungan rasio elektrifikasi untuk suatu daerah memerlukan data perbandingan dengan jumlah rumah tangga yang ada di daerah tersebut, sehingga variabel total rumah tangga dan tingkat pertumbuhannya dapat diperhitungkan ke dalam model yang di kembangkan. Hasil perhitungan untuk validasi dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4.9. Nilai Validasi Jumlah Rumah Tangga dan Rasio Elektrifikasi

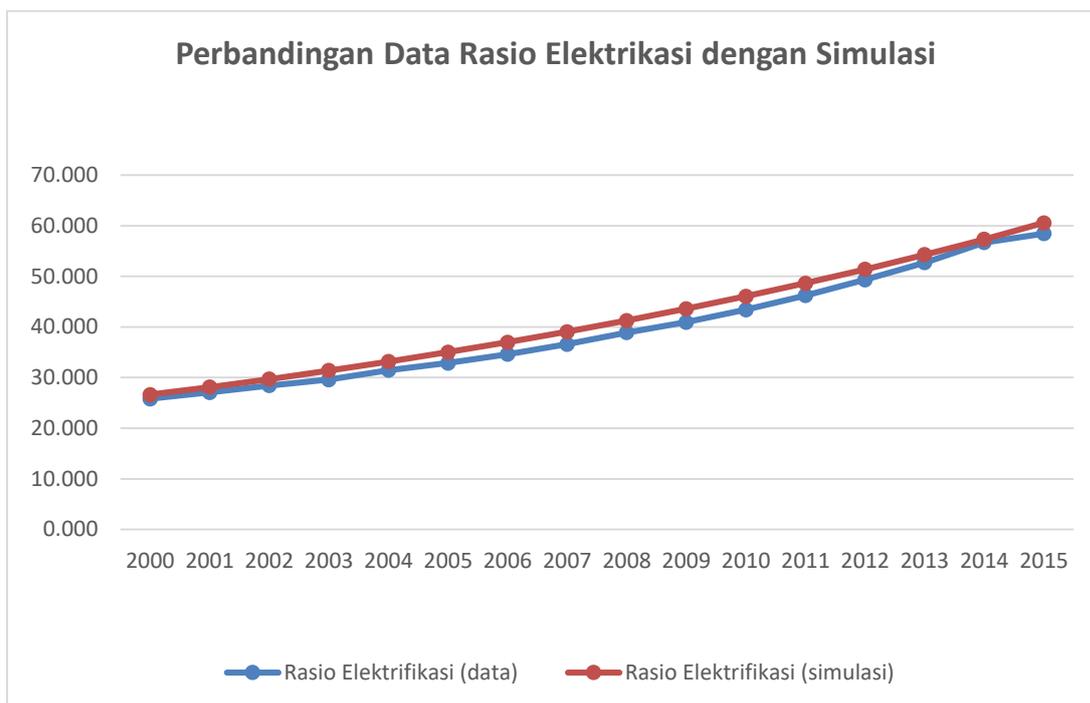
Variabel Rasio Elektrifikasi	Rata-rata		Mean Comparison	Standar Deviasi		Error Variance
	Data	Simulasi	$E_1 \leq 5\%$	Data	Simulasi	$E_2 \leq 30\%$
Total Rumah Tangga	937,855	936,443	0.0015	39,363	38,172	0.0303
Rasio Elektrifikasi	39.57	41.45	0.0475	10.62	10.74	0.0113

Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data historis untuk jumlah rumah tangga dengan jumlah pelanggan rumah tangga dapat dilihat pada Gambar 4.37 berikut ini:



Gambar 4.39. Grafik Perbandingan Jumlah Rumah Tangga dengan Pelanggan RT

Rasio elektrifikasi Madura untuk tahun 2015 adalah 60.55% dengan rincian Kabupaten Bangkalan 71,71%; Kabupaten Sampang 55,66%; Kabupaten Pamekasan 68,58%; dan Kabupaten Sumenep 50,75%. Grafik perbandingan nilai rasio elektrifikasi dari hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.38 berikut ini:



Gambar 4.40. Grafik Perbandingan Rasio Elektrifikasi Madura

4.2.4. Validasi Model Kebutuhan Daya Listrik

Model kebutuhan daya listrik yang dikembangkan dalam simulasi dapat dikatakan valid dan mewakili sistem jika hasil perhitungannya telah memenuhi syarat untuk *mean comparison* (E_1) dan *error variance* (E_2). Data pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 berikut ini menyajikan kebutuhan daya listrik per kelompok pelanggan, dimana hasil perhitungan yang diperoleh kurang dari ketentuan batas maksimum sehingga model dikatakan valid.

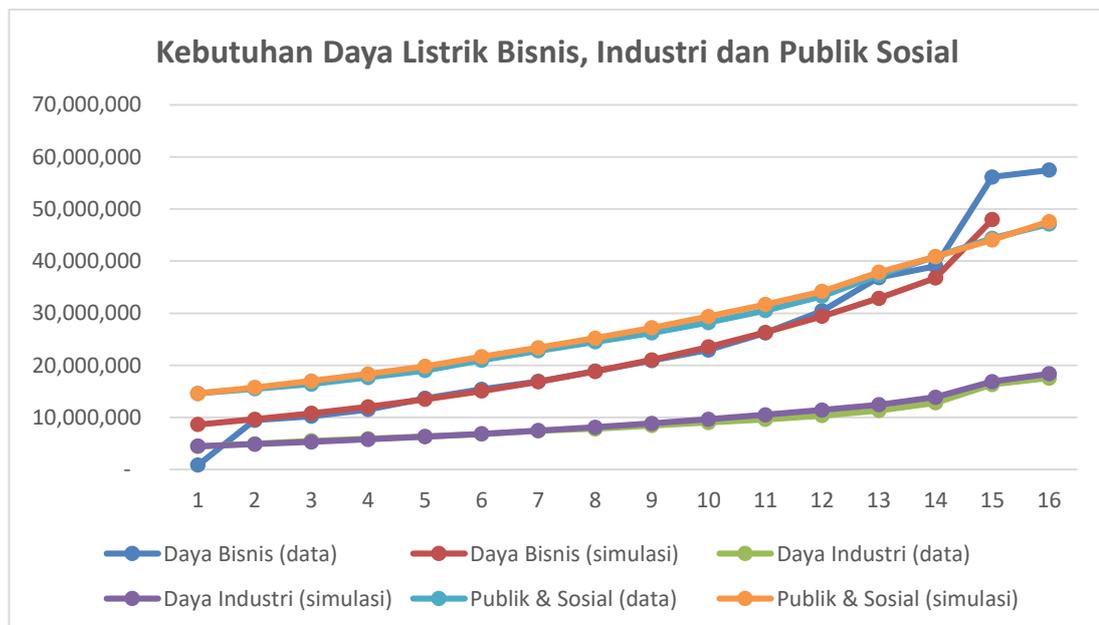
Tabel 4.10. Nilai Validasi E_1 Kebutuhan Daya Listrik per Kelompok Pelanggan

Variabel Kebutuhan Daya Listrik Pelanggan	Rata-rata (Volt Ampere)		Mean Comparison
	Data	Simulasi	$E_1 \leq 5\%$
Rumah Tangga	264,025,145	264,455,266	0.0016
Bisnis	24,184,634	23,547,630	0.0263
Industri	9,040,434	9,446,160	0.0449
Publik & Sosial	27,455,401	28,035,916	0.0211
Total Kebutuhan Daya	325,190,551	325,484,972	0.0009

Tabel 4.11. Nilai Validasi E_2 Kebutuhan Daya Listrik per Kelompok Pelanggan

Variabel Kebutuhan Daya Listrik Pelanggan	Standar Deviasi (Volt Ampere)		Error Variance
	Data	Simulasi	$E_2 \leq 30\%$
Rumah Tangga	82,914,338	83,728,208	0.0098
Bisnis	16,233,000	13,572,250	0.1639
Industri	3,863,645	4,226,355	0.0939
Publik & Sosial	10,533,632	10,460,109	0.0070
Total Kebutuhan Daya	112,447,581	111,780,423	0.0059

Persentase kebutuhan daya per kelompok pelanggan dibandingkan dengan total kebutuhan daya pelanggan antara data PLN dengan hasil simulasi tidak terlalu jauh berbeda, dimana untuk rumah tangga (81,34% dengan 81,25%), bisnis (7,44% dengan 7,23%), industry (2,78% dengan 2,90%) dan kelompok publik dan sosial (8,44% dengan 8,61%). Kebutuhan daya listrik untuk pelanggan rumah tangga masih sangat dominan sehingga rentang nilainya berbeda jauh dengan kelompok pelanggan lain. Adapun grafik perbandingan kebutuhan daya untuk kelompok bisnis, industry, public dan sosial dapat dilihat pada Gambar 4.39 berikut ini:



Gambar 4.41. Grafik Kebutuhan Daya Listrik per Kelompok Pelanggan

4.3. MODEL SKENARIO

Basis model merupakan acuan dasar untuk mengembangkan model skenario, dan dimanfaatkan untuk memprediksi bagaimana kondisi pengembangan sistem di masa akan datang. Dalam penelitian ini adalah pengembangan sistem operasional kelistrikan yang dikondisikan sampai tahun 2040. Pengembangan model skenario dapat dilakukan dengan dua cara, yang pertama dengan merubah struktur dasar (*structure scenario*) dari model, dan yang kedua dengan melakukan perubahan pada nilai parameter (*parameter scenario*) model untuk melihat pengaruhnya pada parameter lain yang terkait. Skenario parameter dilakukan dengan memperhitungkan nilai parameter menjadi skenario pesimis, *most likely*, dan skenario optimis.

Skenario yang dikembangkan dalam penelitian adalah menggunakan skenario struktur, yaitu dengan memperhitungkan kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai solusi pemecahan permasalahan defisit listrik di Madura untuk desa-desa yang belum berlistrik sebagai usaha dalam meningkatkan rasio elektrifikasi dengan memanfaatkan potensi sumber daya energi baru dan terbarukan.

4.3.1. Skenario Model Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Masih banyaknya jumlah dusun dan desa di Madura yang belum dapat menikmati fasilitas listrik dikarenakan permasalahan infrastruktur dan geografis, yaitu Kabupaten Bangkalan (50 desa di 15 kecamatan), Kabupaten Sampang (78 desa di 14 kecamatan), Kabupaten Pamekasan (58 desa di 5 kecamatan), dan Kabupaten Sumenep (32 desa). Dalam penelitian ini Kabupaten Pamekasan dipilih sebagai yang mewakili perhitungan kebutuhan listrik minimum untuk desa belum berlistrik, yaitu desa-desa yang tersebar di 5 kecamatannya yaitu Waru, Palengaan, Batumarmar, Pasean, dan Pakong. Kecamatan Batumarmar merupakan yang terluas dengan jumlah rumah tangga terbanyak, diikuti oleh Palengaan, Waru, Pasean dan Pakong, satu-satunya kecamatan yang kondisi geografisnya daerah perbukitan. Pengelompokan data untuk masing-masing kecamatan dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut ini:

Tabel 4. 12. Data Kecamatan Belum Berlistrik di Kabupaten Pamekasan

No	KECAMATAN	Waru	Palengaan	Batumarmar	Pasean	Pakong
1	Luas Wilayah (km ²)	70.03	88.48	97.05	76.88	30.71
2	Jumlah Desa	12	12	13	9	12
3	Kondisi Geografis	Dataran Rendah	Dataran Rendah	Pantai, Dataran Rendah, Dataran Tinggi	Pantai, Dataran Rendah, Dataran Tinggi	Dataran Tinggi
4	Jumlah Penduduk	63.288	98.602	87.818	50.088	35.896
5	Jumlah Rumah Tangga	16.104	19.285	23.692	14.620	9.185
6	Temperatur (°C)	28 - 30	28 - 30	28 - 30	28 - 30	28 - 30
7	Jumlah hari hujan/tahun	120	61	114	95	72

Untuk mengetahui besarnya daya listrik yang dibutuhkan masing-masing kecamatan, maka diperlukan beberapa tambahan asumsi yang digunakan untuk menghitung kebutuhan listrik masing-masing rumah tangga dan desa, yang merupakan nilai kebutuhan listrik minimum (hanya sebagai penerangan). Penjelasan lebih rinci untuk setiap item kebutuhan listrik rumah tangga dan fasilitas umum desa dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini:

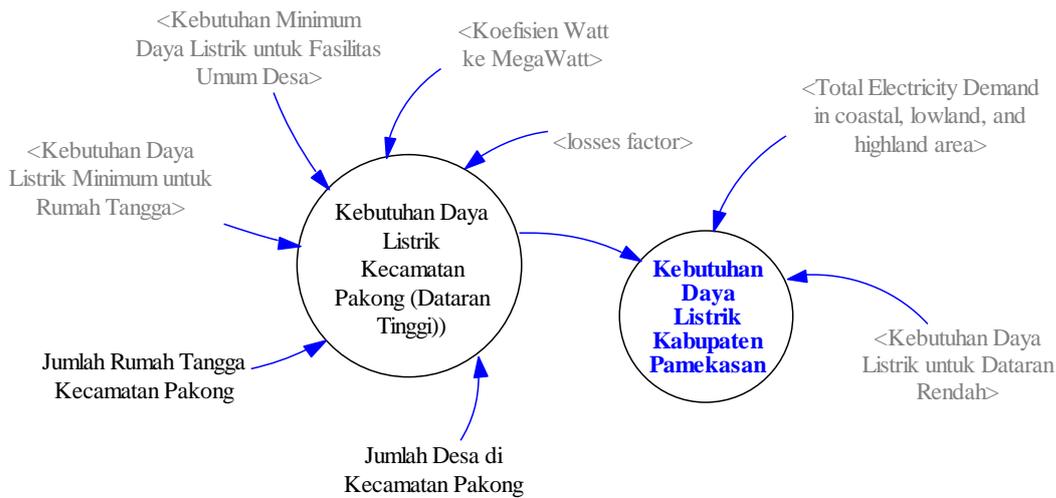
Tabel 4.13. Data Kebutuhan Listrik Minimum untuk Rumah Tangga dan Fasilitas Desa

No	Kategori	Jumlah	Daya	Waktu Operasional	Pemakaian Daya	Kebutuhan Daya
I	Rumah Tangga					
	- Penerangan Teras & Ruang Tamu	2	@5 watt	12 jam	120 Wh	250 watt
	- Penerangan Kamar, dapur, kamar mandi	4	@5 watt	6 jam	120 Wh	
II	Fasilitas Umum Desa					
	- Kantor Pemerintahan	1			250 Wh	1.000 watt
	- Tempat Ibadah	1			250 Wh	
	- Sekolah Dasar	1			250 Wh	
- Penerangan Jalan	1			250 Wh		

Menurut Solarex (1996), Indonesia sebagai negara tropis mempunyai potensi energy matahari yang tinggi dengan radiasi rata-rata 4,5 kWh²/m²/hari – 5,0 kWh²/m²/hari, yang berarti 1 Kw photovoltaic (PV) dapat menghasilkan 4,5 kWh energi listrik setiap harinya.

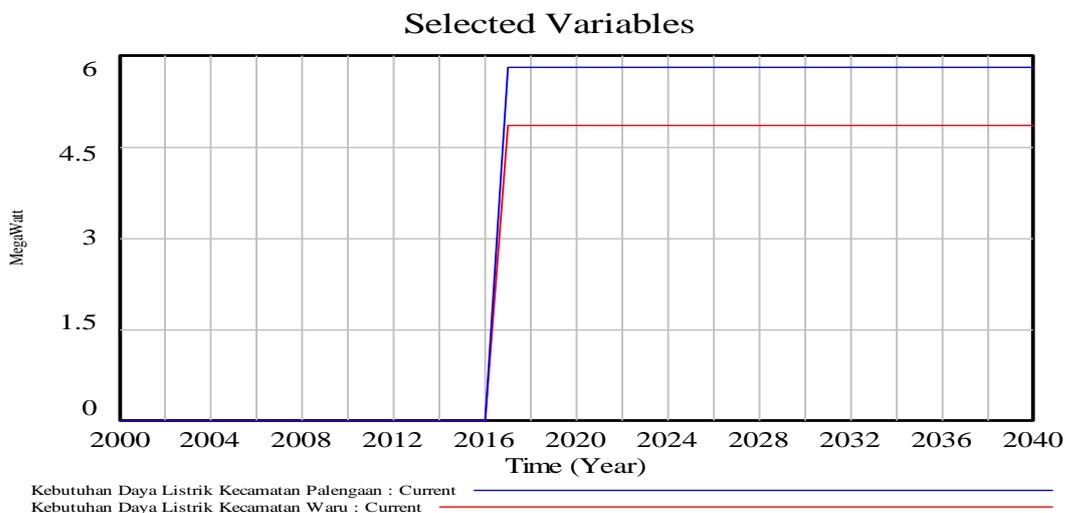
4.3.1.1. Skenario Model Kebutuhan Daya Listrik Tenaga Surya

Pengembangan skenario model untuk menghitung berapa besar kebutuhan listrik minimum di desa-desa yang belum berlistrik yang tersebar di kelima kecamatan dapat dilihat pada Gambar 4.40 berikut ini, dimana terdapat tiga kategori pembagian kecamatan berdasarkan kondisi geografisnya, yaitu dataran rendah, dataran tinggi dan gabungan keduanya.



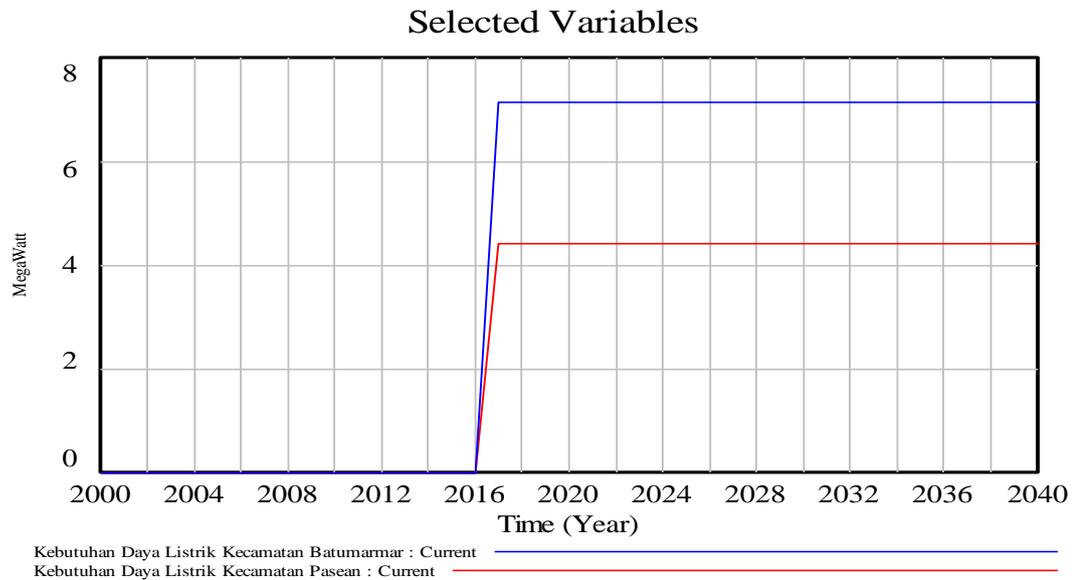
Gambar 4.42. Kebutuhan Daya Listrik berdasarkan Kondisi Geografis Kecamatan

Hasil simulasi skenario model memperlihatkan kebutuhan listrik untuk Kecamatan Waru dan Kecamatan Palengaan yang terletak di dataran rendah adalah sebesar 4,845 MW dan 5,799 MW, yang grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.41 berikut ini:



Gambar 4.43. Kebutuhan Daya Listrik untuk Kec. Waru dan Kec. Palengaan

Gambar 4.42 berikut ini memperlihatkan kebutuhan daya listrik untuk Kecamatan Batumarmar dan Kecamatan Pasean yang kondisi geografisnya memiliki dataran rendah dan juga dataran tinggi, yang besarnya masing-masing adalah 7,123 MW dan 4,397 MW.



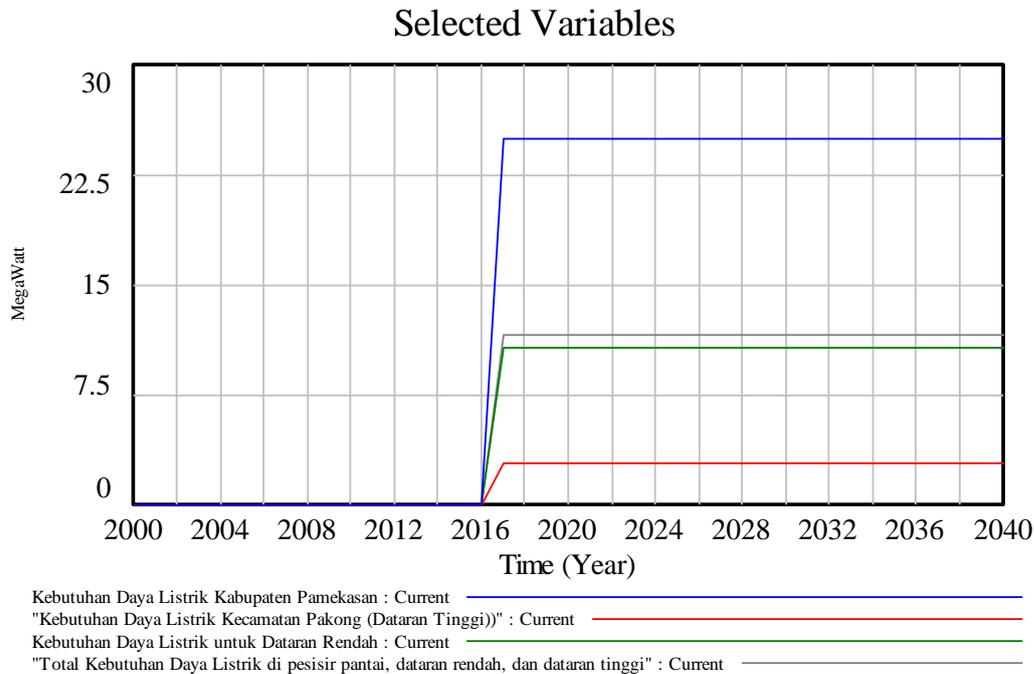
Gambar 4.44. Kebutuhan Daya Listrik untuk Kec. Batumarmar dan Kec. Pasean

Kecamatan Pakong mempunyai luas wilayah yang paling kecil dengan jumlah penduduk dan jumlah rumah tangga yang paling sedikit, dimana geografisnya terdiri dari daerah perbukitan dataran tinggi. Besarnya kebutuhan daya listrik untuk Kecamatan Pakong adalah 2,769 MW, yang grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.43 berikut ini:



Gambar 4.45. Kebutuhan Daya Listrik untuk Kecamatan Pakong

Total kebutuhan daya dari kelima kecamatan adalah sebesar 24,935 MW, dimana pembagian untuk dataran rendah 10,646 MW, dataran tinggi 2,769 MW dan 11,52 MW untuk kecamatan yang memiliki dataran rendah dan tinggi. Secara lebih jelas pembagiannya dapat dilihat pada Gambar 4.44 berikut ini:



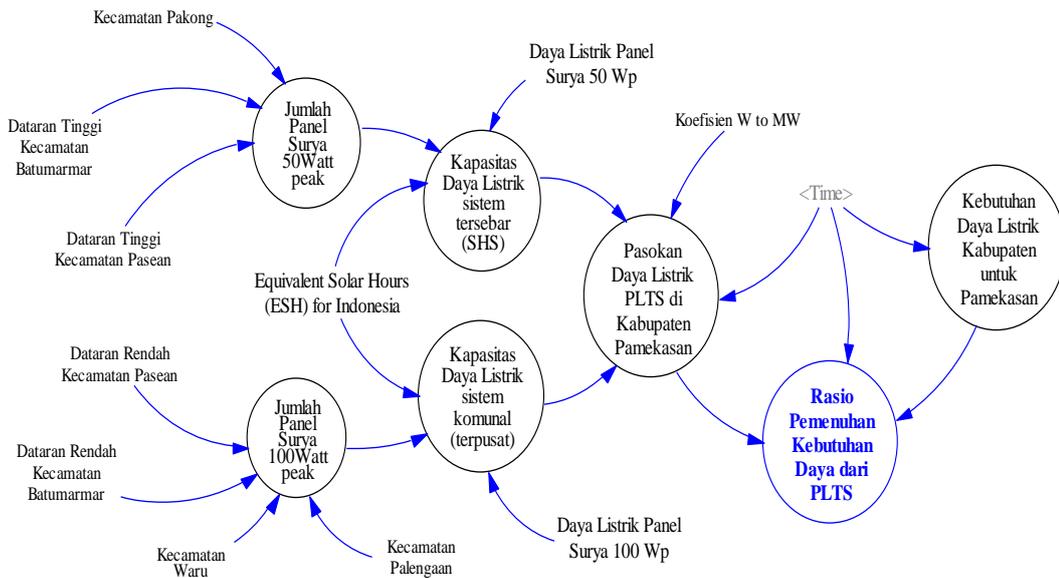
Gambar 4.46. Total Kebutuhan Daya Listrik Tenaga Surya untuk Kabupaten Pamekasan

4.3.1.2. Skenario Model Perencanaan Kapasitas PLTS

Perencanaan pembangunan PLTS untuk lima kecamatan yang berada di Kabupaten Pamekasan akan dibedakan menjadi dua tipe untuk menyesuaikan kondisi geografis desa belum berlistrik di Kabupaten Pamekasan, yaitu:

1. *Solar Home System* (SHS) dengan menggunakan panel surya 50Wp untuk desa-desa yang berada di dataran tinggi.
2. *Centralized Photovoltaics* (PLTS komunal) dengan menggunakan panel surya 100 Wp untuk desa-desa dikawasan pantai dan dataran rendah.

Pengembangan kkenario model rasio pemenuhan kebutuhan listrik perdesaan dengan memperhitungkan sumber pembangkit listrik tenaga surya dapat dilihat pada Gambar 4.45 berikut ini:



Gambar 4.47. Total Kebutuhan Daya Listrik Tenaga Surya untuk Kabupaten Pamekasan

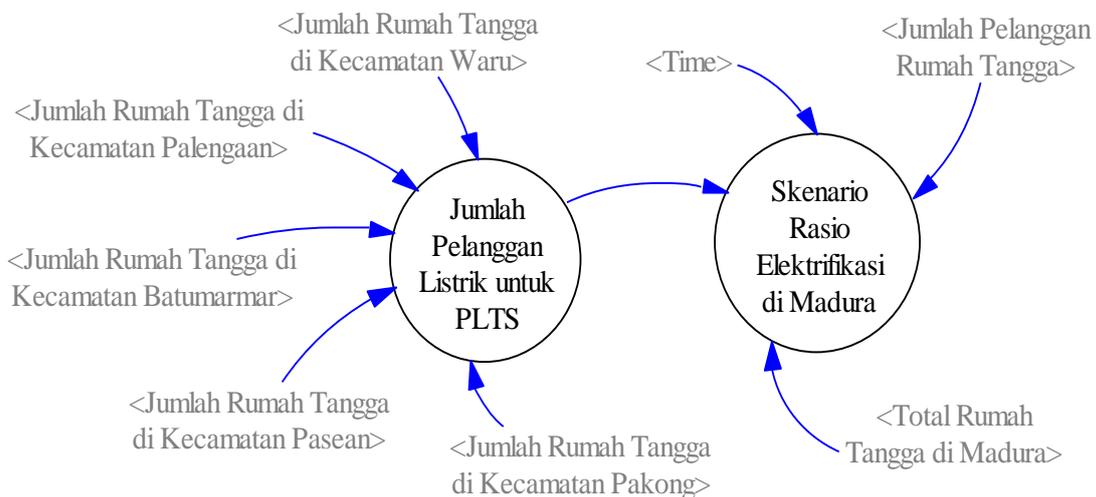
Adapun total kebutuhan daya listrik untuk kelima kecamatan tersebut adalah 24,935 MW yang mana akan dapat terpenuhi dengan adanya pembangunan sumber pembangkit dengan energi terbarukan, yaitu PLTS yang memiliki kapasitas untuk menghasilkan daya listrik sebesar 24,997 MW. Rasio pemenuhan daya listrik PLTS adalah perbandingan antara jumlah pasokan daya listrik yang dihasilkan dari PLTS dengan jumlah kebutuhan daya listrik di kabupaten Pamekasan, dimana grafik perbandingannya dilihat pada Gambar 4.46 berikut ini.



Gambar 4.48. Rasio Pemenuhan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS

4.3.2. Skenario Peningkatan Rasio Elektrifikasi

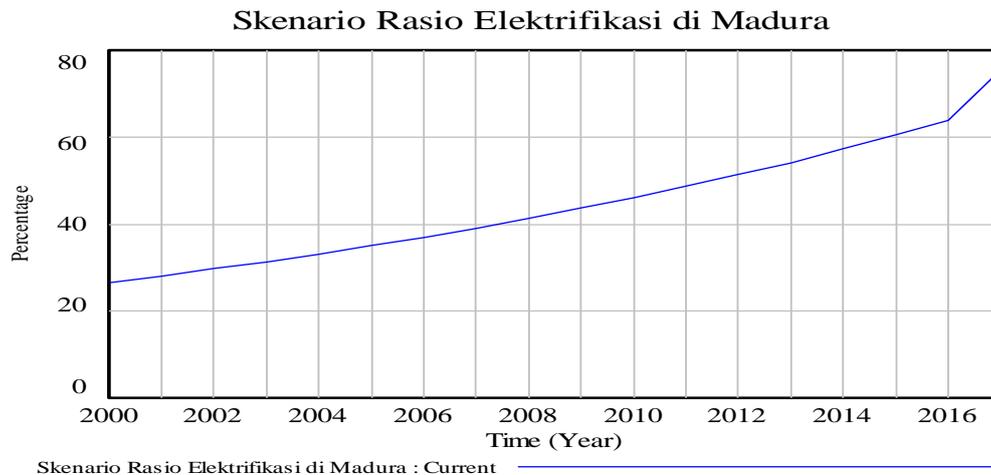
Kapasitas daya listrik yang dapat dihasilkan dari pembangunan PLTS hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik minimum di desa-desa yang belum berlistrik, sehingga daya listrik yang perlu dibangkitkan di Kabupaten Pamekasan sebesar 24,997 MW. Tetapi nilai tersebut telah mampu memberikan penerangan untuk 58 fasilitas umum desa dan sejumlah 82.886 rumah tangga, yang berarti akan terjadi pertambahan jumlah rumah tangga berlistrik dan peningkatan nilai rasio elektrifikasi di Madura. Pengembangan skenario model rasio elektrifikasi setelah terjadinya pertambahan jumlah pelanggan rumah tangga dari PLTS dapat dilihat pada Gambar 4.47 berikut ini:



Gambar 4.49. Rasio Elektrifikasi dengan Pertambahan Pelanggan Rumah Tangga

Perhitungan kebutuhan daya listrik dan peningkatan jumlah pelanggan rumah tangga di Kabupaten Pamekasan yang dapat menikmati fasilitas listrik dengan adanya PLTS dapat menjadi acuan perhitungan untuk menghitung kebutuhan daya listrik desa-desa terpencil dan terisolir yang tersebar di ketiga kabupaten lainnya, yaitu Bangkalan, Sampang, dan Sumenep.

Grafik hasil perhitungan rasio elektrifikasi pada Gambar 4.48 berikut ini, khusus pada tahun 2017 memperlihatkan terjadinya peningkatan nilai yang cukup berarti, dimana pada tahun 2015 hanya sebesar 60,48% meningkat sebanyak 15,15% menjadi 75,63% pada tahun 2017.



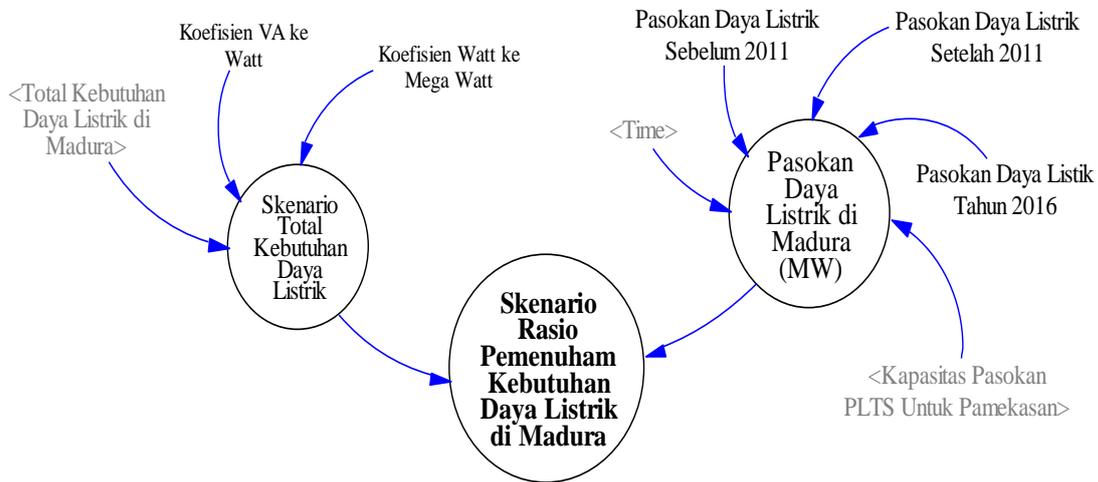
Gambar 4.50. Grafik Peningkatan Rasio Elektrifikasi dengan Pelanggan PLTS

4.3.3. Rasio Pemenuhan Kebutuhan Daya Listrik

Mayoritas pelanggan PLN di Madura adalah kategori rumah tangga dengan daya 450VA – 1300VA, sehingga perhitungan kebutuhan daya listrik minimum untuk perencanaan pembangunan PLTS masih jauh dari standar 900VA yang seharusnya untuk kebutuhan listrik rumah tangga. Adapun jumlah rumah tangga yang sampai saat ini belum terpenuhi kebutuhan listriknya merupakan beban kerja bagi program listrik desa pemerintah yang seharusnya direalisasikan dalam waktu dekat. Hal ini dilakukan untuk mencegah ketimpangan tingkat perekonomian, wawasan pengetahuan antara masyarakat desa terpencil dengan kehidupan masyarakat yang bertempat tinggal di kota.

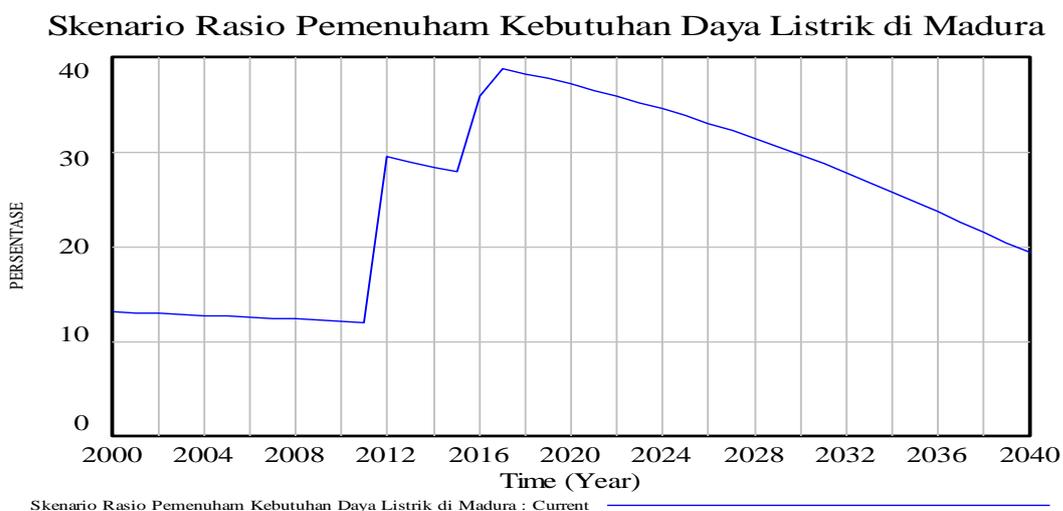
Jika dilakukan penilaian secara global, penambahan pasokan daya listrik dari sistem PLTS untuk kelima kecamatan di Kabupaten Pamekasan, tidak langsung signifikan mempengaruhi perubahan grafik rasio pemenuhan daya listrik di Madura. Hal ini dikarenakan nilainya yang kecil hanya sekitar 10% dari pasokan daya yang saat ini di Madura, karena perhitungannya hanya untuk memenuhi kebutuhan listrik minimum di desa-desa terpencil yang tidak terjangkau dari sumber listrik utama dalam waktu dekat. Walaupun begitu pemberdayaan PLTS sebagai solusi jangka pendek akan sangat membantu masyarakat desa yang bertempat tinggal disana dalam melakukan aktivitas malam hari, terutama kegiatan belajar bagi generasi muda yang masih duduk di bangku sekolah.

Setelah dilakukan perencanaan pengembangan sistem PLTS, maka perubahan struktur model rasio pemenuhan daya listrik Madura dapat dilihat pada Gambar 4.49 berikut ini:



Gambar 4.51. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS

Pada Gambar 4.50 terlihat grafik pasokan daya listrik yang cenderung menurun, dimana pasokan yang tersedia saat ini hanya mencukupi sekitar 35,85% dari total kebutuhan yang sebenarnya. Pengembangan pembangkit listrik baru dengan dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam yang dimiliki Madura harus menjadi target program kerja guna mencukupi pertumbuhan kebutuhan daya listrik masyarakat.



Gambar 4.52. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS

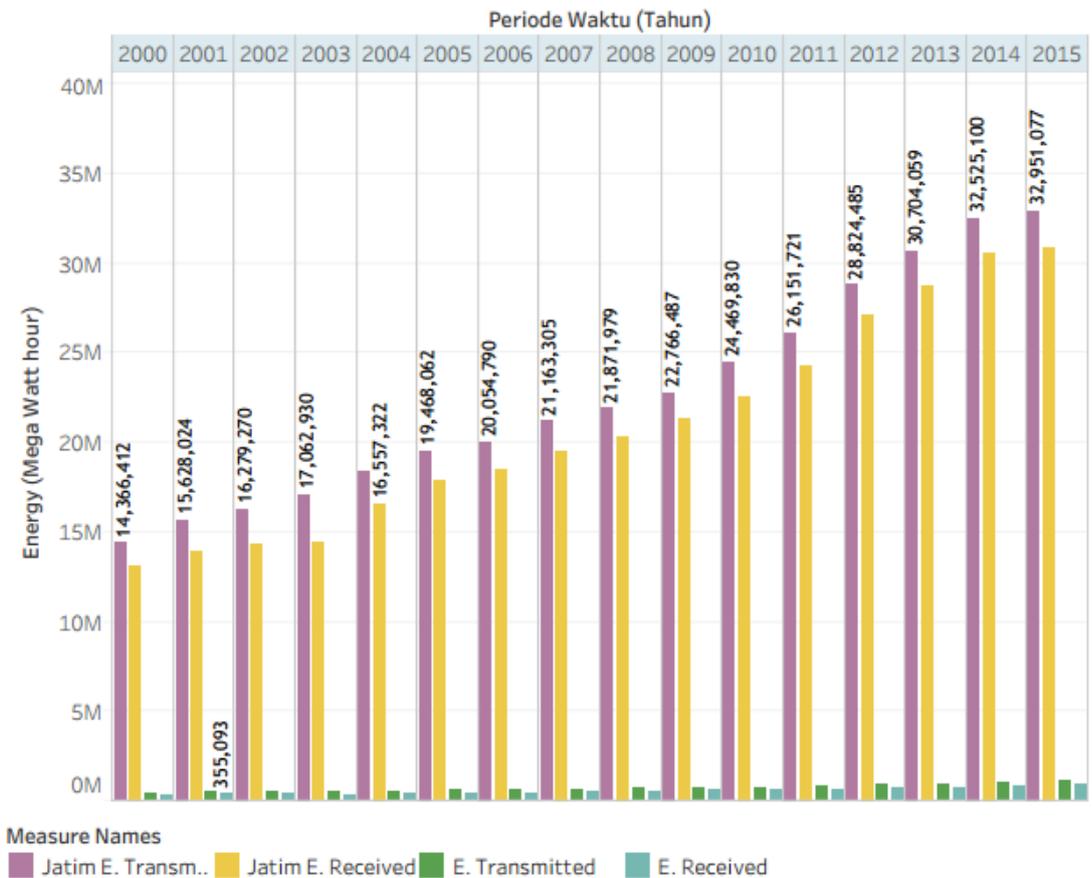
4.4. DASHBOARD

Data yang disajikan dalam bentuk visualisasi menjadi lebih menarik untuk dianalisa secara menyeluruh dalam mempertimbangkan keputusan berikutnya yang terkait untuk pengembangan sebuah sistem.

4.4.1. Perbandingan Energi Listrik di Jawa Timur dengan Madura

Jika dilihat dari jumlah energi listrik yang siap di jual dan yang terjual di Madura setiap tahunnya, rata-rata hanya sekitar 3,01 % untuk *energy transmitted* dan 2,50 % untuk *energy received* dari total energi listrik yang tersebar di Jawa Timur. Gambar 4.51 berikut ini memperlihatkan bagaimana tingkat perbandingan energi di Jawa Timur dengan energi di Madura.

Jatim & Madura

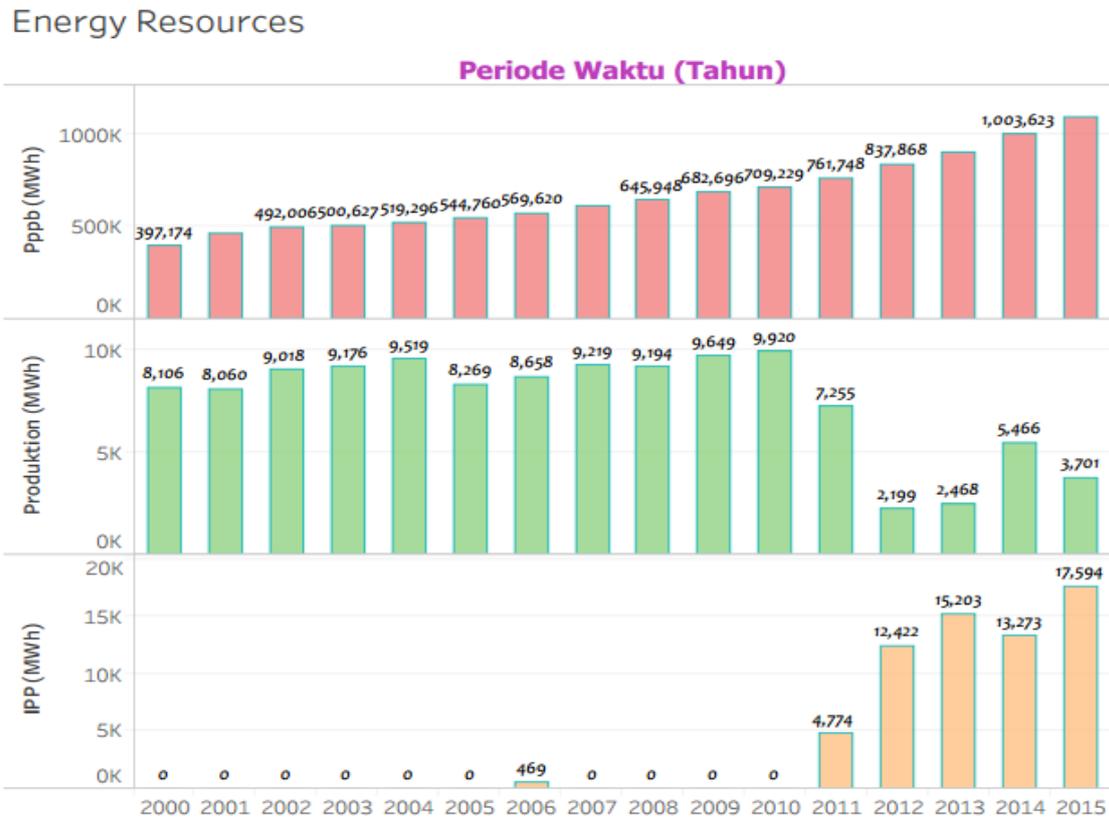


Gambar 4.53. Perbandingan Energi Listrik Jawa Timur dan Madura

4.4.2. Perbandingan Sumber Energi Listrik di Madura

Setiap tahunnya energi listrik yang dialirkan ke Madura melalui sistem interkoneksi P3B mengalami peningkatan, tetapi tidak halnya dengan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh Madura sendiri yang setiap tahunnya malah cenderung menurun. Pengembangan sumber pembangkit yang telah ada di Madura selama ini tidak menjadi prioritas utama dikarenakan pasokan energi listrik dari sistem interkoneksi lebih layak secara ekonomis.

Akan tetapi mengingat rasio elektrifikasi di Madura yang masih rendah, dimana permasalahan utama yang menjadi hambatan untuk mengembangkan infrastruktur listrik adalah kondisi geografis dan topografis serta infrastruktur jalan yang tidak mendukung, maka diperlukan analisa pengembangan potensi sumber daya yang dimiliki Madura untuk membangun pembangkit baru dengan energy baru dan terbarukan. Gambar 4.52 dibawah ini memperlihatkan perbandingan antara tiga sumber energy yang berkembang selama ini di Madura.

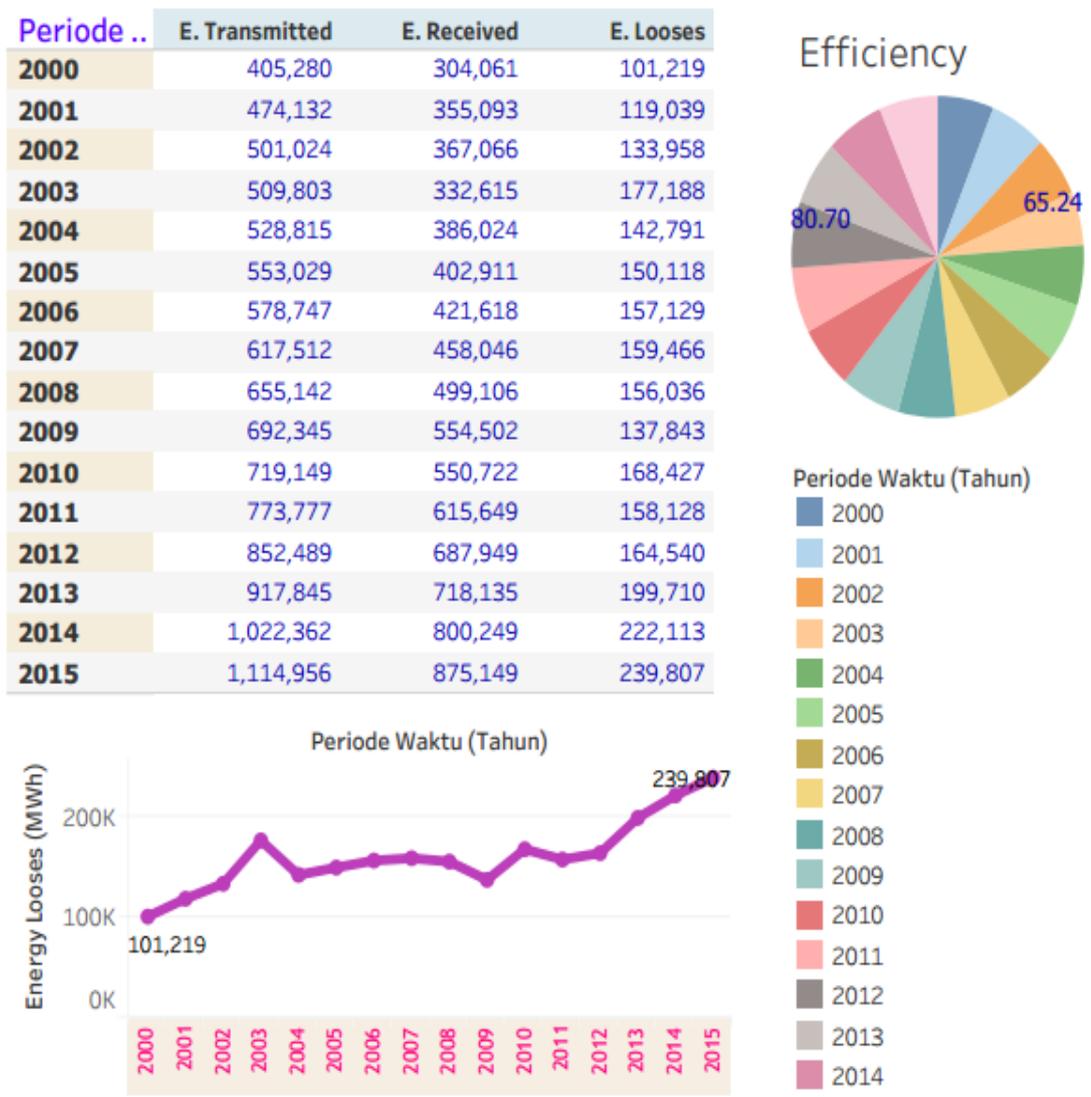


Gambar 4.54. Perbandingan Sumber Energi Listrik di Madura

4.4.3. Perbandingan Susut Energi dan Efisiensi Energi

Susut energi yang terjadi di Madura meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, dimana nilainya bervariasi setiap tahun yaitu rata-rata 161.721 MWh per tahun. Tingkat efisiensi juga bervariasi dimana efisiensi paling rendah terjadi pada tahun 2003 sebesar 65,24 % dan efisiensi tertinggi dicapai pada tahun 2012 sebesar 80,70 %.

Gambar 4.53 berikut ini memperlihatkan bagaimana perkembangan susut energi dan efisiensi yang terjadi setiap tahunnya di Madura.

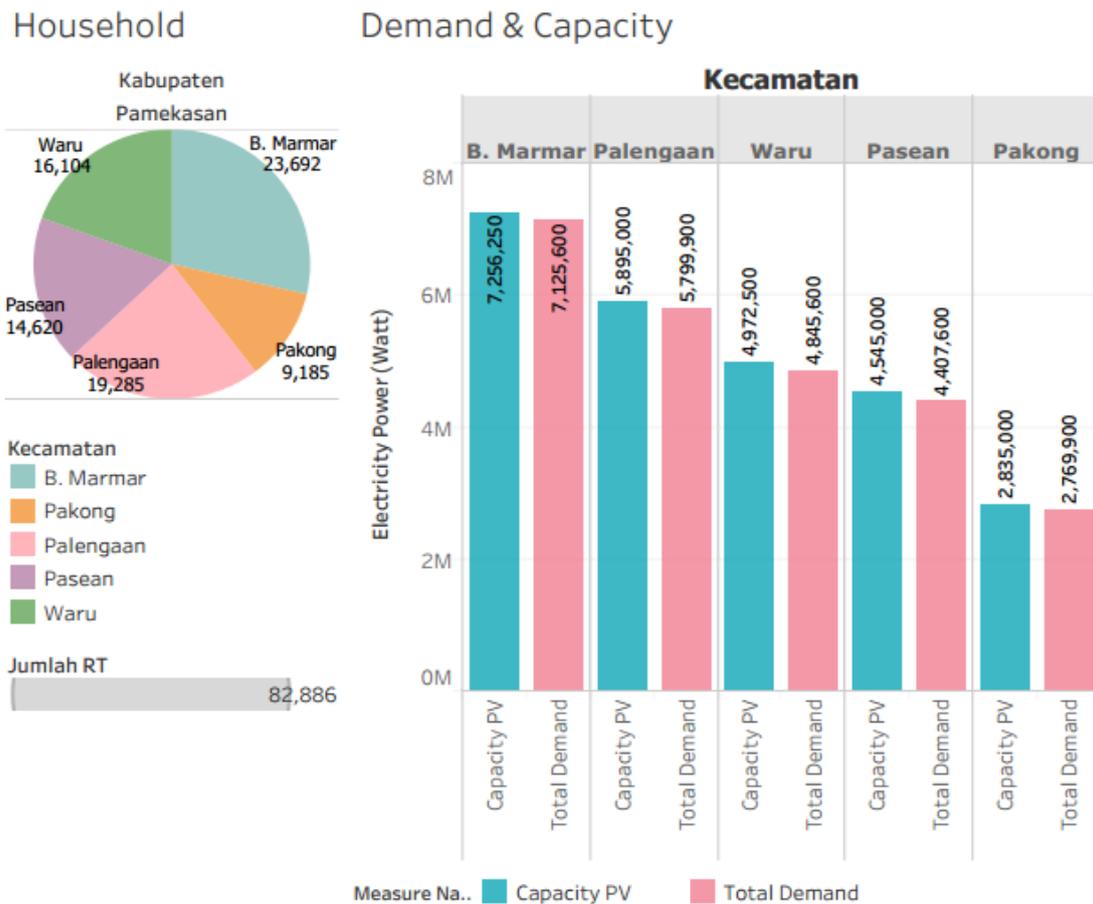


Gambar 4.55. Perkembangan Susut Energi dan Efisiensi di Madura

4.4.4. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Madura

Tenaga surya merupakan bagian dari sumber energi terbarukan yang potensinya sangat banyak di Indonesia sebagai negara tropis. Pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya merupakan alternatif solusi jangka pendek dalam memenuhi kebutuhan listrik ke daerah-daerah yang jauh dari sumber listrik utama, dikarenakan hitungan pembangunan infrastruktur yang tidak memenuhi aspek ekonomis.

Pengembangan PLTS disesuaikan dengan jumlah kebutuhan listrik minimum untuk rumah tangga dan desa, sehingga kapasitas yang dibangun disesuaikan dengan kebutuhan listrik yang ada dengan tidak memperhitungkan nilai pertumbuhan. Gambar 4.54 dibawah ini memperlihatkan jumlah rumah tangga di masing-masing kecamatan, sehingga kebutuhan daya listrik dan kapasitas pasokan PLTS dihitung secara global per kecamatan.



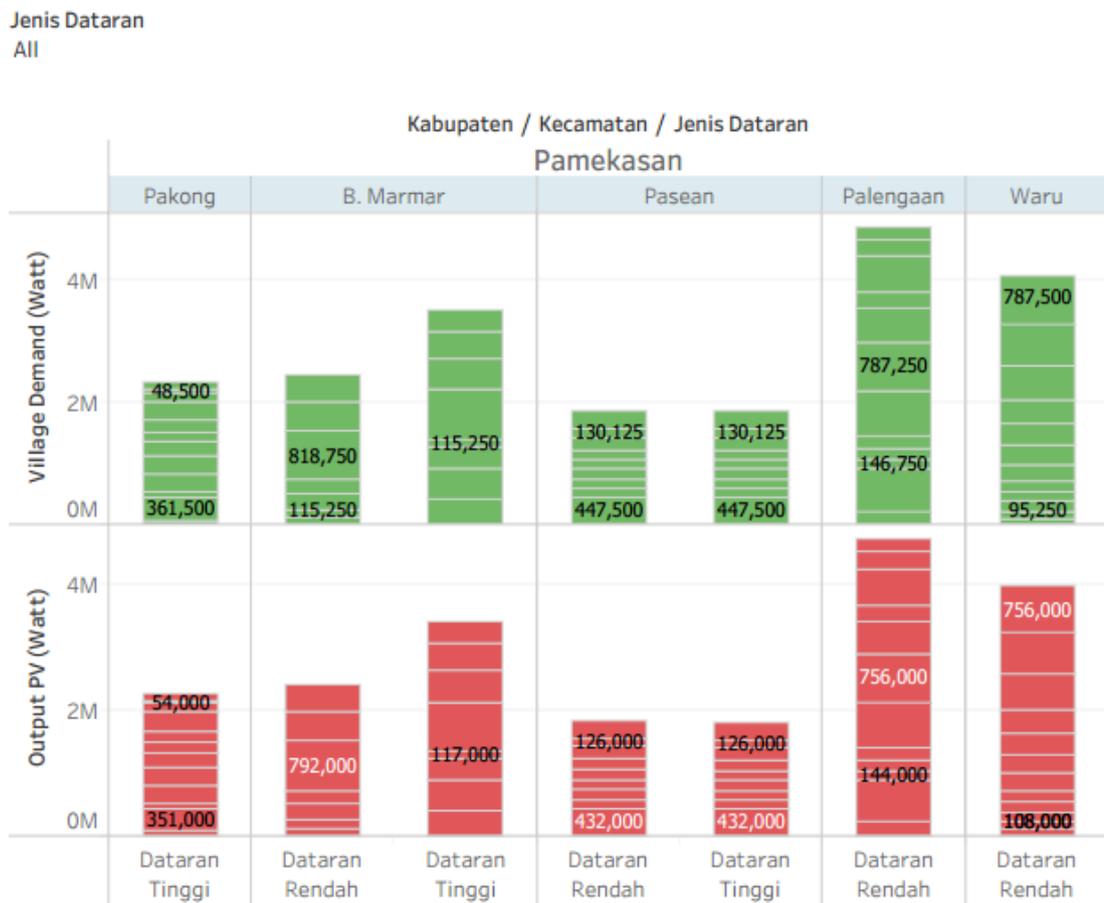
Gambar 4.56. Jumlah Rumah Tangga, Kebutuhan Daya dan Kapasitas PLTS

4.4.5. Perbandingan Kebutuhan Daya Listrik Berdasarkan Geografis Desa

Kondisi geografis memegang peranan besar dalam mengembangkan sistem PLTS yang di butuhkan masing-masing kecamatan, karena untuk daerah perbukitan dataran tinggi tidak memungkinkan menempatkan sejumlah panel surya dalam satu wilayah daerah yang luas. Kecamatan Batumarmar dan Kecamatan Pasean memiliki beberapa desa yang terletak di dataran rendah dan beberapa desa di dataran tinggi, sehingga perhitungan kebutuhan daya dan kapasitasnya juga harus disesuaikan dengan model PLTS yang dikembangkan.

Gambar 4.55 berikut ini memperlihatkan perbandingan kebutuhan daya dan pasokan daya listrik dari PLTS berdasarkan pembagian geografis di masing-masing kecamatan.

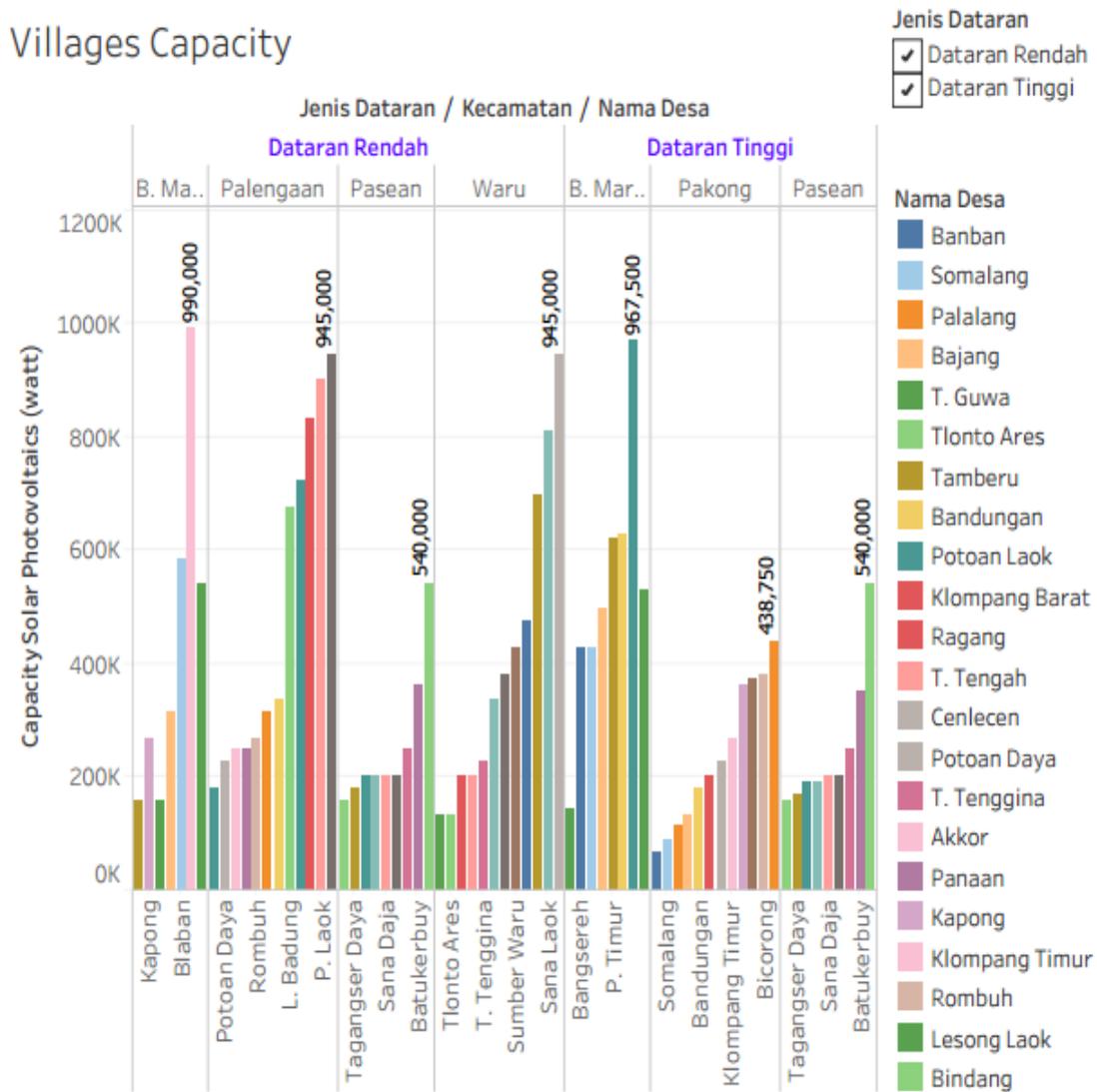
Perbandingan Kebutuhan Listrik dan Pasokan PV



Gambar 4. 57. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS

4.4.6. Kapasitas Pasokan Daya Listrik PLTS Masing-Masing Desa

Kebutuhan listrik dan perencanaan kapasitas PLTS untuk setiap desa besarnya bervariasi, bergantung kepada jumlah rumah tangga di masing-masing desa tersebut. Gambar 4.56 dibawah ini memperlihatkan variasi perencanaan kapasitas PLTS dari masing-masing desa di lima kecamatan.



Gambar 4.58. Perbandingan Kebutuhan Daya dengan Pasokan Daya Listrik PLTS

Perencanaan PLTS untuk desa yang berada di dataran tinggi adalah dengan menerapkan *Solar Home System* (SHS) yang menggunakan panel surya 50Wp, sedangkan untuk desa yang berada di dataran rendah menerapkan *Centralized System* dengan menggunakan panel surya 100Wp.

Kecamatan Pakong yang semua desanya berada di dataran tinggi, Desa Seddur membutuhkan pasokan daya listrik PLTS terbesar yaitu 438.750 watt, dan kapasitas terkecil di desa Banban sebesar 67.500 watt. Kapasitas terbesar di kecamatan Waru adalah 945.000 watt untuk desa Waru Barat, dan yang terkecil di desa T. Guwa dan Tlonto Ares yaitu 135.000 watt. Desa P. Daya di Kecamatan Palengaan membutuhkan kapasitas terbesar 945.000 watt dan terkecilnya 180.000 watt untuk desa Potoan Laok. Untuk Kecamatan Pasean, desa Tlonto Raja yang terletak di dataran tinggi dan rendah sekaligus, masing-masing membutuhkan kapasitas sebesar 540.000 watt, dan Desa Bindang yang memiliki kesamaan geografis membutuhkan kapasitas paling minimum yaitu 157.500 watt. Kecamatan Batumarmar yang merupakan kecamatan terluas dengan jumlah rumah tangga terbanyak, kapasitas paling besar adalah 990.000 watt untuk desa Bujur Timur dan paling kecil 146.250 watt untuk desa Lesong Laok.

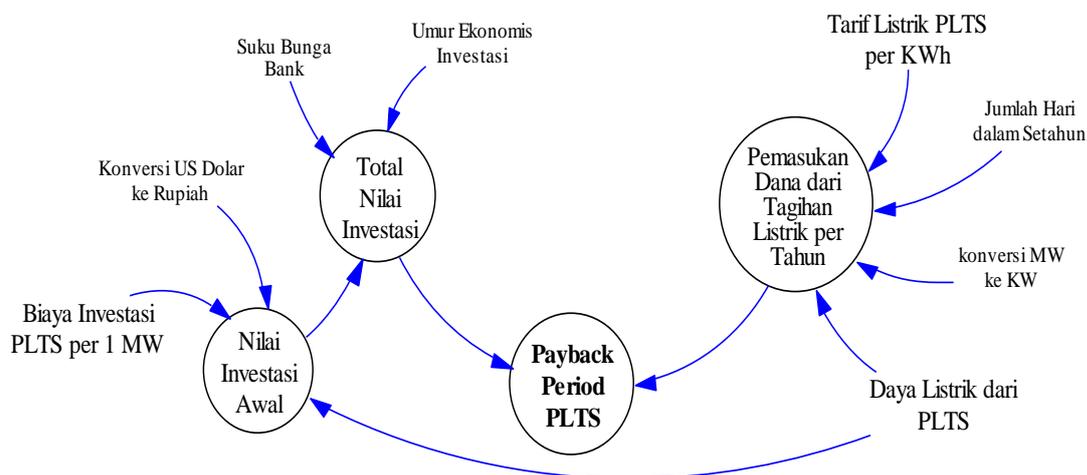
4.5. PERTIMBANGAN ASPEK EKONOMIS SISTEM PLTS

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) saat ini telah banyak dipertimbangkan untuk memberikan fasilitas listrik ke daerah-daerah yang terisolir guna mendukung tercapainya program 35.000 MW tahun 2020. Dalam pelaksanaannya kebijakan diserahkan kepada masing-masing daerah, sehingga untuk pengadaannya pemerintah daerah cenderung melakukan lelang terbuka (*e-proc*) seperti yang terjadi di beberapa daerah Indonesia dengan nilai investasi yang bervariasi tergantung pada kebutuhan daerah tersebut.

Studi kelayakan dari aspek ekonomis untuk investasi PLTS diperhitungkan secara terperinci dari penilaian finansial terhadap besarnya aliran kas suatu investasi. Metode *Payback Period* (PP) digunakan untuk menghitung lamanya waktu yang diperlukan untuk mengembalikan uang yang telah diinvestasikan. Analisa keuntungan dan biaya diperlukan dalam menentukan keputusan apakah sebuah proyek/kegiatan layak atau tidak direalisasikan. Rumus perhitungannya adalah:

$$Payback\ Period\ (PP) = \frac{Investasi\ Kas\ Bersih}{Aliran\ Kas\ Masuk\ Bersih} \times 1\ tahun \quad (4.12)$$

Pengembangan model untuk perhitungan PP dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi biaya dan pemasukan dalam sistem investasi PLTS, dapat dilihat pada Gambar 4.57 berikut ini:



Gambar 4.59. Skenario Model Perhitungan Payback Period (PP) Investasi PLTS

Beberapa asumsi yang digunakan dalam perhitungan analisa finansial investasi PLTS untuk mengetahui kelayakannya secara aspek ekonomis dengan berbagai skenario *optimistic*, *most likely* dan *pesimistic* adalah:

Biaya investasi per 1MW PLTS = US\$ 1.875.000

Investasi Panel Surya = 75% dari Total Investasi

Investasi Komponen = 25% dari Total Investasi

Tabel 4.14. Skenario Model Perhitungan Payback Period

No	SKENARIO	KETERANGAN
1	Optimis	Investasi tidak memperhitungkan suku bunga bank Tarif dasar listrik PLTS (US\$ 20sen per kWh) Tidak ada kenaikan kurs nilai tukar dolar ke rupiah (1 US\$ = Rp 13.500,-)
2	Most Likely	Investasi tidak memperhitungkan suku bunga bank Ada kenaikan tarif dasar listrik PLTS menjadi US\$ 15sen per kWh Tidak ada kenaikan kurs nilai tukar US Dolar ke Rupiah
3	Pesimis	Investasi memperhitungkan suku bunga bank 7% per tahun (<i>flat</i>) Ada kenaikan tariff dasar listrik setelah 15 tahun Tidak ada kenaikan kurs nilai tukar US Dolar ke Rupiah

4.5.1. Perhitungan Nilai Penyusutan Investasi

Nilai penyusutan yang terkait dengan umur ekonomis dalam sistem PLTS dibagi menjadi dua kategori, yaitu: 25 tahun untuk panel surya, dan 5 tahun untuk komponen peralatannya (batere, inverter, dll). Oleh karenanya harus dilakukan pergantian komponen setiap 5 tahun untuk menjaga kelangsungan pasokan daya listrik yang sumber dananya di bebaskan ke masyarakat dan dimasukkan menjadi biaya operasional.

Adapun besar biaya yang harus ditanggung secara terperinci akan dijabarkan pada perhitungan berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Investasi Awal untuk 25 MW PLTS} &= 25 \text{ MW} \times \text{US\$ } 1.875.000 \times \text{Rp } 13.500,- \\ &= \text{Rp } \mathbf{632.812.500.000,-} \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Investasi Komponen} &= 25\% \times \text{Rp } 632.812.500.000,- \\ &= \text{Rp } 158.203.125.000,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyusutan Umur Ekonomis (per 5 tahun)} &= \text{Rp } 158.203.125.000,- / 5 \\ &= \text{Rp } 31.640.625.000,- / \text{tahun} \\ &= \text{Rp } 2.636.718.750,- / \text{bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban biaya operasional per rumah tangga} &= \text{Rp } 2.636.718.750,- / 82.886 \\ &= \text{Rp } 31.812,- / \text{bulan} \\ &\sim \text{Rp } \mathbf{32.000,-} / \text{bulan} \end{aligned}$$

Dari rincian perhitungan diatas, maka dengan memberlakukan iuran bulanan sebesar Rp 32.000,- per rumah tangga, maka biaya operasional untuk pergantian batere, inverter, dan komponen lainnya akan terpenuhi. Lembaga swadaya masyarakat di masing-masing dusun dan desa berperan aktif untuk mengelola kelancaran prosesnya guna menjaga

4.5.2. Perhitungan Nilai *Payback Period* Investasi PLTS

Dengan mempertimbangkan investasi PLTS senilai Rp 632.812.500.000,- dengan umur ekonomisnya 25 tahun, maka dilakukan perhitungan berapa nilai pendapatan dari penjualan daya listrik yang dihasilkan, dimana besarnya pemasukan tahunan diperoleh dari tagihan listrik selama tahun berjalan.

Rincian untuk menghitung besarnya pemasukan dana dari tagihan rekening listrik dalam periode waktu setahun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Penjualan Daya Listrik (US\$ 15sen)} &= 365 \text{ hari} \times 25.000 \text{ kw} \times \text{Rp } 2.025,- \\ &= \text{Rp } \mathbf{18.478.125.000,-} / \text{tahun} \dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penjualan Daya Listrik (US\$ 20sen)} &= 365 \text{ hari} \times 25.000 \text{ kw} \times \text{Rp } 2.700,- \\ &= \text{Rp } \mathbf{24.657.500.000,-} / \text{tahun} \dots (3) \end{aligned}$$

Untuk menghitung total nilai investasi yang akan dikeluarkan jika mempertimbangkan suku bunga bank sebesar 7% pertahun adalah:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bunga Bank} &= 0.07 \times 25 \text{ tahun} \times \text{Rp } 632.812.500.000,- \\ &= \text{Rp } 1.107.421.875.000,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Investasi} &= \text{Rp } 632.812.500.000,- + \text{Rp } 1.107.421.875.000,- \\ &= \text{Rp } \mathbf{1.740.234.375.000,-} \dots (4) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus 4.12, maka hasil perhitungan *payback period* untuk masing-masing skenario dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut ini:

Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Payback Period Berdasarkan Skenario

No.	SKENARIO	HASIL
1	Optimis	Dengan investasi senilai Rp 632.812.500.000,- dan pemasukan sebesar Rp 24.657.500.000,-/tahun , maka lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal adalah 25,68 tahun.
2	<i>Most Likely</i>	Dengan investasi senilai Rp 632.812.500.000,- dan pemasukan sebesar Rp 18.478.125.000,- /tahun , maka lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal adalah 34,25 tahun.
3	Pesimis	Dengan investasi senilai Rp 1.740.234.375.000,- dan pemasukan sebesar Rp 24.657.500.000,-/tahun , maka lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal adalah 70,63 tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk melakukan pembangunan sistem PLTS, maka sumber dana investasi yang harus diadakan adalah subsidi dari Pemerintah yang tidak memperhitungkan suku bunga bank lagi. Perhitungan tarif dasar listrik PLTS untuk menentukan nilai jual listrik per kWh saat ini hanya mencukupi untuk pengembalian modal awal saja, tanpa memperoleh keuntungan. Akan tetapi bila dibandingkan dengan tarif dasar listrik normal saat ini yang diberlakukan oleh PLN yaitu sebesar Rp 1.460,- per kWh, maka tarif listrik PLTS yang Rp 2.700,- per kWh (US\$ 20sen) tergolong mahal untuk masyarakat.

Mengingat besarnya nilai investasi yang dibutuhkan untuk memberikan pelayanan listrik ke desa-desa yang tersebar di keempat kabupaten di Madura, maka jika hanya mengharapkan swadaya dari pemerintahan daerah, akan dibutuhkan waktu yang sangat lama untuk memenuhinya. Hal ini dikarenakan anggaran tahunan untuk dana operasional yang dicadangkan pemerintah setempat untuk program listrik pedesaan nilainya sangat kecil, dimana untuk Kabupaten Bangkalan 2,5 miliar rupiah; Kabupaten Sampang jumlahnya 4 miliar rupiah; Kabupaten Pamekasan hanya 3 miliar rupiah, dan Kabupaten Sumenep hanya 2 miliar rupiah. Oleh karenanya, dibutuhkan perhatian dari pemerintah pusat untuk memberikan kebijakan yang dapat mendukung pelaksanaan pembangunan infrastruktur listrik di Madura guna meningkatkan rasio elektrifikasi di Indonesia.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN dan SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan proses penelitian yang telah dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang menjadi temuan. Selain itu juga dikemukakan beberapa saran yang kiranya dapat bermanfaat untuk mengembangkan penelitian selanjutnya (*further research*).

5.1. SIMPULAN

Penelitian ini menggunakan metode Sistem Dinamis dengan program aplikasi **Ventana Simulation** (Vensim) digunakan untuk membantu analisa pengolahan data dalam mengembangkan model yang dapat mewakili sistem nyata operasional listrik di Madura yang terdiri dari sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Hubungan antar faktor-faktor yang mempengaruhi sistem operasional listrik tersebut digambarkan secara terperinci dalam sebuah peta pikiran (*mind mapping*) dengan menggunakan analisa **5W (What, Where, Why, Who, When) dan 1H (How)** untuk mencari solusi yang tepat sasaran dari permasalahan yang bersifat teknis dan non teknis yang ditemukan dalam penelitian. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan menjadi pilihan solusi jangka pendek untuk menyelesaikan permasalahan listrik di desa-desa terisolir di Madura. Penggunaan program aplikasi **Tableau Public** untuk membuat visualisasi **Dashboard**, yang mempermudah penyajian hasil pengolahan data secara lebih menarik dan terstruktur, merupakan hal penting yang harus dikembangkan sebagai bagian dari proses strategi pengambilan keputusan manajemen dalam pengembangan sebuah sistem.

Dalam hal kontribusi teoritis di bidang akademis, hasil dari penelitian ini adalah identifikasi faktor-faktor dan variabel yang mempengaruhi kelancaran sistem operasional listrik di Pulau Madura untuk menganalisa keseimbangan *supply-demand* daya listrik yang dapat diandalkan. Langkah awal adalah mengembangkan model neraca energi untuk mengetahui bagaimana kondisi kelistrikan di Madura selama 15 tahun terakhir, untuk dapat mengetahui berapa

besarnya produksi listrik yang mandiri, ketergantungan listrik Madura dari sumber lain seperti swasta dan sistem interkoneksi, berapa besar susut energi yang terjadi dan nilai efisiensi energi listrik yang dicapai. Pengembangan model keandalan sistem transmisi dan sistem distribusi yang diukur dengan parameter SOF, SOD, SAIDI, SAIFI, dan CAIDI memperlihatkan bagaimana kualitas pelayanan PT. PLN (Persero) kepada pelanggannya yang telah berjalan selama ini. Pengembangan model pelanggan dan perhitungan rasio elektrifikasi, yang terdiri dari kelompok pelanggan rumah tangga, bisnis, industri, publik dan sosial, diperhitungkan untuk mengetahui berapa banyak lagi target jumlah rumah tangga yang harus difasilitasi listrik guna mengetahui kebutuhan akan pasokan daya listrik di Madura yang harus dipenuhi kedepannya.

Tingkat rasio elektrifikasi di Madura yang masih rendah dibandingkan dengan daerah lain di Propinsi Jawa Timur disebabkan tidak meratanya aliran listrik yang dibangun di sepanjang wilayah pantai selatan (Suramadu, Bangkalan, Blega, Sampang, Pamekasan, Sumenep) untuk kemudian di distribusikan ke jalur wilayah pantai utara (Ambuten, Waru, Ketapang dan Tanjung Baru). Selain ini masalah topografi jarak antar desa yang berjauhan; letak geografis desa yang juga menyebar di daerah pantai, dataran rendah, dan juga dataran tinggi; serta jumlah rumah tangga yang sedikit dalam satu wilayah desa; menyebabkan perencanaan pembangunan infrastruktur listrik secara perhitungan aspek ekonomis menjadi tidak layak investasi. Sehingga oleh karenanya perlu dilakukan pengkajian terhadap potensi sumber daya alam yang dimiliki Madura untuk membangun sistem pembangkit listrik dengan energy baru dan terbarukan agar dapat mandiri memenuhi kebutuhan daya listrik bagi masyarakatnya.

Usaha penyediaan listrik secara optimal akan terhambat dengan adanya susut energi yang tinggi karena penyaluran energi listrik tidak tepat sasaran. Nilai susut energi yang tinggi di Madura yaitu rata-rata sebesar 161.721 MWh setiap tahunnya, selain dikarenakan masalah teknis seperti infrastruktur kelistrikan dan perawatan (*maintenance*), juga disebabkan oleh masalah non teknis lainnya, yaitu tingginya pencurian listrik ilegal oleh masyarakat Madura yang memerlukan sosialisasi dari pemuka agama bekerjasama dengan PT. PLN (Persero). Efisiensi

energi yang selama ini berkisar antara 65% - 80% pertahun juga akan meningkat sejalan dengan menurunnya nilai susut energi listrik yang terjadi di Madura.

Surplus daya listrik sebesar 2.600 MW pada tahun 2015 yang dimiliki oleh PT. PLN Jawa Timur masih sangat memungkinkan untuk menambah pasokan daya listrik ke Madura guna memenuhi masalah defisit listrik yang terjadi. Akan tetapi permasalahan utama yang menghambat kelancaran pembangunan infrastruktur listrik di Madura adalah dikarenakan infrastruktur jalan raya menuju daerah-daerah yang belum berlistrik tidak memadai dan memerlukan waktu lama untuk membenahinya.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu sumber energi terbarukan menjadi alternatif solusi jangka pendek untuk memberikan penerangan dan memenuhi kebutuhan masyarakat desa yang jauh dan terisolir dari sumber listrik utama. Walaupun PLN Distribusi Jawa Timur masih memungkinkan penambahan pasokan ke Madura melalui sistem interkoneksi Jamali, tetapi hal ini tidak langsung menyelesaikan permasalahan kompleks yang ditemukan di Madura. Adapun desa yang belum berlistrik kebanyakan berada di jalur utara pantai Madura, dimana infrastruktur jalan raya nya juga masih belum memadai, sehingga tidak mendukung untuk membangun infrastruktur listrik dalam waktu dekat. Selain itu jarak antar desa yang berjauhan, geografis desa yang berada di dataran rendah dan dataran tinggi membutuhkan sistem kelistrikan khusus yang lebih fleksibel dengan kebutuhan masyarakat desa tersebut.

5.2. SARAN

Membangun sebuah sumber pembangkit listrik baru harus berdasarkan perencanaan yang baik karena investasi di industri kelistrikan dituntut manfaatnya untuk jangka panjang. Hal ini seharusnya menjadi pertimbangan utama PT. PLN (Persero) dalam melaksanakan sebuah proyek ketenagalistrikan. Besarnya nilai investasi yang dibutuhkan akan menjadi salah satu kendala dalam menentukan skala prioritas pembangunan infrastruktur kelistrikan di suatu daerah. Sehingga untuk wilayah Madura yang merupakan kelompok pelanggan dengan tunggakan tertinggi di Indonesia sebesar 17,7 milyar rupiah (Bangkalan 8,7 Milyar; Sampang

4,7 Milyar; Pamekasan 2,46 Milyar; dan Sumenep 647 juta) pada tahun 2015, sangat penting dilakukan program rutin berbentuk sosialisasi langsung ke masyarakatnya untuk meningkatkan kesadaran mereka dalam memenuhi kewajiban. Bagaimanapun aliran dana operasional yang lancar dapat dimanfaatkan untuk mendukung proyek investasi baru yang menjangkau daerah-daerah di Madura yang saat ini masih belum dapat menikmati fasilitas listrik.

Pada dasarnya permasalahan teknis yang menjadi kendala dalam sistem operasional listrik yang dihadapi di Madura juga akan ditemukan di wilayah Indonesia lainnya, sebagai negara yang luas dan kaya akan wilayah kepulauan juga pulau-pulau kecil yang jauh dari sumber daya listrik utama. Sehingga kedepannya diperlukan pengkajian serius dan spesifik tentang potensi sumber daya alam untuk energi baru dan terbarukan yang dimiliki oleh masing-masing daerah terpencil, terluar, dan terdepan, guna menciptakan konsep kelistrikan yang mandiri.

Pembangunan infrastruktur kelistrikan sebagai bagian dari rangkaian pembangunan nasional tidak akan terlepas dari permasalahan sumber daya manusia sebagai pelaksana dan pemakai fasilitas. Diperlukan kerjasama yang terstruktur antar dinas dan badan usaha yang ada di pemerintahan dan lembaga masyarakat untuk menciptakan sebuah kondisi yang kondusif secara teknis dan non teknis guna mendukung kelancaran pengembangan program pembangunan nasional.

DAFTAR PUSTAKA

Books:

- [1] Adipraja, P. F, “*Manajemen Aset Jaringan Distribusi Energi Listrik untuk Meningkatkan Keandalan Jaringan (Studi Kasus PLN Pamekasan)*”, Program Magister Sistem Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. (2015)
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya mineral, “*Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2016 s.d 2025*”. (2015)
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya mineral, “*Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2015 -2034*”. (2015)
- [4] PLN Distribusi Jawa Timur, PT., “*Keandalan menuju World Class Service 2015*”. (2013)
- [5] PLN, PT., “*Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUTPL) 2015 - 2024*”. (2014)
- [6] PLN, PT., “*Statistik PLN*”. (2011 – 2014)
- [7] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi Jawa Timur, “*Buku Data Dinamis Provinsi Jawa Timur*”. (2015)

Journals and Papers:

- [8] Adams, F. G., et all, “*Modeling and forecasting energy consumption in China: Implications for Chinese energy demand and imports in 2020*”, Journal of ScienceDirect. (2008)
- [9] Alriza, D.F, et all, “*Standalone Photovoltaic System Sizing using Peak Sun Hour Method and Evaluation by TRNSYS Simulation*”. International Journal of Renewable Energy Research. (2014)
- [10] Ariani, W.D., et all., “*Analisis Kapasitas dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara*”, Transient, Vol. 3 No 2. (2014)
- [11] Asy’ari, H., et all., “*Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya*”, Simposium Nasional RAPI FT UMS. (2012)
- [12] Atilgan, B., et all, “*An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey*”. Journal of Energy Policy, Elsevier. (2016)
- [13] Axella, O., et all, “*Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus: Jawa Timur)*”. Jurnal Teknik ITS Vol. 1. (2012)
- [14] Azlina, A.A., et all, “*Energy, Economic Growth and Pollutant Emissions Nexus : The case of Malaysia*”. Elsevier. (2012)

- [15] Cecati, C., et al, “*An Overview on The Smart Grid Concept*”. Journal of IEEE. (2010)
- [16] Chontanawat. J., et all, “*Does energy consumption cause economic growth? Evidence from a systematic study of over 100 countries*”. Journal of Policy Modelling. (2008)
- [17] Handayani, N.A, et all, “*Potency of Solar Energy Applications in Indonesia*”, International Journal of Renewable Energy Development (IJRED). (2012)
- [18] Jauhari, A, “*Model Simulasi Sistem Dinamik untuk Mengurangi Susut Teknis dan Non Teknis pada Distribusi Energi Listrik (Studi kasus : PLN Rayon Pamekasan)*”, Program Magister Sistem Informasi ITS. (2013)
- [19] Kumara, N.Y., “*Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia*”, Teknologi Elektro Vol. 9 No 1. (2010)
- [20] Marsden, J., “*Distributed Generation Systems: A New Paradigm for Sustainable Energy*”, Journal of IEEE. (2011)
- [21] Nasruddin, et all, “*Potensial of Geothermal Energy for Electricity Generation in Indonesia : A review*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier. (2016)
- [22] Praditama, F. P., et all., “*Analisis Keandalan dan Nilai Ekonomis di Penyulang Pujon PT. PLN (Persero) area Malang*”. (2012)
- [23] Saidi, K., et all, “*The Impact of CO2 emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries*”, Journal of Energy, Elsevier. (2015)
- [24] Saodah, S., “*Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI*”, Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, Yogyakarta. (2008)
- [25] Schmidt, T.S., et all, “*Attracting Private Investments into Rural Electrification – A case study on renewable energy based village grids in Indonesia*”, Journal of Energy for Sustainable Development, Elsevier. (2013)
- [26] Seifert, S., et all, “*Technical efficiency and CO2 reduction potentials – An analysis of the German electricity and heat generating sector*”, Journal of Energy Economics. (2016)
- [27] Singgih, M. L., et all., “*Analisa Efisiensi Distribusi Listrik Menggunakan Analisa Risiko Operasional (Studi Kasus PT. PLN APJ Pasuruan)*”, Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi. (2008)
- [28] Soleh, M, “*Desain Sistem SCADA untuk Peningkatan Pelayanan Pelanggan dan Efisiensi Operasional Sistem Tenaga Listrik di APJ Cirebon*”, IncomTech, Jurnal Telekomunikasi dan Komputer. (2014)
- [29] Sudirham, S, “*Perkiraan Kebutuhan Tenaga Listrik Berbasis pada Jumlah Rumah Tangga dan Jumlah Angkatan Kerja*”, www.ee-cafe.org. (2014)

- [30] Syaifuddin., et all., “*Solar Energy for Sustainable Rural Electrification in Indonesia*”, China Asean Forum on Technology of New and Renewable Energy. (2012)
- [31] Wesseh, P. K., “*Can African countries efficiently build their economies on renewable energy*”, Journal of Elsevier. (2016)
- [32] Widyastuti, L. N., “*Analisis Gangguan Sistem Transmisi Listrik Menggunakan Metode Root Cause Analysis*”. (2012)
- [33] Wirapraja, A. Y., et all., “*Studi Analisis keandalan Sistem Distribusi tenaga Listrik Surabaya Menggunakan Metode Latin Hypercube Sampling*”, JURNAL TEKNIK POMITS. (2012)
- [34] Yuliananda, S., et all., “*Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya*”, Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya. (2015)

Website:

- [35] <https://bangkalankab.bps.go.id/>
- [36] <https://pamekasankab.bps.go.id/>
- [37] www.pln.co.id/disjatim/
- [38] <https://sampangkab.bps.go.id/>
- [39] <https://sumenepkab.bps.go.id/>
- [40] <http://www.rekasurya.com/product-category/sistem-plts/>

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN I

RANGKUMAN RUMUS PERHITUNGAN

KETERANGAN	FORMULASI
Energi Siap Dijual	Total Energi = Produksi sendiri + Produksi Sewa + PJB + P3B
Susut Energi	$\text{susut energi} = \frac{\sum \text{kWh hilang di transmisi} + \sum \text{kWh hilang di distribusi}}{\sum \text{kWh produksi netto}} \times 100\%$
Efisiensi Energi	$\text{efisiensi energi} = \frac{\text{energi terjual}}{\text{energi siap dijual}} \times 100\%$
SAIFI (kali/plggn)	$\text{SAIFI} = \frac{\sum (\text{pelanggan yang mengalami pemadaman})}{\text{Jumlah pelanggan}}$
SAIDI (menit/plggn)	$\text{SAIDI} = \frac{\sum (\text{lama pelanggan padam} \times \text{jumlah pelanggan yang padam})}{\text{Jumlah pelanggan}}$
CAIDI (menit)	$\text{CAIDI} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}}$
SOD (Jam/100kms)	$\text{SOD} = \frac{\text{Lama gangguan yang mennyebabkan pemadaman}}{100 \text{ kms transmisi}}$
SOF (kali/100kms)	$\text{SOF} = \frac{\text{Jumlah gangguan yang mennyebabkan pemadaman}}{100 \text{ kms transmisi}}$
Rasio Elektrifikasi	$\text{RE} = \frac{\text{jumlah pelanggan berlistrik}}{\text{jumlah rumah tangga}} \times 100\%$
Rasio Pemenuhan Daya	$\text{Rasio Pemenuhan} = \frac{\text{Jumlah supply daya listrik}}{\text{Jumlah demand daya listrik}} \times 100\%$
Mean Comparison (E ₁)	$E_1 = \frac{ \text{Nilai rata - rata simulasi } (\bar{S}) - \text{Nilai rata - rata data } (\bar{A}) }{\text{Nilai rata - rata data } (\bar{A})}$
Error Variance (E ₂)	$E_2 = \frac{ \text{Standar deviasi simulasi } (\bar{Ss}) - \text{Standar deviasi data } (\bar{Sa}) }{\text{Standar deviasi data } (\bar{Sa})}$
Payback Period (PP)	$\text{Payback Period (PP)} = \frac{\text{Investasi Kas Bersih}}{\text{Aliran Kas Masuk Bersih}} \times 1 \text{ tahun}$

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN II

KOEFISIEN, ASUMSI, dan SATUAN LISTRIK

Beberapa koefisien dan asumsi yang digunakan dalam pengembangan model antara lain:

A. Model Pelanggan Listrik dan Rasio Elektrifikasi (Gambar 4.18)

Referensi: Sudirham (2013) dan Chontanawat (2006), bahwa peningkatan konsumsi energy listrik di pengaruhi oleh:

1. Koefisien Pertumbuhan Penduduk

Tahun	2011	2012	2013	2014	2015	Rata-Rata
Penduduk	1.03	1.00	0.94	0.97	0.91	0.97

2. Koefisien Pertumbuhan Usia Produktif

Tahun	Bangkalan	Sampang	Pamekasan	Sumenep	TOTAL	Rate
2011	468,379	491,219	469,711	507,605	1,936,914	
2012	444,868	470,171	453,061	649,017	2,017,117	0.041
2013	474,876	469,711	480,280	629,431	2,054,298	0.057
2014	473,411	507,605	469,081	622,460	2,072,557	0.009
Rata-rata Pertumbuhan						0.036

3. Koefisien Pertumbuhan Rumah Tangga

Tahun	Bangkalan	Sampang	Pamekasan	Sumenep	TOTAL	Rate
2011	217,056	220,357	209,670	319,250	966,333	
2012	219,231	223,151	212,155	320,994	975,531	0.009
2013	221,470	225,592	214,676	322,451	984,189	0.009
2014	223,435	228,657	216,964	324,272	993,328	0.009
2015	225,559	231,364	219,028	324,207	1,000,158	0.007
Total	1,106,751	1,129,121	1,072,493	1,611,174	4,919,539	
Average	221,350	225,824	214,499	322,235	983,908	0.0086

4. Koefisien Pertumbuhan Ekonomi

Tahun	2011	2012	2013	2014	2015	Rata-Rata
Ekonomi	7.22	7.27	6.9	5.86	5.44	6.54

B. Skenario Model Kebutuhan Daya Listrik PLTS (Gambar 4.40)

Referensi: Salman (2006), Ariani (2014), Asy'ari (2012), Hasan (2012),

1. Losses factor untuk PLTS sebagai dampak dari proses mengubah daya listrik dari AC menjadi DC.

C. Skenario Model Aspek Ekonomi Investasi PLTS (Gambar 4.57)

Referensi: Ariani (2014), PERMEN ESDM No. 19 Tahun 2016,

<http://finance.detik.com/energi/d-3260986/menteri-esdm-terbitkan-aturan-baru-soal-tarif-listrik-tenaga-surya>,

1. Suku Bunga Bank untuk Investasi PLTS sebesar 7%
2. Harga Penjualan Listrik untuk PLTS sebesar US \$ 15-20 sen /kWh

D. Satuan Listrik

No.	Keterangan	SATUAN
1	Energi Listrik	Mega Watt Hour (MWh) 1 MWh = 10^3 kWh = 106 watt hour
2	Daya Listrik	Volt Ampere (VA) 1 VA = 10^{-3} kVA 1 Watt = VA x 0,8
3	Daya Listrik Aktif	Mega Watt (MW) 1 MW = 10^3 kW = 10^6 Watt

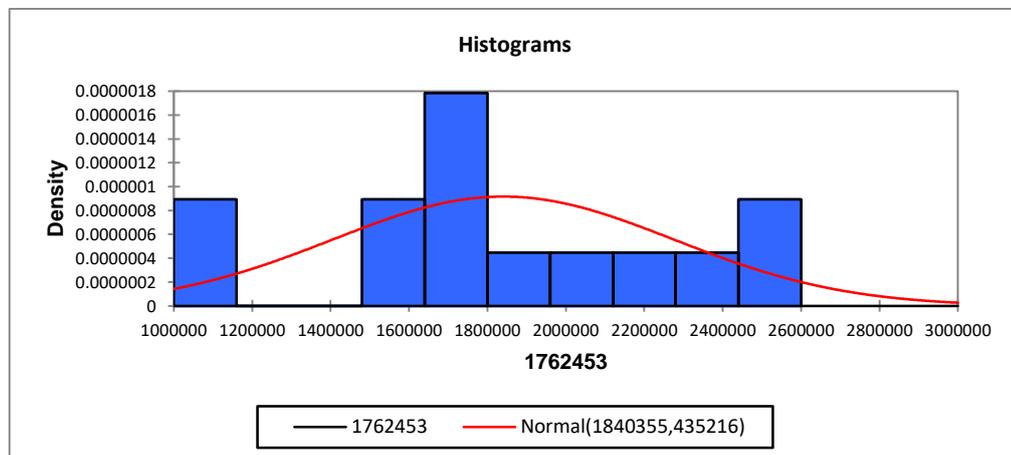
LAMPIRAN III

PEMBANGKITAN BILANGAN RANDOM MODEL KEANDALAN PASOKAN DAYA LISTRIK

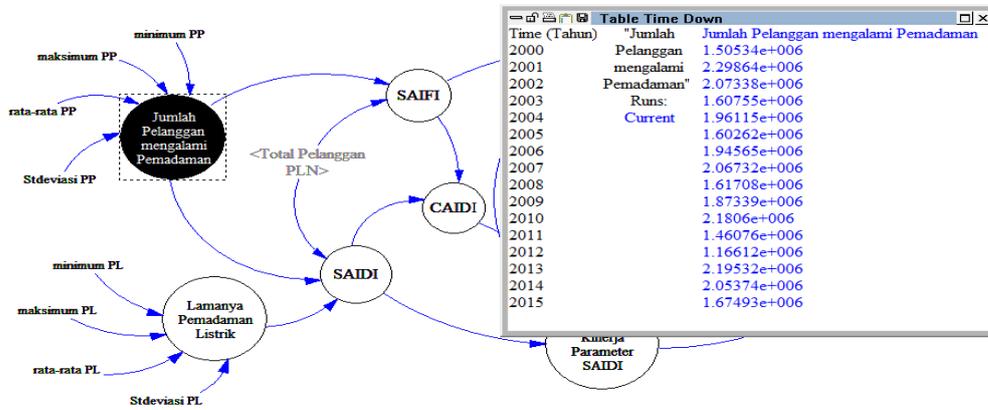
Berdasarkan model keandalan sistem distribusi Gambar 4.14, tipe data untuk variabel jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman adalah bilangan bulat, dan bilangan real untuk variabel lamanya pemadaman terjadi. Distribusi Normal merupakan distribusi kontinu yang paling penting dalam segala bidang statistika dan banyak mewakili kejadian sehari-hari kehidupan, yang memiliki karakteristik dari fungsi kepadatannya yang berbentuk kurva simetris menyerupai suatu lonceng (*bell-shape*), dan sering disebut juga Distribusi Gaussian.

1. Varabel Jumlah Pelanggan yang Mengalami Pemadaman

Fluktuasi data jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman dari tahun 2000-2006 dapat dilihat pada gambar berikut ini:

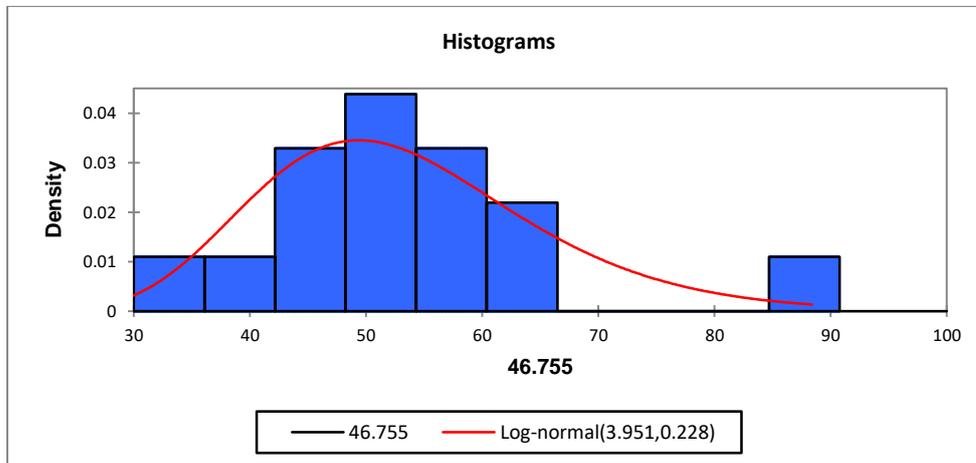
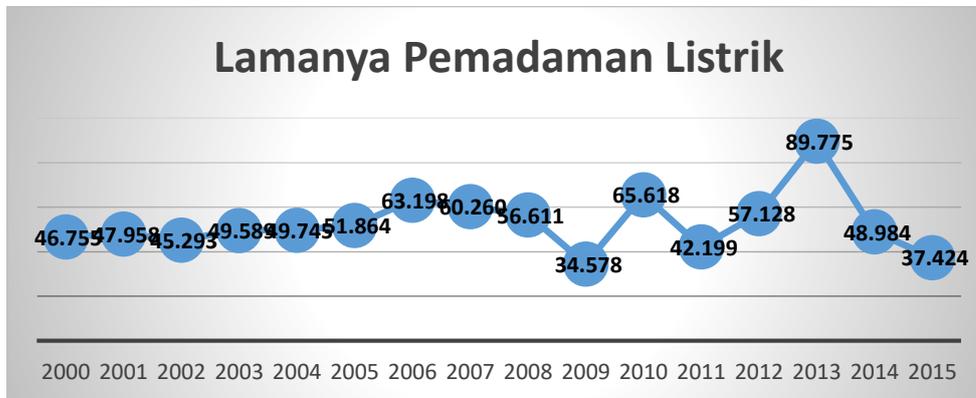


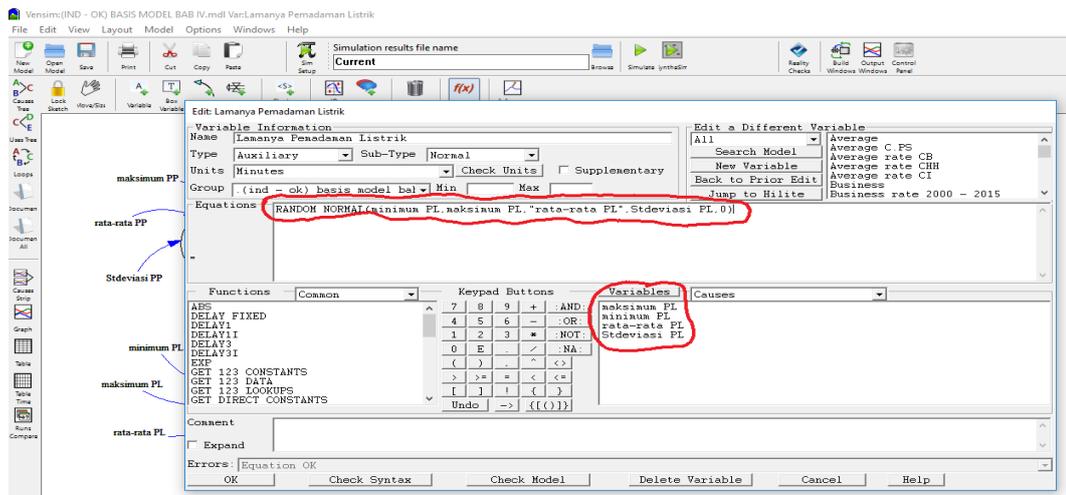
Untuk nilai yang diperoleh dari hasil simulasinya di Vensim dapat dilihat pada gambar berikut ini:



2. Variabel Lamanya Pemadaman

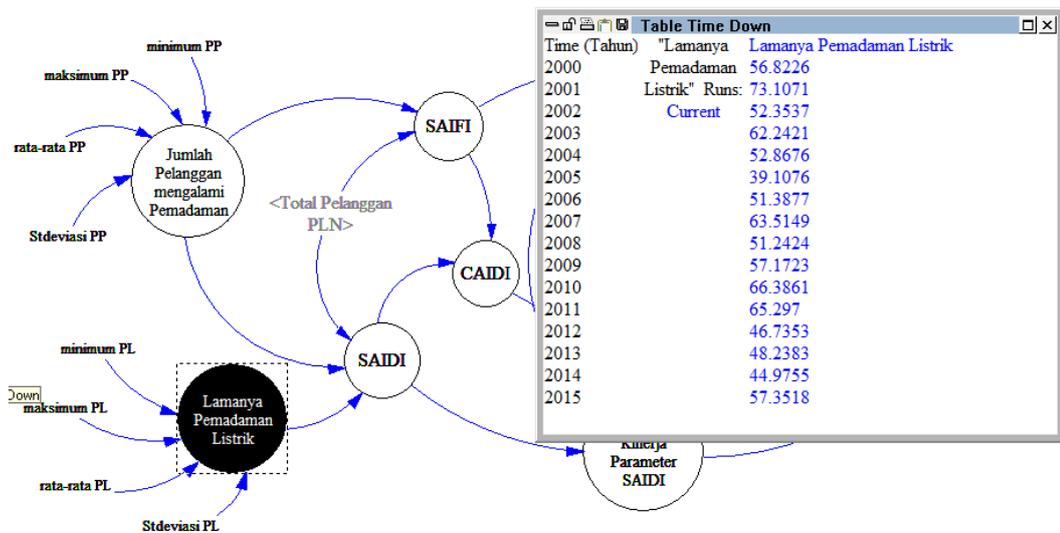
Fluktuasi lamanya pemadaman yang terjadi dalam satu tahun tertentu dari tahun 2000-2006 dapat dilihat pada gambar berikut ini:





Gambar Aplikasi Proses Pembangkitan Bilangan Random untuk Lamanya Pemadaman

Nilai bilangan random yang di dapatkan dari hasil simulasi dengan menggunakan aplikasi vensim dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar Hasil Simulasi Perhitungan Lamanya Pemadaman Listrik

Hasil simulasi perhitungan dari kedua variabel tersebut, yang selanjutnya menjadi penentu dalam menghitung nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI sebagai parameter untuk mengetahui keandalan sistem distribusi listrik.

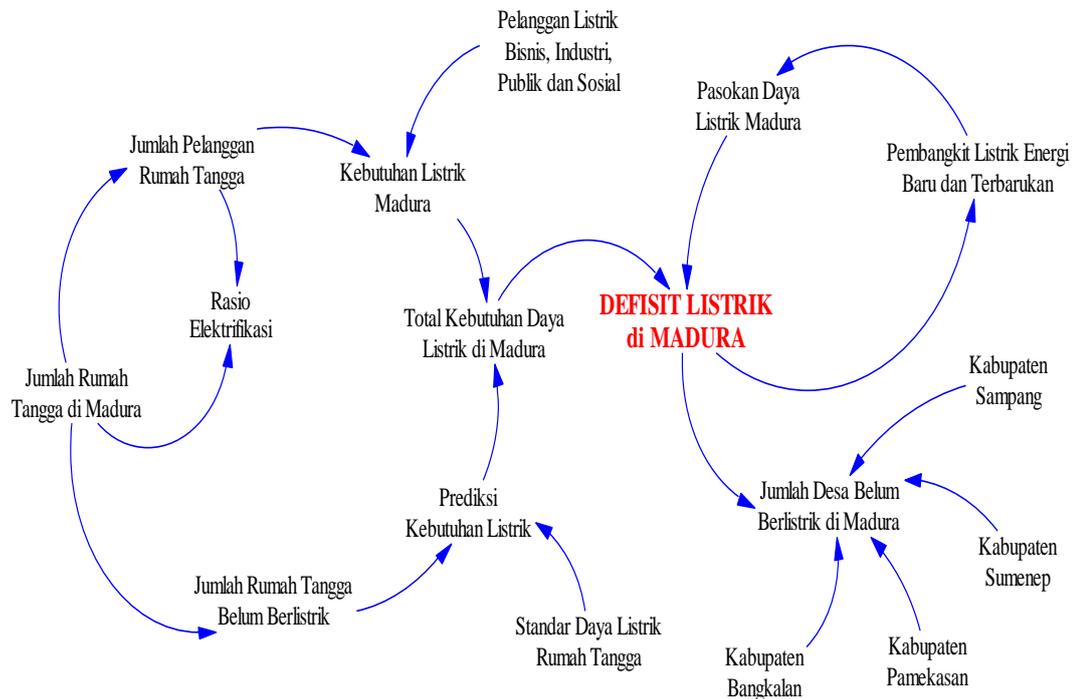
“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN IV

CAUSAL LOOP DIAGRAM PERMASALAHAN DEFISIT LISTRIK di MADURA

Indikator awal untuk mengetahui terjadinya deficit listrik di Madura adalah parameter rasio elektrifikasi yang rendah, yang ditentukan oleh perbandingan antara jumlah pelanggan listrik rumah tangga dengan total rumah tangga di Madura. Selain itu banyak jumlah desa yang belum menikmati fasilitas listrik dan tersebar di keempat kabupaten menandakan bahwa kebutuhan daya listrik di Madura belum terpenuhi.

Gambar berikut ini memperlihatkan faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi terjadinya deficit listrik, dimana *supply* daya listrik yang tersedia lebih kecil dari pada *demand*nya.

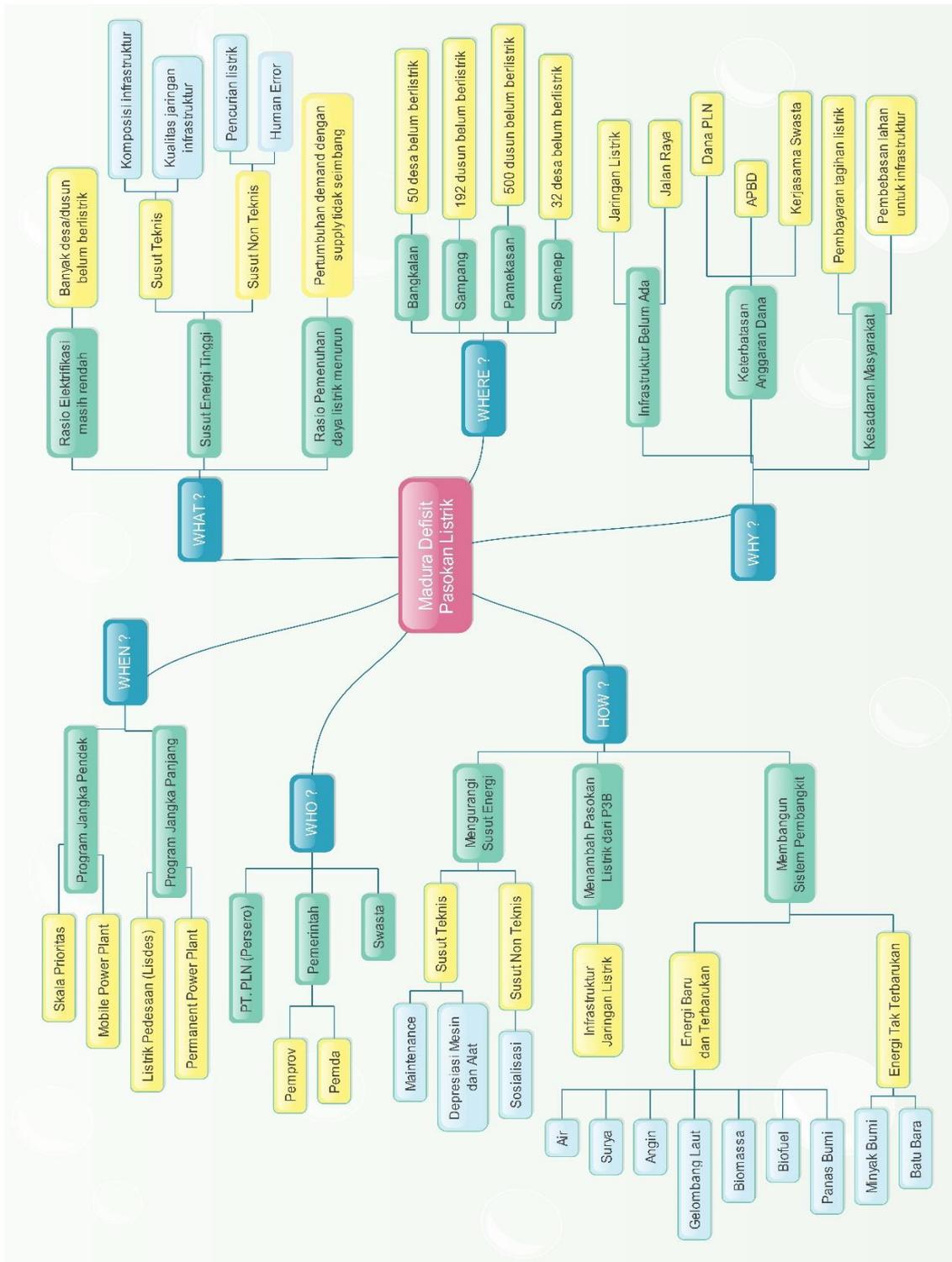


Gambar Causal Loop Diagram (CLD) Faktor Penyebab Defisit Listrik di Madura

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN V

MID MAPPING PERMASALAHAN LISTRIK di MADURA



“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Lilia Trisyathia Quentara, lahir di Kota Medan pada tanggal 29 Juli 1979, adalah putri bungsu dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SD Harapan 2 Medan, SMP Negeri 1 Medan, SMA Negeri 1 Medan, dan jenjang sarjana strata 1-nya di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri Universitas Sumatera Utara Medan. Pernah bekerja sebagai Research and Development di industri packaging Sumatera Hakarindo Group selama 5 tahun di Kota Medan, sebagai auditor di lembaga keuangan syariah selama setahun, kemudian sejak tahun 2010 memutuskan untuk pindah dan berwirausaha ke Kota Jambi menjalankan Toko Buku Lazqar yang berspesialisasi dalam pengadaan buku-buku kesehatan. Tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di Fakultas Teknologi Informasi, Program Studi Sistem Informasi dengan fokus penelitian di Bidang Simulasi dan Sistem Dinamis. Keahlian dan orientasi yang dimiliki oleh penulis berdasarkan pengalaman dan pengetahuan selama ini adalah analisis sistem, pemodelan sistem, manajemen sistem informasi, quality assurance, sistem produksi, dan auditor keuangan.