

Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus : Jawa Timur)

Oxa Axella dan Erma Suryani

Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Teknik Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Gedung FTiF Tc 213, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

E-mail: erma@its.ac.id

Abstrak—Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi nasional pada periode 2010 – 2011 yang meningkat 6,5 persen, sektor industri berperan besar dalam menjaga pertumbuhan ekonomi nasional. Adapun kontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi nasional adalah sebesar 24,3 persen. Peranan tertinggi dalam pertumbuhan ekonomi nasional pada tahun periode 2010 – 2011 (Badan Pusat Statistik) Pertumbuhan ekonomi kondusif menekankan perlunya manajemen energi yang efektif dan efisien untuk pemanfaatan dalam bidang industri. Pertumbuhan ekonomi yang pesat dalam beberapa tahun terakhir di wilayah Jawa Timur dimana setiap tahunnya mampu tumbuh secara konsisten yaitu pada tahun 2009 sebesar 5,01 persen, 2010 sebesar 6,68 persen, dan 2011 sebesar 7,11 persen (Badan Pusat Statistik).

Industri dalam operasionalnya membutuhkan energi listrik sebagai penggerak mesin industri untuk menjalankan produksinya, seiring peningkatan jumlah produksi maka diikuti dengan permintaan energi listrik yang meningkat pula. Meskipun kapasitas energi meningkat setiap tahunnya tetapi belum mampu memenuhi permintaan energi listrik khususnya pada sektor industri. Penelitian ini berfokus pada dampak dari kekurangan energi pada produksi industri dengan cara menganalisis pasokan energi dan pola konsumsi, dan faktor yang mempengaruhi pola dan hubungan tersebut, serta membahas masalah kekurangan energi dalam waktu dekat.

Dari hasil permodelan dan simulasi diperoleh untuk menganalisa permintaan energi listrik sektor industri berdasarkan kondisi saat ini dan memprediksi permintaan listrik industri di masa depan serta bagaimana ketersediaan energi listrik di masa depan.

Kata Kunci—Energi Listrik, Industri, Simulasi, Sistem Dinamik.

I. PENDAHULUAN

Energi Listrik merupakan kebutuhan primer bagi seluruh lapisan masyarakat, Energi Listrik mempunyai banyak manfaat dalam kehidupan sehari – hari baik di sektor rumah tangga, transportasi maupun industri. Pada makalah ini membahas tentang Energi Listrik pada sektor industri, karena industri memiliki peranan penting dalam pertumbuhan ekonomi pemerintah. Permintaan energi listrik tergantung pada kapasitas produksi industri listrik yang dikembangkan sesuai dengan nilai ekonomis dan tarif manfaat yang terkait dengan pemanfaatan kapasitas industri. Pasokan energi tergantung pada permintaan energi dan alokasi sumber daya keuangan untuk memenuhi permintaan listrik. Alternatif

energi produksi tergantung pada listrik terutama pembangkit listrik berbasis batubara dan pembangkit listrik tenaga air. Produksi listrik berbasis batubara adalah pasokan utama dalam ketersediaan energi listrik karena PLTA hanya mampu memproduksi energi listrik dalam skala kecil hal ini dikarenakan PLTA bergantung pada bahan baku produksi, dimana bahan baku produksi PLTA adalah air, di Indonesia sebagian besar sungai yang digunakan sebagai sumber Air dari PLTA merupakan sungai yang volume airnya bergantung pada air hujan.

Pusat Listrik yang terdapat di Jawa Timur adalah Unit Pembangkit PLTA Brantas, PLTU Paiton dan Unit Pembangkit PLTG/PLTGU Gresik. Dari ketiga Pusat Listrik yang telah di sebutkan Pusat Listrik berbasis batubara memiliki waktu konstruksi dan biaya konstruksi yang lumayan rendah dan biaya operasionalnya tergolong murah jika di bandingkan berbahan bakar minyak, dimana pada Pusat Listrik Berbahan bakar minyak mempunyai biaya investasi paling rendah akan tetapi biaya operasionalnya paling mahal, oleh karena itu Pusat Listrik berbahan bakar minyak di operasikan dengan faktor kapasitas sekecil mungkin agar biaya bahan bakar juga menjadi sekecil mungkin. Pusat Listrik tenaga air jelas dan kuat dalam penyesuaian output dengan perubahan pembebanan, tetapi sumber daya air yang terbatas dan memiliki karakteristik biaya investasi paling tinggi karena umumnya perlu membuat DAM/Bendungan, masa konstruksi yang lama, dan biaya operasi rendah. Di samping itu permintaan akan energi listrik yang terus meningkat memaksa untuk membuat keputusan yang tepat dalam menentukan pusat listrik yang sesuai dengan permintaan dan biaya dalam produksi listrik. Ketersediaan energi listrik berperan besar dalam masalah pergerakan roda perekonomian masyarakat. Kelangkaan pasokan energi listrik akan memaksa PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) sering melakukan pemadaman apabila produksi energi listrik tidak mampu memenuhi kebutuhan energi listrik. Sektor usaha yang rentan terkena dampaknya adalah usaha kecil dan menengah (UKM).

Alasan Penggunaan model simulasi sistem dinamik dikarenakan sistem dinamik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode peramalan konvensional (yaitu : Model Sistem Dinamik dapat memberikan perkiraan yang lebih handal dari pada model statistik, model sistem dinamik menyediakan cara untuk memahami penyebab perilaku industri, mendeteksi terhadap perubahan dini dalam struktur

industri dan penentuan faktor-faktor yang meramalkan perilaku secara signifikan dan sensitif [1]. Model sistem dinamik memungkinkan penentuan skenario yang masuk akal sebagai masukan untuk keputusan dan kebijakan dalam perusahaan.

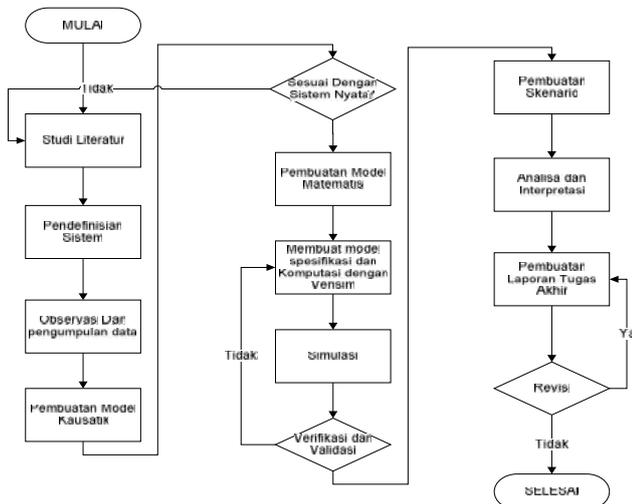
Dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah bertujuan membangun model sistem dinamik, untuk memenuhi permintaan pada sektor industri dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi nasional, berdasarkan cadangan batubara yang tersedia, konstruksi tambang dan kemampuan dalam memasok batubara. Dengan menggunakan model sistem dinamik tersebut nantinya akan dibuat suatu model untuk memprediksi permintaan energi listrik di masa mendatang dan ketersediaan energi listrik untuk masa mendatang pada sektor industri. Batasan masalah membahas tentang permintaan dan kapasitas energi listrik dalam wilayah Jawa Timur untuk memenuhi permintaan listrik sektor industri di Jawa Timur.

II. METODE

A. Metode Pengerjaan aplikasi

Metode diperlukan sebagai kerangka dan panduan proses pengerjaan makalah, sehingga rangkaian pengerjaan makalah dapat dilakukan secara terarah, teratur, dan sistematis. Adapun gambaran yang akan dikerjakan dalam penelitian ini dapat dilihat ada flowchart yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan untuk melakukan penelitian secara baik dan benar.

Guna adanya flowchart yang akan dijelaskan di bawah ini adalah untuk mempermudah pembaca agar lebih memahami alur kegiatan yang dilakukan dalam proses penelitian tersebut.



Gambar 1 Flowchart pengerjaan Makalah

Penelitian diawali dengan studi literatur kemudian pendefinisian sistem, kemudian observasi dan pengumpulan data kemudian pembuatan kausatik diagram apabila telah sesuai dengan sistem nyata maka dilanjutkan dengan membuat model matematis kemudian membuat model spesifikasi dan komputasi dengan vensim lalu melakukan simulasi setelah ini melakukan validasi dan dilanjutkan dengan pembuatan

skenario dan kemudian analisa dan interpretasi untuk mendapatkan kesimpulan kemudian pembuatan laporan tugas akhir agar kesimpulan dari penelitian sesuai pada flowchart pada gambar 1.

B. Pembangkitan Tenaga Listrik

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapat tenaga listrik dengan tegangan bolak-balik tiga fasa. Energi mekanik diperlukan untuk memutar generator sinkron didapat dari mesin penggerak generator atau biasa disebut penggerak mula. Mesin penggerak generator biasanya banyak digunakan dalam praktir, yaitu : mesin diesel, turbin uap, turbin air dan turbin gas. Mesin – mesin penggerak generator ini mendapat energi dari Proses pembakaran bahan bakar (mesin – mesin termal) atau Air terjun (turbin air) [2].

Jadi mesin penggerak generator melakukan konversi energi primer menjadi mekanik ke penggerak generator. Proses konversi energi primer ke energi mekanik menimbulkan “produk” sampingan berupa limbah dan kebisingan yang perlu dikendalikan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan.

Dari segi ekonomi teknik, komponen biaya penyediaan tenaga listrik yang terbesar adalah biaya pembangkitan, khususnya biaya bahan bakar. Oleh sebab itu, berbagai teknik untuk menekan biaya bahan bakar terus berkembang, baik dari segi unik pembangkit secara individu maupun dari segi operasi sistem tenaga listrik secara terpadu.

Pusat listrik adalah tempat dimana proses pembangkitan tenaga listrik dilakukan. Mengingat proses pembangkitan tenaga listrik merupakan proses konversi energi primer (bahan bakar atau potensi tenaga air) menjadi energi mekanik penggerak ke generator, dimana selanjutnya terdaot energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik oleh generator. Jenis – jenis pusat listrik sebagai berikut :

- Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) dimana pusat listrik ini menggunakan tenaga air sebagai sumber energi primer,
- Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) dimana pusat listrik ini menggunakan bahan bakar batubara, minyak atau gas sebagai sumber energi primer,
- Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) dimana pusat listrik ini menggunakan bahan bakar gas atau minyak sebagai sumber energi primer,
- Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) adalah pusat listrik ini merupakan kombinasi PLTG dengan PLTU yang mempunyai Gas buang dari PLTG dimanfaatkan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap penghasil uap untuk penggerak turbin uap. Terdapat beberapa satuan dalam pengukuran di bidang listrik diantaranya :

Daya / Kapasitas : diukur KW atau MW

Energi Listrik : diukur dalam KWh atau MWh

Waktu : diukur dalam Jam

Berat : 1 Ton = 1.000 Kg ; 1 KiloLiter = 1.000 Liter

Volume Gas : 1 MMSCF = 1.000.000 SCF, 1 MMSCF = 42,92 MMBtu, MMSCF : Million Metric Standard Cubic Foot, satuan yang biasa digunakan untuk mengukur volume gas pada tekanan dan suhu tertentu.

1 Giga = 1.000 Mega = 1.000.000 Kilo

Pada Tabel 1 menjelaskan SFC (Specific Fuel Consumption) yaitu banyaknya bahan bakar yang di butuhkan untuk memproduksi 1kwh untuk tiap pembangkit :

Tabel 1 Specific Fuel Consumption

Jenis Pembangkit	Penjualan (kWh)	Vol Bahan Bakar (Liter atau kg atau SCF)	Satuan	SFC (Specific Fuel Consumption)
PLTU Batubara	8.294.400	4.195.991	kg batubara	0,506
PLTG (Minyak)	8245790000	2.162.829.710	Liter HSD	0,262
PLTGU (Gas)	15.325.730.000	139.310.885.700	SCF Gas	9,09

C. Faktor – Faktor dalam Pembangkitan

Terdapat 3 faktor dalam pembangkitan [2]:

Pertama, Faktor Beban adalah perbandingan antara besarnya beban rata – rata untuk selang waktu (misalnya satu bulan atau satu tahun) terhadap beban puncak tertinggi dalam selang waktu yang sama.

$$Faktor\ Beban = \frac{Beban\ rata\ rata}{Beban\ Puncak} \quad (1)$$

Permintaan listrik Sering disebut sebagai demand, merupakan besarankebutuhan tenaga listrik yang dinyatakan dengan KWh, KW atau KVA tergantung kepada konteksnya.Bagi penyedia tenaga listrik, faktor beban sistem diinginkan setinggi mungkin, karena faktor beban yang makin tinggi berarti rata beban sistem sehingga tingkat pemanfaatan alat – alat yang ada dalam sistem dapat diusahakan setinggi mungkin.Dalam praktik, faktor beban tahunan sistem berkisar antara 60-80%.

Kedua, Forced Outage Rate adalah sebuah faktor yang menggambarkan sering tidaknya sebuah unit pembangkit mengalami gangguan. Forced Outage Rate (FOR) didefinisikan sebagai:

$$FOR = \frac{Jumlah\ jam\ gangguan\ unit}{Jumlah\ jam\ Operasi\ Unit + Jumlah\ jam\ Gang} \quad (2)$$

FOR tahunan unit PLTA sekitar 0,01. Sedangkan FOR tahunan untuk unit pembangkit termis sekitar 0,5 sampai 0,10. Makin andal sebuah unit pembangkit (jarang mengalami gangguan), makin kecil nilai FOR-nya. Besarnya nilai FOR atau turunnya keandalan unit pembangkit umumnya disebabkan oleh kurang baiknya pemeliharaan.

Ketiga, Faktor Kapasitas adalah perbandingan antara realisasi produksi terhadap kapasitas maksimum produksi pada suatu periode waktu tertentu.

$$Faktor\ Kapasitas = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Dalam praktik, faktor kapasitas tahunan PLTU hanya mencapai 60-80% karena adanya masa pemeliharaan dan

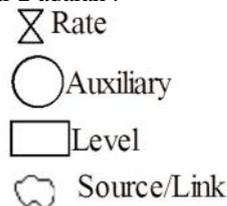
adanya gangguan atau kerusakan yang dialami oleh PLTU tersebut.

D. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Model merupakan representasi dari sistem nyata, suatu model dikatakan baik bila perilaku model tersebut dapat menyerupai sistem sebenarnya dengan syarat tidak melanggar prinsip-prinsip berfikir sistem.Dalam membangun suatu model sangat dipengaruhi oleh subjektivitas seseorang atau organisasi, maka perlu adanya penyempurnaan yang dilakukan secara terus-menerus dengan menggali informasi dan potensi yang relevan [3].

Empat keuntungan penggunaan model dalam penelitian dengan menggunakan pendekatan sistem [4] yaitu: Pertama, Memungkinkan melakukan penelitian yang bersifat lintas sektoral dengan ruang lingkup yang luas, Kedua, Dapat melakukan eksperimentasi terhadap sistem tanpa mengganggu (memberikan perlakuan) tertentu terhadap sistem, Ketiga, Mampu menentukan tujuan aktivitas pengelolaan dan perbaikan terhadap sistem yang diteliti, dan Keempat, Dapat dipakai untuk menduga (meramal) perilaku dan keadaan sistem pada masa yang akan datang.

Pembuatan model sistem dinamik umumnya dilakukan dengan menggunakan software yang memang dirancang khusus.Software tersebut seperti Powersim, Vensim, Stella, dan Dynamo.Dengan software tersebut model dibuat secara grafis dengan simbol-simbol atas variabel dan hubungannya.Yaitu meliputi dua hal yaitu struktur dan perilaku. Struktur merupakan suatu unsur pembentuk fenomena. Pola yang mempengaruhi keterkaitan antar unsur tersebut pada gambar 2 adalah :



Gambar 2 Jenis Variabel

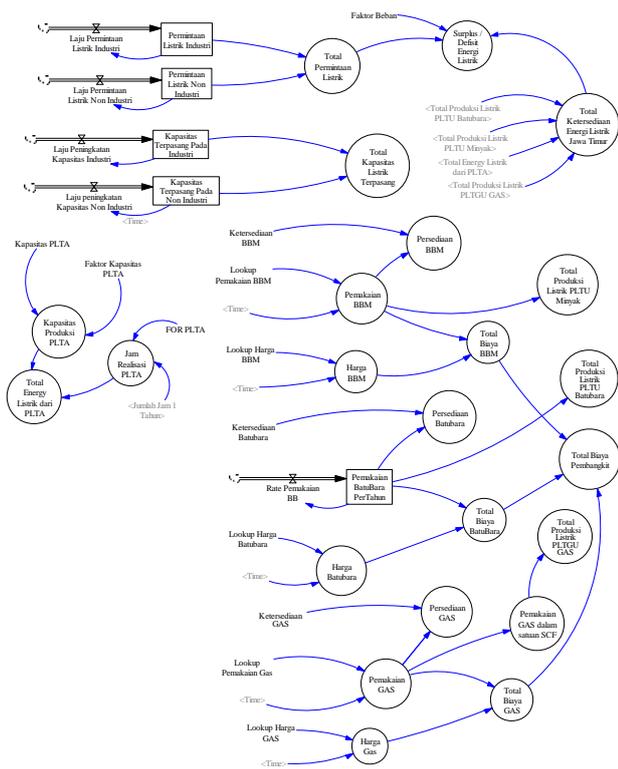
Stock (Level) dan Flow (Rate), dalam merepresentasikan aktivitas dalam suatu lingkaran umpan-balik, digunakan dua jenis variabel yang disebut sebagai stock (level) dan flow (rate). Level menyatakan kondisi sistem pada setiap saat. Level merupakan akumulasi di dalam sistem. Persamaan suatu variabel rate merupakan suatu struktur kebijaksanaan yang menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu keputusan dibuat berdasarkan kepada informasi yang tersedia di dalam sistem.

Rate inilah satu-satunya variabel dalam model yang dapat mempengaruhi level.

Auxiliary adalah beberapa hal yang dapat melengkapi variable stock dan aliran, dalam memodelkan sistem dinamik.

Source / sink adalah rangkaian komponen-komponen diluar batasan model yang dibuat dan terminasi sistem disebut juga dengan sink.

Validasi adalah sebuah proses menentukan apakah model konseptual merfleksikan sistem nyata dengan tepat atau tidak [5]. Validasi adalah penentuan apakah model konseptual



Gambar 4 Flow Diagram Simulasi

Pada stock-Flow Diagram gambar 3, merupakan based-model ketersediaan dan permintaan listrik jawa timur.

C. Validasi

Mean Comparison dikatakan valid jika hasilnya kurang dari 5% dapat dilihat pada tabel 2 dan perhitngan Variasi Amplitudo kurang dari 30% dapat dilihat pada tabel 3 jadi hasil perhitungan di atas dapat dikatakan valid ,sehingga pemodelan yang telah dilakukan telah benar.

Tabel 2 Mean Comparison

Mean Comparison	Valid kurang dari 5%
Kapasitas Listrik	1.43%
Permintaan Listrik	0.40%
Total Energi Listrik PLTG/PLTGU Minyak	3.61%
Total Energi Listrik Batubara	4.31%
Total Energi Listrik PLTG/PLTGU Gas	4.9%

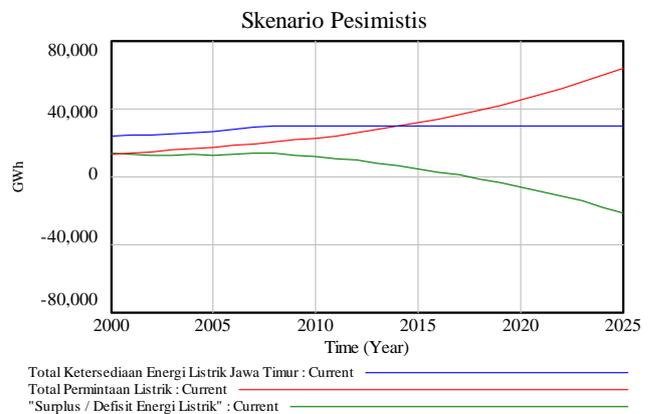
Tabel 3 Variasi Amplitudo

Variasi Amplitudo	Valid kurang dari 30%
Kapasitas Listrik	8.12%
Permintaan Listrik	1.79%
Total Energi Listrik PLTG/PLTGU Minyak	25.68%
Total Energi Listrik Batubara	28.55%
Total Energi Listrik PLTG/PLTGU Gas	29.8%

D. Pengembangan Skenario

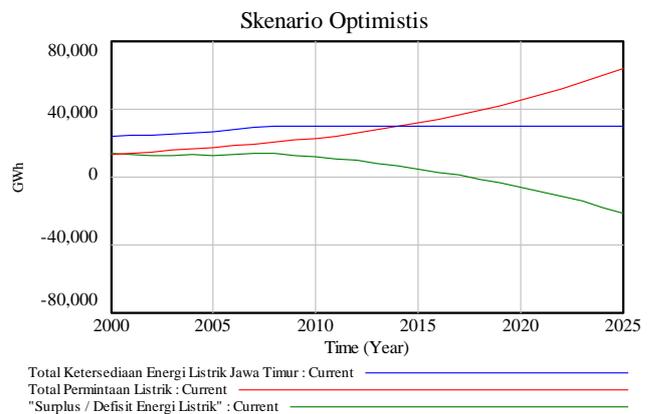
Dalam mengerjakan skenario ini, dibagi menjadi 2 jenis skenario, skenario struktur dan skenario parameter. Skenario struktur ini berguna untuk memenuhi permintaan listrik dengan cara menambah kapasitas listrik yaitu dengan membangun pembangkit listrik baru agar permintaan listrik di masa mendatang dapat terpenuhi sehingga tidak ada kekurangan listrik di masa yang akan datang.

Pada base model, rata – rata permintaan listrik pada sektor industri dari tahun 2000 sampai dengan 2010 adalah sebesar saat ini adalah 4.123% pertahun berdasarkan data hasil survey.. Untuk skenario pesimistis ini rata – rata permintaan listrik sektor industri di prediksikan sebesar 4% pertahun hal ini berdasarkan survey di tempat pengambilan data dan data hasil survey. Variabel yang nilainya pesimis adalah laju permintaan listrik industri. Hasil skenario pesimistis dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Skenario Pesimistis

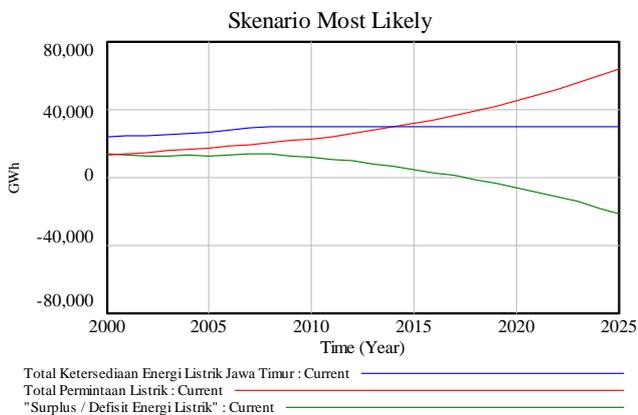
Untuk skenario optimistis ini rata – rata permintaan listrik sektor industri di prediksikan sebesar 10% pertahun hal ini berdasarkan survey di tempat pengambilan data dan data hasil survey yaitu dengan mengambil nilai rata – rata atas pada permintaan listrik. Hasil skenario optimistis dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Skenario Optimistis

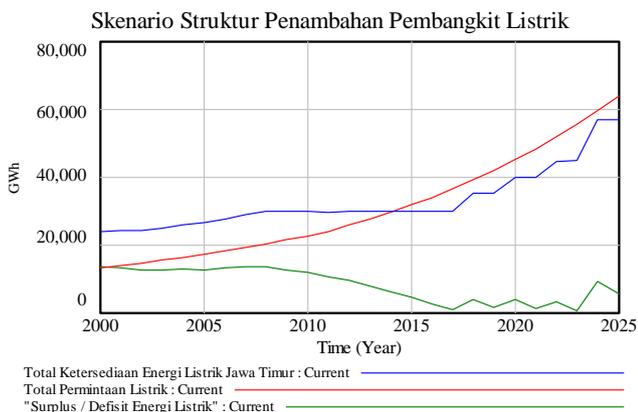
Untuk skenario most likely ini rata – rata permintaan listrik sektor industri di prediksikan sebesar 7.7% pertahun hal ini berdasarkan survey di tempat pengambilan data dan data hasil

survey yaitu dengan mengambil nilai rata – rata atas pada permintaan listrik. Hasil skenario most likely dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Skenario Most Likely

Pada skenario struktur ini terdapat 4 proyek Penambahan Pembangkit Listrik di Jawa Timur yang bertujuan untuk memenuhi Permintaan Energi Listrik di Jawa Timur, proyek tersebut adalah :PLTU 1 di Jatim (Pacitan) 2x315MW, PLTU 2 di Jatim (Paiton Unit 9) 1x660MW, PLTU 3 di Jatim (Tanjung Awar-awar) 2x300MW, PLTGU di Jatim (Tuban/Cepu) 2x750MW. Hasil skenario struktur pada gambar 8.



Gambar 8 Skenario Struktur Penambahan Pembangkit Listrik

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian makalah ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

- a. Kapasitas Listrik Jawa Timur saat ini (PLTA Brantas, PLTG/PLTGU Gresik dan Grati, PLTU Paiton) masih belum mampu untuk memenuhi kebutuhan listrik di masa depan sampai dengan tahun 2025 hal ini terbukti dalam skenario parameter pesimistis, optimistis dan most likely.
- b. Berdasarkan hasil skenario model maka perlu dilakukan pembangkit dalam waktu yang tepat agar tidak mengalami kekurangan pasokan energi untuk memenuhi permintaan listrik di masa mendatang khususnya sampai tahun 2025.

- c. Sesuai dengan skenario struktur penambahan pembangkit listrik maka perlu dilakukan penambahan pembangkit listrik yaitu : PLTU 1 di Jatim (Paiton Unit 9) 1x660MW pada tahun 2018 ,PLTU 2 di Jatim (Pacitan) 2x315MW pada tahun 2020, PLTU 3 di Jatim (Tanjung Awar-awar) 2x300MW pada tahun 2022 dan PLTG/PLTGU di Jawa Timur (Cepu/Tuban) 2x750MW pada tahun 2024.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Oxa Axella mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang memberi fasilitas dan ilmu pengetahuan untuk menyelesaikan penelitian, Bapak Deny Setiawan pembimbing di PT.PJB yang sudah membantu memberikan data serta membimbing secara internal untuk menunjang keberhasilan penelitian ini, dan tidak lupa kepada Ibu Erma Suryani S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selama ini memberikan pencerahan dan motivasi kepada penulis, serta Bu Wiwik Anggraeni, S.Si., M.Kom. yang berkenan menjadi dosen wali penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Sistem Informasi ITS. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, serta doanya. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat hidayah

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lyneis, James M. System dynamics for market forecasting and structural analysis, (2000).
- [2] Marsudi, Djiteng. Pembangkitan Energi Listrik. Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga (2011).
- [3] Winardi. Pengantar Tentang Teori Sistem dan Analisis Sistem. Mandar Maju, Bandung, (1989).
- [4] Barlas, Yames. Multiple Test for Valdiation of Systems Dynamics Type of Simulation Model. Turkey, (1996).
- [5] Forrester, J. W. Principle of System, Massachusetts: Wright-Allen Press, Inc., (1968).