



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - KS141501

IMPLEMENTASI SISTEM DINAMIK UNTUK KONVERSI ENERGI BIOMASSA MENJADI ENERGI LISTRIK, STUDI KASUS KOTA SURABAYA

DYNAMIC SYSTEM IMPLEMENTATION FOR CONVERSION OF BIOMASSA ENERGY TO ELECTRICITY ENERGY, CASE STUDY OF SURABAYA

TIKA RAMDANIYYAH
NRP 052112 4000 7004

Dosen Pembimbing
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi Dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

TUGAS AKHIR - KS141501

***IMPLEMENTASI SISTEM DINAMIK UNTUK
KONVERSI ENERGI BIOMASSA MENJADI ENERGI
LISTRIK, STUDI KASUS KOTA SURABAYA***

**TIKA RAMDANIYAH
NRP 052112 4000 7004**

**Dosen Pembimbing
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPANTEMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

UNDERGRADUATE THESES - KS141501

***DYNAMIC SYSTEM IMPLEMENTATION FOR
CONVERSION OF BIOMASSA ENERGY TO
ELECTRICITY ENERGY, CASE STUDY OF
SURABAYA***

TIKA RAMDANIYYAH
NRP 052112 4000 7004

Supervisor
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

INFORMATION SYSTEMS DEPARTMENT
Faculty of Information Technology and Communication
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN
IMPLEMENTASI SISTEM DINAMIK UNTUK
KONVERSI ENERGI BIOMASSA MENJADI ENERGI
LISTRIK, STUDI KASUS KOTA SURABAYA

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TIKA RAMDANIYYAH

NRP. 052112 4000 7004

Surabaya, 20 Juli 2018

KEPALA
DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI



Dr. Ir. Aris Tjahyanto, M.Kom
NIP. 19650310 1991 02 1 001

LEMBAR PERSETUJUAN

IMPLEMENTASI SISTEM DINAMIK UNTUK KONVERSI ENERGI BIOMASSA MENJADI ENERGI LISTRIK, STUDI KASUS KOTA SURABAYA

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TIKA RAMDANIYYAH

NRP. 052112 4000 7004

Disetujui Tim Penguji : Tanggal Ujian : 02 Juli 2018
Periode Wisuda: September 2018

Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.


(Pembimbing I)

Mahendrawathi ER, S.T., M.Sc., Ph.D


(Penguji I)

Arif Wibisono, S.Kom., M.Sc.


(Penguji II)

IMPLEMENTASI SISTEM DINAMIK UNTUK KONVERSI ENERGI BIOMASSA MENJADI ENERGI LISTRIK, STUDI KASUS KOTA SURABAYA

Nama Mahasiswa : **TIKA RAMDANIYYAH**
NRP : **052112 4000 7004**
Jurusan : **Sistem Informasi FTIK-ITS**
Dosen Pembimbing 1 : **Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D**

ABSTRAK

Rasio elektrifikasi di wilayah kota Surabaya menurut data PLN Distribusi Jawa Timur sebesar 88,34%. Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang terjadi maka kebutuhan listrik kota Surabaya akan bertambah. Batu bara, minyak dan gas menjadi sumber energi utama listrik yang merupakan bahan bakar fosil yang akan habis. Untuk itu, harus mencari alternatif teknologi lain sebagai sumber energi listrik. Biomassa merupakan energi terbarukan yang menjadi salah satu alternatif dalam memenuhi ketersediaan listrik. Bahan baku biomassa dapat digunakan secara berulang dan lebih ramah lingkungan. Sumber energi biomassa dalam penelitian kali ini adalah sampah kota di wilayah Surabaya. Saat ini, Kota Surabaya sudah mempunyai pembangkit listrik tenaga sampah berkapasitas 1,65 MW dan mampu mengaliri sampai seribu rumah. Penelitian ini akan menggunakan metode pemodelan dengan tehnik simulasi sebagai sarana berbasis untuk memahami sistem konversi energi listrik menjadi energi listrik, dan mengambil studi kasus hanya berfokus di wilayah kota Surabaya. Pemodelan dibuat dengan tiga tahapan utama. Tahap pertama adalah analisis model sistem. Tahap kedua adalah pembuatan diagram kausatik, dan tahap ketiga adalah mensimulasikan kondisi eksisting dan rancangan skenarionya dengan rentang waktu sampai 15 tahun. Skenario dilakukan

untuk meningkatkan rasio pemenuhan energi listrik yang menghasilkan nilai sebesar 0,7%.

Kata kunci : Sampah, Rasio Pemenuhan, Energi Listrik, Sistem Dinamik, EBT

IMPLEMENTATION OF DYNAMIC SYSTEM FOR BIOMASSA ENERGY CONVERSION TO ELECTRICITY ENERGY, CASE STUDY OF SURABAYA

Name : TIKA RAMDANIYYAH
NRP : 052112 4000 7004
Department : Information Systems FTIK -ITS
Supervisor 1 : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

Electrification ratio in Surabaya city area according to data of PLN East Java Distribution is 88,34%. Along with the population growth that occurs then the need for electricity in Surabaya will increase. Coal, oil and gas are the main energy sources of electricity that are fossil fuels that will run out. For that, we should look for alternative technology as another source of electrical energy. Biomass is a renewable energy that became one of the alternatives in meeting the availability of electricity. The raw materials of biomass can be used repeatedly and are more environmentally friendly. Biomass energy source in this research is city waste in Surabaya area. Currently, the city of Surabaya already has a waste power plant with a capacity of 1.65 MW and able to flow up to a thousand homes. This research will use modeling method with simulation technique as a means to understand the system of electrical energy conversion to electric energy, and take case study focusing only in Surabaya city area. Modeling is made with three main stages. The first stage is the analysis of the system model. The second stage is the making of the causatic diagram, and the third step is to simulate the existing condition and scenario design with time span of up to 15 years. Scenarios were performed to increase the ratio of the fulfillment of electrical energy which yielded a value of 0.7%.

***Keyword : Waste, Fulfillment Ratio, Electricity
Energy, Dynamic System, EBT***

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah atas segala petunjuk, kemudahan, pertolongan, kasih sayang serta kekuatan yang diberikan oleh ALLAH SWT. Karena hanya karena Ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir, dengan judul :

***“Implementasi Sistem Dinamik Untuk Konversi Energi
Biomassa Menjadi Energi Listrik, Studi Kasus Kota
Surabaya”***

Tugas akhir ini dibuat sebagai syarat untuk menyelesaikan gelar sarjana di Departemen Sistem Informasi Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas akhir ini tidak akan pernah terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya bagi penulis. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan berkah dan rahmat-Nya selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Ir., Aris Tjahyanto, M.Kom, selaku Ketua Jurusan Sistem Informasi ITS, yang telah menyediakan fasilitas terbaik untuk kebutuhan penelitian mahasiswa.
3. Dosen Pembimbing, Ibu Erma Suryani, S.Kom., M.Kom.,PhD, penulis ucapkan terima kasih atas segala bimbingan, ilmu serta motivasi yang sangat bermanfaat untuk penulis.
4. Bapak Tony Dwi Susanto, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen wali penulis yang telah memberikan pengarahan selama penulis menempuh masa perkuliahan dan penelitian tugas akhir.
5. Orangtua penulis yakni Bapak Uswiatna dan Ibu Nani yang telah mendoakan dan senantiasa mendukung baik moril maupun materil dan mengarahkan penulis

6. Seluruh teman – teman, Keluarga SOLA12IS (SI 2012) yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dan telah memberikan banyak cerita selama penulis melakukan studi.
7. Teman-teman Lab SE, yang tidak dapat disebutkan namanya semua, terima kasih telah memberi memberikan motivasi, waktu untuk berdiskusi dan saling memberikan pengetahuan, serta semangat dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. PT PLN Distribusi Jawa Timur yang telah menyediakan data data yang diperlukan untuk tugas akhir ini
9. Serta pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu dalam kelancaran penyelesaian tugas akhir. Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi salah satu dasar acuan bagi penelitian- penelitian yang serupa dan bermanfaat bagi Pemerintah Kota Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih belum sempurna. Dan dengan segala kekurangan di dalamnya, penulis memohon maaf atas segala kekeliruan yang ada di dalam tugas akhir ini. Penulis membuka pintu selebar-lebarnya bagi pihak-pihak yang ingin memberikan kritik dan saran bagi penulis untuk menyempurnakan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Surabaya, 20 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Pengerjaan Tugas Akhir	3
1.4. Tujuan Tugas Akhir	4
1.5. Manfaat Tugas Akhir	4
1.6. Relevansi.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Penelitian Sebelumnya	7
2.2. Dasar Teori.....	8
2.2.1. Energi Baru Terbarukan	9
2.2.2. Biomassa	9
2.2.3. <i>Lanfill Gas to Power</i>	10
2.2.4. Simulasi dan pemodelan.....	10
2.2.5. Sistem dinamik.....	16
2.2.6. <i>Causal loop diagram</i>	19
2.2.7. Verifikasi dan validasi.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Studi Literatur	25
3.2. Identifikasi Masalah	26
3.3. Pengumpulan Data	26
3.4. Sistem Conceptualization.....	26
3.5. Membuat model Sistem Dinamik.....	27
3.6. Verifikasi dan Validasi.....	27

3.7.	Skenariosasi dan analisis hasil.....	28
3.8.	Penarikan Kesimpulan.....	28
3.9.	Penyusunan Buku Tugas Akhir.....	28
	BAB IV MODEL DAN IMPLEMENTASI.....	29
4.1.	Pengumpulan Data	29
4.2.	Analisa Variabel.....	29
4.3.	Diagram Kausatik.....	30
4.4.	Diagram Flow.....	34
	4.4.1. <i>Sub model Electricity In Demand</i>	37
	4.4.2. <i>Sub model Electricity Fullfilment Ratio</i>	38
	4.4.3. <i>Sub model Total Electricity Production</i>	39
	4.4.4. <i>Sub model Potensial Energi From Biomassa</i> .	41
	4.4.5. <i>Sub model Energi uses</i>	42
4.5.	Verifikasi.....	44
4.6.	Validasi.....	45
	4.6.1. <i>Validasi Sub Model Electricity In Demand</i> ...	45
4.7.	<i>Output Base Model</i>	48
	4.7.1. <i>Output Base Model Electricity Fulfillment Ratio</i>	48
	4.7.2. <i>Output Model Demand Electricity</i>	49
	4.7.3. <i>Output Base Model Total Waste In TPA</i>	49
	4.7.4. <i>Output base model potensial energi from biomassa</i>	50
	4.7.5. <i>Output energi uses</i>	51
	4.7.6. <i>Output Base Model Total Electricity Production</i>	51
		51
	BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	53
5.1.	Rancangan Skenario	53
5.2.	Hasil dan Implementasi Skenario.....	55
	5.2.1. <i>Skenario Struktur Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah</i>	55
	5.2.2. <i>Biomassa dari Kotoran Ternak</i>	56
	5.2.3. <i>Scn Electricity Fullfilment Ratio</i>	58
5.3.	Implementasi Skenario.....	59
	5.3.1. <i>Hasil Skenario Total Electricity Production</i> ...	60

5.3.2. Hasil Skenario Electricity fulfillment ratio	60
5.3.3. Skenario Struktur Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	62
5.3.4. Hasil Skenario Setelah Penambahan Variabel <i>Solar Cell</i>	64
5.4. Resume Skenario.....	65
BAB VI SARAN DAN KESIMPULAN.....	67
6.1. Kesimpulan	67
6.2. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	71
BIODATA PENULIS.....	73
LAMPIRAN A	75
LAMPIRAN B	79
LAMPIRAN C	89

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 variabel-variabel dalam simulasi.....	19
Tabel 4.2 variabel dalam model	29
Tabel 4.3 Persamaan <i>Sub model Electricity In demand</i>	37
Tabel 4.4 Sub Model <i>Electricity Fullfilment Ratio</i>	39
Tabel 4.5 Persamaan <i>Sub Model Electricity Production</i>	40
Tabel 4.6 Persamaan <i>Sub Model Potensial Energi from Biomassa</i>	42
Tabel 4.7 Persamaan Sub Model Energi Uses	43
Tabel 4.8 Perbandingan Data Simulasi Dan Data Historis.....	46
Tabel 4.9 Validasi Model	47
Tabel 5.10 Skenario Struktur	53
Tabel 5.11 Persamaan Skenario Stuktur Gasifikasi	56
Tabel 5.12 Persamaan Skenario Struktur kotoran ternak (<i>livestock waste</i>).....	57
Tabel 5.13 Persamaan <i>Electricity Fulfillment Ratio</i>	59
Tabel 5.14 Persamaan Skenario Stuktur <i>cell</i> surya	63
Tabel 5.15 Resume Skenario.....	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahapan pemodelan sistem dinamik [13].....	17
Gambar 2.2 Contoh Causal Loop Diagram.....	19
Gambar 2.3 <i>Simplified Version of the Modeling Process</i> [17]	21
Gambar 3.4 Metodologi Penelitian	25
Gambar 4.5 Diagram Kausatik.....	31
Gambar 4.6 <i>Cause tree Total Electricity production</i>	32
Gambar 4.7 Variabel yang dipengaruhi oleh <i>Total Electricity Fullfilment Ratio</i>	33
Gambar 4.8 <i>Causes Tree Electricity Fullfilment Ratio</i>	33
Gambar 4.9 Variabel yang Mempengaruhi <i>Total Waste in TPA</i>	34
Gambar 4.10 Diagram Flow	36
Gambar 4.11 Sub Model <i>Electricity In Demand</i>	37
Gambar 4.12 Sub Model <i>Electricity Fullfilment Ratio</i>	38
Gambar 4.13 <i>Sub Model Electricity Production</i>	40
Gambar 4.14 Sub Model <i>Potensial Energi From Biomassa</i> ..	42
Gambar 4.15 Sub Model Energi Uses	43
Gambar 4.16 <i>Running Model</i>	44
Gambar 5.17 Tampilan Ketika <i>Error</i>	44
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Demand Electricity Simulasi Dan Data Historis	46
Gambar 4.19 <i>Output Base Model Electricity Rasio Fulfillment</i>	48
<i>Gambar 4.20 Output Base Model Demand In Electricity</i>	49
<i>Gambar 4.21 Output Base Model Total Waste In TPA</i>	49
<i>Gambar 4.22 Output Base Model Potensial Energi From Biomasa</i>	50
<i>Gambar 4.23 Output Base Model Energi Uses</i>	51
<i>Gambar 4.24 Output Base Model Total Electricity Production</i>	51
Gambar 5.25 Diagram Flow Rancangan Skenario.....	54
Gambar 5.26 Skenario Struktur Gasifikasi	55
Gambar 5.27 Skenario Struktur kotoran ternak (<i>livestock waste</i>)	57

Gambar 5.28 Skenario <i>Electricity fulfillment ratio</i>	58
Gambar 5.29 Hasil Skenario <i>Total Electricity Production</i>	60
Gambar 5.30 Hasil Skenario <i>Electricity Fullfilment Ratio</i>	61
Gambar 5.31 Skenario Struktur cell Surya.....	63
Gambar 5.32 Hasil Skenario <i>Total Electricity Production</i> Setelah Penambahan <i>Solar Cell</i>	64
Gambar 6.33 Hasil Skenario <i>Electricity Fullfilment Ratio</i> Setelah Penambahan <i>Solar Cell</i>	64

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah dan tujuan penelitian yang mendasari penelitian tugas akhir.

1.1. Latar Belakang

Konsumsi energi listrik terus mengalami peningkatan dikarenakan energi listrik telah menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi kegiatan manusia, energi listrik mempunyai banyak manfaat dalam kehidupan sehari-hari baik di sektor rumah tangga, transportasi maupun industri, juga energi menjadi input penting dalam pengembangan sosial ekonomi. Menurut Kementerian energi dan sumber daya mineral kapasitas listrik di Indonesia pada awal tahun 2016 sebesar 55.500 MW dan diperkirakan akan membutuhkan tambahan kapasitas sebesar 59,5 GW hingga tahun 2022 dikarenakan kebutuhan listrik Indonesia pada tahun 2022 akan mencapai 386,7 TWh [1]. Di Indonesia sendiri, sumber energi listrik terbesar berasal dari batu bara, Gas dan minyak. Jenis energi tersebut merupakan energi fosil yang bersifat tak terbarukan sehingga apabila tidak ada sumberdaya energi cadangan atau teknologi alternatif lain maka sumberdaya tersebut akan habis [2].

Rasio elektrifikasi kota Surabaya pada bulan mei 2016 tercatat sebesar 88,34% dan beban energi listrik Surabaya utara 361,9 MW, Surabaya selatan 496,5 MW, Surabaya barat 215,9 MW. Untuk memenuhi target rasio elektrifikasi mencapai 100% di seluruh Indonesia pada tahun 2020 sebagaimana yang telah ditargetkan oleh PT PLN (persero) pemerintah kota Surabaya harus mencari alternatif lain dalam meningkatkan ketersediaan energi listrik, pengembangan Energi baru terbarukan seperti Biomassa dapat menjadi alternatif lain pemasokan energi

listrik, menurut studi Sekitar 35% dari total energi yang dikonsumsi di Indonesia adalah dari biomassa [3].

Biomassa merupakan energi terbarukan yang bersumber dari material biologis seperti tanaman ataupun hewan, disebut sebagai energi terbarukan karena biomassa dapat diperbaharui kembali atau dapat digunakan secara berulang. Energi biomassa lebih ramah lingkungan dan tidak menciptakan emisi CO₂ yang berbahaya bagi lingkungan, juga dapat mereduksi gas rumah kaca secara signifikan [4]. Menurut studi yang dilakukan bahwa bio-fuels dapat mengurangi gas rumah kaca sampai 65% [5] Selain itu biomassa merupakan salah satu sumberdaya paling melimpah di dunia [6]. Anselmo Filho dan Badr telah melakukan penilaian potensi energi dari sumber utama biomassa seperti tebu dan bambu di wilayah timur laut Brasil. Potensi energi tahunan dari tebu bambu dan sampah kota adalah 40,57 TWh, 30,8 TWh dan 16,7 TWh [7].

Sampah kota menjadi salah satu sumber utama biomassa. Seiring dengan peningkatan pertumbuhan penduduk maka tentunya volume sampah yang diproduksi akan semakin meningkat, sementara daya tampung dan usia pakai tempat pembuangan akhir (TPA) yang ada semakin terbatas karena hanya mengandalkan sistem *open dumping* dimana sampah dibuang dan ditimbun sedemikian rupa sehingga timbunan semakin hari semakin tidak terkendali. Sistem pengelolaan sampah harus menggunakan pendekatan 3R *reduce, reuse, recycle*.

Menurut Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi, pemanfaatan sampah menjadi energi masih sangat minim capaian pembangkit listrik berbasis sampah kota di Indonesia baru mencapai 17,6 MW sementara potensi yang dimiliki sekitar 2.066 MW sehingga masih banyaknya potensi sampah yang belum dimanfaatkan. pemerintah telah mengeluarkan kebijakan Feed In Tariff untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 44 Tahun 2015 tentang Pembelian Tenaga Listrik oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) dari Pembangkit

Listrik Berbasis Sampah Kota sebagai perubahan dari Peraturan Menteri ESDM Nomor 19 Tahun 2013.

Kota Surabaya telah memiliki Pembangkit Listrik tenaga sampah yang berkapasitas 1,65 MW yang berlokasi di TPS Benowo dan akan membangun lagi pembangkit listrik tenaga Sampah berkapasitas 8,31 MW. Produksi listrik yang dihasilkan PLTSa Benowo antara 900-1000 KWh/bulan dan mampu mengalir 1000 rumah di kawasan tersebut.

Pada penelitian ini, solusi yang ditawarkan adalah dengan menggunakan pemodelan dan simulasi sebagai alat penyediaan dukungan untuk perencanaan, analisa, dan evaluasi sistem menggunakan model simulasi dinamik. Melalui model simulasi dinamik, analisis pada sistem dapat dilakukan dengan mempertimbangkan data historis yang ada, serta merancang skenario untuk meningkatkan rasio pemenuhan energi listrik dengan sumber energy biomassa.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, rumusan masalah yang menjadi fokus utama dalam tugas akhir ini adalah:

- 1 Bagaimana membuat model konversi energi biomassa menjadi energi listrik?
- 2 Bagaimana rancangan skenario meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) dalam memenuhi permintaan energi listrik di kota Surabaya?
- 3 Bagaimana menentukan kebijakan untuk meningkatkan ketersediaan listrik dengan energi biomassa?

1.3. Batasan Pengerjaan Tugas Akhir

Dari permasalahan yang telah disebutkan, batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1 Wilayah yang menjadi objek dari tugas akhir ini adalah wilayah kota Surabaya.
- 2 Sumber yang digunakan untuk energi biomassa adalah Sampah Kota yang berada pada TPA di Surabaya.
- 3 Skenario yang dikembangkan bertujuan untuk meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (biomassa) dalam ketersediaan energi listrik.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Dari rumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya, tujuan yang akan dicapai melalui tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- 1 Membangun model sistem dinamik konversi energi biomassa menjadi energi listrik
- 2 Identifikasi peningkatan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) dalam memenuhi permintaan energi listrik di kota Surabaya.
- 3 Membantu pengambilan kebijakan dalam meningkatkan ketersediaan energi listrik kota Surabaya.

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Dengan adanya tugas akhir ini, diharapkan dapat memberi manfaat yaitu:

Bagi akademis

- 1 Mengenalkan teori pemodelan sistem dinamik untuk membuat model dan skenario dari suatu sistem dalam pengambilan keputusan.
- 2 Sebagai referensi implementasi sistem dinamik dalam suatu bidang sehingga dapat menjadikan acuan dalam penerapan di bidang lainnya.

Bagi perusahaan

- 1 Memberikan alternatif bagi pemerintah kota Surabaya dalam meningkatkan ketersediaan listrik kota Surabaya dengan menggunakan rancangan skenario yang telah dibuat.
- 2 Membantu dalam pengambilan kebijakan untuk meningkatkan ketersediaan energi listrik kota Surabaya dengan energi biomassa.

1.6. Relevansi

Tugas akhir ini mengangkat topik tentang Sistem Dinamik yang pada jurusan Sistem Informasi ITS berada pada Lab Sistem Enterprise. Laboratorium Sistem Enterprise (SE) Jurusan Sistem Informasi ITS Surabaya memiliki empat topik utama, yaitu *customer relationship management (CRM)*, *enterprise resource planning (ERP)*, *supply chain management (SCM)*, dan *business process management (BPM)*. Sistem dinamik dapat membantu dalam pengambilan keputusan melalui model simulasi serta skenario – skenario yang telah dibuat. Hasil dari skenario model sistem dapat dijadikan acuan untuk melakukan langkah-langkah inovasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai penelitian sebelumnya yang mendasari penelitian tugas akhir ini dan menjelaskan beberapa teori-teori dasar yang mendasari dan mendukung dan terkait dalam penelitian tugas akhir ini.

2.1. Penelitian Sebelumnya

Terdapat beberapa penelitian yang memiliki serupa dengan Tugas Akhir ini, yaitu mengenai simulasi sistem dinamik tentang ketenaga listrikan dalam berbagai raung lingkup. Tugas akhir ini membahas ketenaga listrikan yang bersumber dari energi baru terbarukan yaitu biomassa.

Oxa Axella melakukan penelitian yang berjudul “Aplikasi model sistem dinamik untuk menganalisis permintaan dan ketersediaan listrik sektor Industri (studi kasus : Jawa Timur)” yang bertujuan Membangun model sistem dinamik untuk memprediksi permintaan energi listrik di masa mendatang dan ketersediaan energi listrik untuk masa mendatang pada sektor industry, dengan penelitian tersebut menghasilkan Kapasitas pembangkit listrik saat ini belum mampu memenuhi kebutuhan listrik sampai tahun 2025, sehingga diperlukan penambahan pembangkit listrik. Pengembangan skenario yang diusung yaitu dengan menambahkan pembangkit listrik yang telah direncanakan dalam RUPTL PT PLN distribusi jawa Timur yaitu PLTU dan PLTG/PLTG, PLTU 1 di jatim (Paiton unit 9)1x6650MW pada tahun 2018, PLTU 2 Di jatim (Pacitan) 2x315MW pada tahun 2022 dan PLTG/PLTGU di jatim (Cepu/Tuban)2x750 MW pada tahun 2014 untuk memenuhi permintaan Listrik hingga tahun 2025.

Pada ruang lingkup energi biomasa sebagai sumber energi listrik telah banyak dilakukan penelitian baik itu tentang studi

kelayakan dari aspek teknis, finansial maupun ekonomi seperti yang telah dilakukan Kukuh Siwi Kuncoro dengan judul “Studi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah 10 MWe di Kota Medan ditinjau dari Aspek Teknis, Ekonomi dan Lingkungan. Penelitian tersebut menghasilkan bahwa saat ini Sumatera utara memiliki daya mampu sebesar 1212 MW dengan kapasitas terpasang 1520,3 MW dan beban puncak mencapai 1262,2 MW. Untuk kebutuhan listrik di kota Medan mencapai 54,19% dari total kebutuhan propinsi dengan pertumbuhan konsumsi energi mencapai 4,7 % setiap tahunnya. Potensi biomassa dengan memanfaatkan sampah kota sebagai sumber energi alternatif untuk pembangkitan PLTSA sangat melimpah di Kota Medan dan belum dimanfaatkan. Berdasarkan analisa diperoleh bahwa estimasi timbunan sampah kota tahun 2009 mencapai 620.979 ton/tahun dengan komposisi sampah organik

mencapai 434.685 ton/tahun. Dan tahun 2025 mencapai 718.335 ton/hari dengan sampah organik mencapai 502.835 ton/tahun dengan rata-rata produksi sampah perhari mencapai 1190 ton/hari sampah organik. Dan diperkirakan mampu memproduksi listrik setiap tahunnya sebesar 72,42 GWh.

Didit Waskito melakukan penelitian dengan judul “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di kawasan Usaha Perternakan Sapi” penelitian tersebut mengklaim bahwa dengan produksi kotoran sapi sebesar 55 ton/hari menghasilkan produksi biogas sebesar 2200 meter kubik/hari. Potensi energi listrik yang dihasilkan 16.390,86 kwh per hari potensi tersebut menghasilkan energi listrik sebesar 217,45 kw.

2.2. Dasar Teori

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori – teori yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

2.2.1. Energi Baru Terbarukan

Energi Baru Terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam yang dapat digunakan secara terus-menerus. Terdapat beberapa potensi energi baru terbarukan yang dimiliki oleh kota Surabaya yaitu sinar matahari, kotoran hewan, air limbah, sampah kota, sampah pertanian, minyak jelantah.

2.2.2. Biomassa

Biomassa merupakan energi yang berasal dari material biologis, Terdapat beberapa Sumber daya biomassa yaitu sisa pertanian, kotoran hewan, limbah kayu dari hutan dan industri, sisa dari industri kertas dan makanan, sampah hijau kota, tanaman khusus energi seperti pohon kayu putih, rumput *miscanthus*, tanaman gula, tanaman pati, tanaman minyak. Sejauh ini limbah organik menjadi salah satu sumber yang paling banyak digunakan namun tanaman energi telah banyak digunakan untuk sumber daya biomassa [9].

Potensi energi Biomassa Dari Sampah

Sampah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun rumah tangga yang berbentuk padat atau semi padat berupa zat organik atau anorganik yang bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai.

Jenis-jenis sampah yang berada pada lingkungan sehari-hari cukup beraneka ragam, berupa sampah rumah tangga, sampah industri, sampah pasar, sampah rumah sakit, sampah pertanian, sampah perkebunan, sampah peternakan, sampah institusi/kantor/sekolah. Berdasarkan asalnya, sampah padat dapat digolongkan menjadi 2 (dua) yaitu sampah organik dan sampah anorganik.

a) Sampah Organik

Sampah organik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan hayati yang dapat didegradasi oleh mikroba atau bersifat biodegradable. Sampah ini dengan mudah dapat diuraikan melalui proses alami, contoh sayuran, kulit buah, daun dan ranting, sampah sayuran, buah-buahan.

b) Sampah Anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non hayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang. Sampah anorganik dibedakan menjadi sampah plastik, sampah kertas, sampah kaca dan keramik, sampah logam. Sebagian besar anorganik tidak dapat diurai oleh alam/mikroorganisme secara keseluruhan (*unbiodegradable*) .

2.2.3. *Landfill Gas to Power*

Landfill gas to power (LFGP) merupakan salah satu cara merubah sampah menjadi energi listrik. TPA menghasilkan gas secara alami karena material organik akan membusuk secara anaerobik untuk menghasilkan metana, karbondioksida, dan hidrogen sulfide yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin yang akan menghasilkan listrik.

Pembentukan gas *landfill* adalah melalui berbagai proses biologis. Gas *landfill* dihasilkan dari proses dekomposisi materi sampah organik. Diperkirakan 1.87 m³ gas *landfill* dihasilkan dari setiap kilogram bahan organik yang terurai (menjadi 50% gas metana). komposisi TPA benowo adalah 57%-60% organik.

2.2.4. Simulasi dan pemodelan

Simulasi dan pemodelan merupakan dua hal yang sangat berkaitan. Dimana pemodelan ini adalah tahapan awal simulasi dapat dilakukan. Berikut ini adalah penjelasan dari simulasi, pemodelan, dan model simulasi.

2.2.4.1. Simulasi

Simulasi mengacu kepada kumpulan dari metode dan aplikasi untuk meniru perilaku dari sistem yang sebenarnya, simulasi bisa diterapkan dalam berbagai macam bidang, industri dan aplikasi. Simulasi komputer mengacu kepada metode untuk mempelajari berbagai macam model dari *real-world* sistem

dengan evaluasi *numeric* menggunakan software yang di desain untuk meniru operasi dan karakteristik sistem sebenarnya. Dari *point of view* tersebut dapat dikatakan simulasi merupakan proses mendesain dan membuat model dari sistem nyata ataupun yang akan dibuat. Bertujuan melaksanakan percobaan *numeric* untuk memberikan pemahaman lebih dari perilaku sistem dengan memberikan beberapa kondisi. Simulasi dapat dilakukan pada sistem yang simpel maupun yang lebih kompleks [10]. Simulasi juga dapat dilakukan untuk memprediksi kinerja sistem yang dikembangkan [11]. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan dalam memenuhi spesifikasi, menghilangkan kemacetan yang tak terduga, mencegah pemanfaatan sumberdaya yang kurang maupun berlebihan, dan untuk mengoptimalkan kinerja sistem [12]. Dengan melakukan simulasi, kita dapat menentukan keputusan yang tepat dalam waktu singkat tanpa harus mengeluarkan biaya yang besar karena seluruh simulasi ini cukup dilakukan hanya dengan menggunakan komputer.

Ada beberapa keuntungan yang bisa diperoleh dengan memanfaatkan simulasi, yaitu:

1. Menghemat Waktu (*Compress Time*)

Keuntungan simulasi dalam menghemat waktu ini dapat dilihat dari pekerjaan yang bila dikerjakan akan memakan waktu tahunan tetapi kemudian dapat disimulasikan hanya dalam beberapa menit, bahkan dalam beberapa kasus hanya dalam hitungan detik. Kemampuan ini dapat dipakai oleh para peneliti untuk melakukan berbagai pekerjaan desain opsional yang mana juga memperhatikan bagian terkecil dari waktu untuk kemudian dibandingkan dengan yang terdapat pada sistem nyata.

2. Memperluas Waktu (*Expand Time*)

Hal ini terlihat dalam dunia statistik dimana hasilnya diinginkan dapat disajikan dengan cepat. Simulasi dapat digunakan untuk menunjukkan perubahan struktur dari suatu Sistem Nyata (*Real Sistem*) yang sebenarnya tidak dapat diteliti pada waktu yang seharusnya (*Real Time*).

Dengan demikian simulasi dapat membantu mengubah *Real Sistem* hanya dengan memasukkan sedikit data.

3. Mengawasi Pada Sumber Yang Bervariasi (*Control Source Of Variation*)

Kemampuan pengawasan dalam simulasi ini terlihat terutama apabila analisa statistik digunakan untuk meninjau hubungan antara *variable* bebas (*independent*) dengan *variable* terkait (*dependent*) yang merupakan faktor-faktor yang akan dibentuk dalam percobaan. Hal ini dalam kehidupan sehari-hari merupakan suatu kegiatan yang harus dipelajari dan ditangani dan tidak dapat diperoleh dengan cepat.

4. Mengoreksi Kesalahan – Kesalahan Perhitungan (*Error in Measurement Correction*)

Dalam praktek sebenarnya suatu kegiatan atau pun percobaan dapat saja muncul kesalahan dalam mencatat hasil-hasilnya. Sebaliknya, dalam simulasi komputer jarang ditemukan kesalahan perhitungan terutama bilangan angka-angka diambil dari komputer secara teratur dan bebas. Komputer mempunyai kemampuan untuk melakukan perhitungan dengan akurat.

5. Dapat Dihentikan dan Dijalankan Kembali (*Stop Simulation and Restart*)

Simulasi komputer dapat dihentikan untuk kepentingan peninjauan ataupun pencatatan semua keadaan yang relevan tanpa adanya dampak buruk terhadap program simulasi tersebut. Dalam dunia nyata, percobaan tidak dapat dihentikan begitu saja. Dalam simulasi komputer, setelah dilakukan penghentian maka kemudian dapat dengan cepat dijalankan kembali (*restart*)

6. Mudah Diperbanyak (*Easy to Replicate*)

Dengan simulasi komputer percobaan dapat dilakukan setiap saat dan dapat diulang-ulang. Pengulangan dilakukan terutama untuk mengubah berbagai komponen dan variabelnya, seperti dengan perubahan pada parameternya, perubahan pada kondisi operasinya, ataupun dengan memperbanyak *output*nya.

2.2.4.2. Pemodelan

Pemodelan adalah proses menghasilkan model. Model adalah representasi dari suatu objek, benda atau ide - ide dalam bentuk yang disederhanakan yang sangat berguna untuk menganalisis maupun merancang sistem. Terdapat dua macam model yaitu *physical model* dan *mathematical model* [10].

1. *Physical model* yaitu replika fisik atau skala model dari sistem contohnya simulator fisik penerbangan yang digunakan untuk melatih pilot
2. *Mathematical model* yaitu asumsi atau perkiraan struktural dan kuantitatif tentang kerja sistem. Mathematical model representasi dari program komputer untuk menjawab pertanyaan tentang perilaku sistem, jika model valid maka kita bisa mempelajari tentang perilaku sistem. Mathematical model ini menggunakan program komputer dari pada aktual sistem, yang artinya lebih mudah, murah dan cepat dalam mendapatkan jawaban pertanyaan tentang model dan sistem dengan memanipulasi input dan form program.

Untuk membuat suatu model yang baik, maka harus memenuhi karakteristik berikut ini:

1. Mempunyai elemen, dimana elemen yang dicantumkan hanya elemen-elemen yang langsung terlibat dalam permasalahan
2. Valid, model harus dengan tepat mewakili sistem nyatanya
3. Memberikan hasil yang mudah dimengerti dan berarti
4. Dapat digunakan berulang kali
5. Mudah untuk dimodifikasi dan dikembangkan

2.2.4.3. Model simulasi

Model simulasi terbagi menjadi tiga dimensi yaitu [10]:

1. Statistik dan dinamik

Statistik model tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, dinamik model dipengaruhi oleh perubahan waktu.

2. Kontinu dan diskret

Pada model diskret jika variabel yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu sedangkan model kontinu jika perubahan variabel sistem berlangsung secara berkelanjutan seiring dengan perubahan waktu.

3. Deterministik dan stokastik

Model deterministik tidak mengandung variabel yang bersifat random, sedangkan model stokastik mengandung beberapa input yang bersifat random. Model bisa mempunyai deterministic dan random variabel dalam komponen yang berbeda.

Setiap model simulasi pada umumnya memiliki unsur-unsur seperti [13]:

1. Elemen model

2. Entitas pembentuk model yang didefinisikan juga sebagai objek sistem yang menjadi perhatian pokok.

3. Variabel

Besaran yang nilainya selalu berubah baik secara diskrit maupun kontinyu dalam suatu system

4. Parameter

Besaran yang nilainya tetap namun dapat berubah pada waktu tertentu

5. Hubungan Fungsional

Hubungan atau relasi antar elemen/entitas model

6. Konstrain

Batasan dari permasalahan yang dihadapi sehingga tidak mencakup terlalu luas dan fokus pada permasalahan

Dalam pembuatan model simulasi, harus melalui beberapa tahapan berikut yaitu [12] :

1. Identifikasi masalah

Mengidentifikasi masalah dengan sistem yang ada

2. Merumuskan masalah
Menentukan batasan dan tujuan masalah
3. Mengumpulkan dan mengeksekusi data sistem yang nyata
Mengumpulkan data mengenai spesifikasi sistem, variable input, serta dari kinerja sistem yang ada
4. Merumuskan dan mengembangkan model
Mengembangkan skema dan diagram jaringan sistem.
5. Validasi model

Membandingkan model dengan kinerja sistem nyata. Yaman Barlas dalam jurnalnya yang berjudul “*Multiple Test for Validation of Sitem Dynamics Type of Simulation Model*” [13] menjelaskan dua cara validasi yaitu:

- a) Perbandingan rata-rata (*mean comparison*)

$$E1 = \frac{|rata\ rata\ simulasi - rata\ rata\ data|}{rata\ rata\ data}$$

$E1 =$ error rate. Nilai error rate $\leq 5\%$

- b) Perbandingan Variasi Amplitudo (*% Error Variance*)

$$E2 = \frac{|standar\ deviasi\ model - standar\ deviasi\ data|}{standar\ deviasi\ data}$$

$E2 =$ error rate. nilai error rate $\leq 30\%$

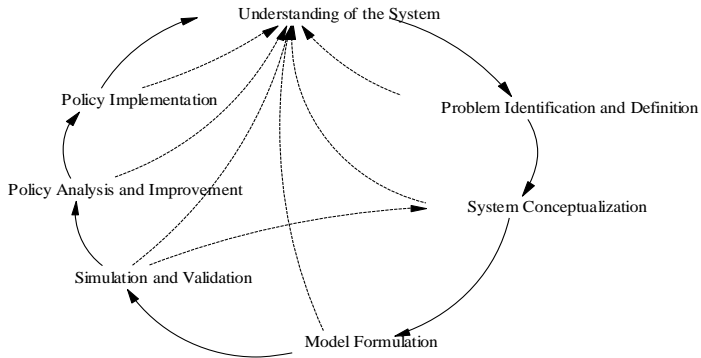
7. Mendokumentasikan model
Mendokumentasikan tujuan, asumsi dan variable *input* secara rinci
8. Menentukan desain eksperimen yang layak
Memilih ukuran kinerja, variable input yang berpengaruh, dan tingkat setiap variable input
9. Membangun usulan eksperimen yang akan dijalankan
Menjawab pertanyaan dari masalah yang dirumuskan
10. Menjalankan simulasi
Menjalankan simulasi dari eksperimen yang telah dilakukan pada 2 langkah sebelumnya
11. Menginterpretasi hasil
Menganalisis dan mengambil kesimpulan dari hasil simulasi

2.2.5. Sistem dinamik

Sistem dinamik pertama kali diperkenalkan oleh Jay W. Forrester di Massachusetts Institute of Technology (MIT) pada tahun 1950-an, merupakan suatu metode pemecahan masalah-masalah kompleks yang timbul karena adanya kecenderungan sebab-akibat dari berbagai macam variabel di dalam sistem. Metode sistem dinamik pertama kali diterapkan pada permasalahan manajemen seperti fluktuasi inventori, ketidakstabilan tenaga kerja, dan penurunan pangsa pasar suatu perusahaan. Hingga saat ini aplikasi metode sistem dinamik terus berkembang semenjak pemanfaatannya dalam bidang-bidang sosial dan ilmu-ilmu fisik.

Didasari oleh filosofi kausal, tujuan metodologi sistem dinamik adalah mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang cara kerja suatu sistem. Permasalahan dalam suatu sistem dilihat tidak disebabkan oleh pengaruh luar namun dianggap disebabkan oleh struktur internal sistem.

Fokus utama dari metodologi sistem dinamik adalah pemahaman atas sistem sehingga langkah pemecahan masalah dengan metodologi sistem dinamik, yaitu:
Tahapan dalam proses pemodelan sistem dinamik dapat dilihat pada gambar [14]:



Gambar 2.1 Tahapan pemodelan sistem dinamik [13]

Pada Gambar 2.1 menunjukkan tahapan dalam membuat model sistem dinamik.

1. *Problem Identification and definition*

Pada tahap ini dilakukan analisis permasalahan, dijabarkan berdasarkan pokok permasalahan utama dan hal-hal terkait permasalahan tersebut. Identifikasi permasalahan ini untuk mengetahui pokok permasalahan yang ada.

2. *Sistem Conceptualization*

Dalam tahap *sistem conceptualization* yaitu menentukan tujuan dari model, mendefinisikan batasan model meliputi faktor – faktor yang dianggap relevan dan penting dalam permasalahan, interaksi dalam sistem ataupun dengan lingkungan luar sistem. Dalam mendefinisikan batasan model, pertama dilakukan adalah menentukan *time horizon*. Selanjutnya menggambarkan perilaku dari *key concept* dan variabel, variabel – variabel tersebut di plot dalam bentuk diagram stock dan flows atau *causal loop diagram*(CLD)

3. *Model Formulation*

Setelah tahap *sistem conceptualization* selesai selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan mengubah diagram yang telah dibuat dalam tahap *sistem conceptualization* ke diagram model yang lebih terperinci dengan memasukan persamaan *rate* dan *level*, parameter dan *initial condition*.

4. *Simulation and Validation*

Validation bertujuan untuk memastikan apakah output perilaku dari model sudah akurat dan dapat diterima. Dengan cara *behavior pattern test* yaitu membandingkan hasil rata-rata dan variansi amplitude.

5. *Policy analysis and Improvement*

Tahapan ini dilakukan untuk meningkatkan perilaku sistem dengan menspesifikasikan skenario yaitu kondisi – kondisi yang mungkin terjadi. Terdapat dua jenis skenario yaitu skenario parameter dan skenario struktur. Pada skenario parameter, dilakukan dengan merubah nilai parameter, parameter dirubah sebanyak tiga kali untuk skenario *optimistic, most likely, optimistic*. Skenario struktur dengan merubah struktur dari model dengan menambah variabel baru, kemudian dilakukan analisis yang akan mendapat model baru.




6. *Policy Implementation*

Setelah semua tahapan selesai, langkah selanjutnya adalah mengimplementasikan skenario yang telah dibuat ke sistem nyata.

Dari model sistem dinamik dalam bentuk diagram kausatik dibangun *Flow Diagram* untuk menggambarkan variabel-variabel simulasi dan parameterisasi serta formulasi model untuk siap disimulasikan. Variabel dalam sistem dinamik digambarkan pada tabel 2.1

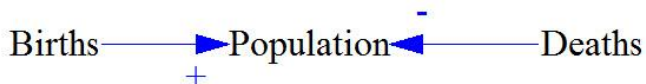
Pada tabel 2.1 dijelaskan mengenai variabel yang digunakan dalam menyusun *Flow Diagram* atau diagram alir untuk membangun nilai atau pada setiap variabel yang terkait sistem yang dibuat [15]. Diagram alir ini nantinya akan menunjukkan nilai yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan dari penelitian tugas akhir berikut.

Tabel 2. 1 variabel-variabel dalam simulasi

Variabel	Simbol	Keterangan
Level		Merupakan variabel yang menyatakan akumulasi dari sejumlah benda (nouns) seperti orang, uang, inventori, dan lain-lain, terhadap waktu. <i>level</i> dipengaruhi oleh variabel <i>rate</i>
Rate		Merupakan suatu aktivitas, pergerakan (<i>movement</i>), atau aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu variabel <i>level</i> . <i>rate</i> merupakan satu-satunya variabel yang mempengaruhi variabel <i>level</i>
Auxiliary		Merupakan variabel bantu yang berisi formulasi yang dapat menjadi masukan pada <i>rate</i> . variabel ini sering digunakan untuk formulasi yang kompleks.

2.2.6. Causal loop diagram

Causal loop diagram adalah diagram sebab akibat yang merupakan salah satu alat untuk merepresentasikan struktur *feedback* dari sistem [14]. *causal loop diagrams* terdiri dari variabel – variabel dihubungkan dengan *link* (panah) dengan polaritas (tanda + dan -) dan penundaan (||). Tanda – tanda tersebut untuk membuat *positive* dan *negative feedback*.



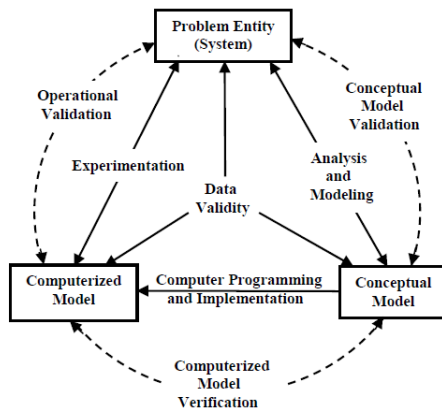
Gambar 2.2 Contoh Causal Loop Diagram

Terlihat dari Gambar 2.2 Dua hal yang menyebabkan perubahan populasi adalah Kelahiran dan Kematian, dengan menggunakan panah untuk mewakili hubungan kausal ini. Telah diketahui bahwa Kelahiran yang lebih banyak menyebabkan populasi lebih besar, dan Kelahiran yang sedikit akan menyebabkan Populasi lebih rendah, hubungan ini memiliki polaritas positif, yang berarti bahwa kedua variabel bergerak ke arah yang sama: banyak mengarah ke banyak, atau kurang mengarah ke kurang, menunjukkan bahwa hubungan kausal memiliki polaritas positif dengan menempatkan tanda + di samping panah kepala. Telah diketahui bahwa lebih banyak kematian menyebabkan populasi lebih rendah, dan kematian lebih sedikit menyebabkan populasi yang lebih besar. Variabel bergerak dalam arah yang berlawanan, banyak mengarah ke kurang, atau kurang mengarah ke banyak, jadi kita akan mengatakan bahwa hubungan ini memiliki polaritas negatif. Kami mewakili ini dengan label panah kepala dengan tanda (-) bahwa lebih banyak

kematian menyebabkan Penduduk lebih rendah, dan kematian lebih sedikit menyebabkan populasi yang lebih besar [16].

2.2.7. Verifikasi dan validasi

Hubungan antara verifikasi dan validasi dalam membangun sebuah model simulasi dapat dilihat dari *gambar 2.3* [17]:



Gambar 2.3 *Simplified Version of the Modeling Process* [17]

1. *Conceptual validation*

Validasi model konseptual yaitu menentukan apakah teori dan asumsi dari model konseptual yang telah dibuat benar dan model tersebut sudah merepresentasikan permasalahan, struktur model dan hubungan kausal dengan benar.

2. *Computerized model verification*

Computerized model verification memastikan bahwa program komputer dan implementasi dari model konseptual telah dilakukan dengan benar atau tidak terjadi *bug* atau *error*.

3. *Operational Validity*

Operational validity adalah menentukan apakah output perilaku dari model simulasi sudah akurat, dengan membandingkan dengan sistem nyata.

Secara umum tujuan utama dari validasi suatu model simulasi adalah menentukan struktur model apakah sudah tepat dan testing akurasi dari perilaku model. Terdapat tiga validasi formal model simulasi [13]:

1. *Direct Structure Test*

Direct Structure Test memeriksa validasi dari model secara langsung, membandingkan model dengan pengetahuan yang tersedia. Tes dapat dibagi menjadi dua yaitu *empirical* dan *theoretical*. *Empirical structure test* dengan membandingkan model dengan sistem nyata. *Theoretical test* membandingkan model dengan pengetahuan umum tentang sistem yang ada pada literatur. Contoh *direct structure test* yaitu *structure and verification test*, *direct extreme-conditions test*, *dimensional consistency test*. *Structure verification test* maksudnya adalah membandingkan struktur model dengan struktur dari sistem nyata. Mungkin juga bisa menjadi sebagai *theoretical structure test* dengan membandingkan model dengan teori yang ada di literatur. *Parameter verification* adalah mengevaluasi constan parameter dengan sistem nyata. *Conceptually dan numerically. direct extreme-conditions testing* mengevaluasi model dibawah kondisi ekstrim dan menilai kemungkinan dari hasil nilai terhadap apa yang akan terjadi dengan kondisi yang sama pada sistem nyata. *Dimensional consistency test* yaitu analisis dimensional dari model dimana model harus melalui test ini tanpa memasukan *dummy parameter* yang tidak berarti pada dunia nyata.

2. *Structure-oriented behavior test*

Menilai validitas dari struktur model secara tidak langsung. Dengan cara *extreme condition test* yaitu menetapkan nilai ekstrim untuk parameter yang dipilih dan membandingkan model dengan sistem nyata. Cara lain dengan menggunakan *behavior sensitivity test* yaitu parameter model dengan sensitifitas tinggi untuk dicermati lebih lanjut apakah proses-proses yang terjadi pada sistem nyata telah di "model" dengan benar.

3. *Behavior pattern test*

Setelah melakukan validasi terhadap struktur model selanjutnya melakukan *behavior pattern test* untuk menilai seberapa akurat output pola perilaku dari model dengan

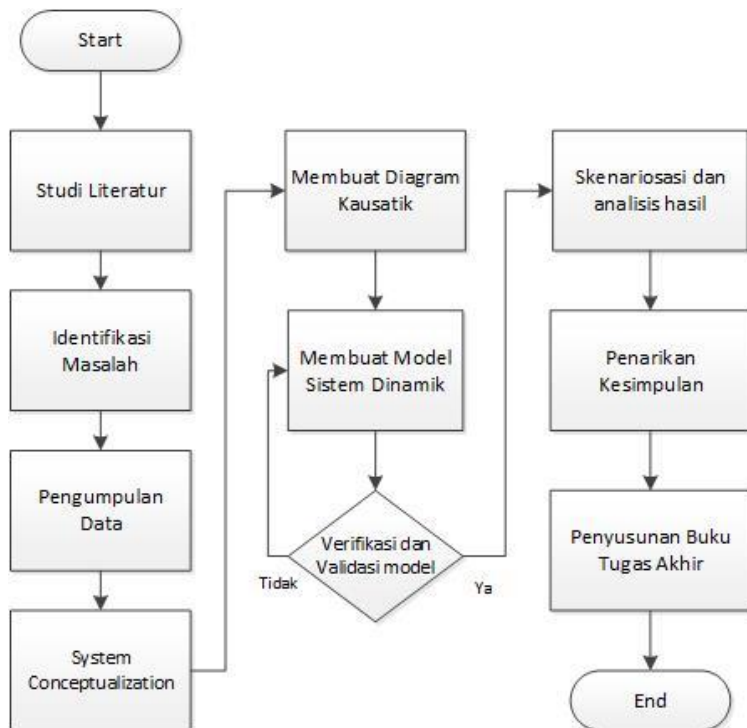
pola perilaku dari sistem nyata. Dengan perbandingan rata-rata dan perbandingan variasi amplitude.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Metodologi ini diperlukan sebagai panduan langkah – langkah pengerjaan tugas akhir secara sistematis dan terstruktur. *Flow chart* metodologi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Metodologi Penelitian

3.1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian serta pemahaman informasi dan literatur terkait penelitian yang dilakukan. Pemahaman

mengenai konsep dan metode dari pemodelan dan simulasi sistem dinamik, teori dan konsep biomassa.

3.2. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan analisis permasalahan, dijabarkan berdasarkan pokok permasalahan utama dan hal-hal terkait permasalahan tersebut. Identifikasi permasalahan ini untuk mengetahui pokok permasalahan yang ada. Pada kasus ini dilakukan identifikasi masalah terkait ketersediaan tenaga listrik di kota Surabaya, bagaimana cara meningkatkan ketersediaan tenaga listrik kota Surabaya, berapa persen energi biomassa dapat memenuhi permintaan listrik kota Surabaya.

3.3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data terkait dengan permasalahan. Data – data mengenai variabel yang dibutuhkan dalam tahap pemodelan. Pengambilan data pada tugas akhir ini dilakukan melalui beberapa cara: 1. Referensi 2. Eksplorasi dari hasil-hasil penelitian sebelumnya 3. Wawancara dengan Bagian Niaga dan Bagian Perencanaan PLN Distribusi Jawa Timur dan Dinas Kota Surabaya 4. Observasi terkait dengan proses konversi sampah menjadi energi listrik.

3.4. Sistem Conceptualization

Dalam tahap *sistem conceptualization* yaitu menentukan tujuan dari model, mendefinisikan batasan model meliputi faktor – faktor yang dianggap relevan dan penting dalam permasalahan, interaksi dalam sistem ataupun dengan lingkungan luar sistem. Dalam mendefinisikan batasan model, pertama dilakukan adalah menentukan *time horizon*, pada tugas akhir ini *time horizon* ditetapkan selama 15 tahun. Ruang lingkup model ini hanya mencakup variabel internal, eksternal dan variabel yang dikecualikan dari konversi energi biomassa menjadi energi listrik. Selanjutnya menggambarkan perilaku dari *key concept* dan variabel, variabel – variabel tersebut di plot dalam bentuk *causal loop diagram*(CLD) atau digram kausatik

3.5. Membuat model Sistem Dinamik

Setelah tahap membuat diagram kausatik selanjutnya adalah mengubah diagram kausatik ke diagram model yang lebih terperinci dengan memasukan persamaan *rate* dan *level* atau bisa juga disebut diagram stock and flow. Setelah diagram *stock and flow* selesai dibuat, selanjutnya disusun formula dari setiap masing-masing variabel. Formula ini digunakan untuk menghitung hubungan antar variabel berdasarkan data yang dimiliki.

3.6. Verifikasi dan Validasi

1. Verifikasi

Dalam tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa program komputer dan implementasi dari model konseptual tidak terjadi *bug* atau *error*. Melakukan *checking* pada program computer dan implementasinya. Error dapat disebabkan oleh berbagai macam hal misalnya; data, model konseptual, program komputer atau implementasi program.

2. Operasional Validasi

Operasional validation bertujuan untuk memastikan apakah output perilaku dari model sudah akurat dan dapat diterima. Dengan cara *behavior pattern test* yaitu membandingkan hasil rata-rata dan variansi amplitude. Berikut ini merupakan rumus dalam behavior pattern test:

a) Perbandingan rata-rata (*mean comparison*)

$$E1 = \frac{|rata\ rata\ simulasi - rata\ rata\ data|}{rata\ rata\ data}$$

E1 = error rate. Nilai error rate $\leq 5\%$

b) Perbandingan Variasi Amplitudo (*% Error Variance*)

$$E2 = \frac{|standar\ deviasi\ model - standar\ deviasi\ data|}{standar\ deviasi\ data}$$

E2 = error rate. nilai error rate $\leq 30\%$

3.7. Skenariosasi dan analisis hasil

Tahapan ini dilakukan untuk meningkatkan perilaku sistem dengan menspesifikasikan skenario yaitu kondisi – kondisi yang mungkin terjadi. Terdapat dua jenis skenario yaitu skenario parameter dan skenario struktur. Pada skenario parameter, dilakukan dengan merubah nilai parameter, parameter dirubah sebanyak tiga kali untuk skenario *optimistic*, *most likely*, *optimistic*. Skenario struktur dengan merubah struktur dari model dengan menambah variabel baru, kemudian dilakukan analisis yang akan mendapat model baru. Rancangan skenario pada tugas akhir ini yaitu menggunakan skenario struktur dengan menambah variabel untuk meningkatkan rasio pemenuhan energi listrik serta meingkatkan penggunaan energi terbarukan biomassa.

3.8. Penarikan Kesimpulan

Langkah selanjutnya adalah penarikan kesimpulan. Langkah ini digunakan untuk mengetahui apakah hasil tugas akhir sesuai dengan tujuan yang telah diterapkan serta memberikan saran berupa pengembangan atau perbaikan tugas akhir selanjutnya. Kesimpulan dan saran dibuat untuk melengkapi penyusunan dokumentasi tugas akhir.

3.9. Penyusunan Buku Tugas Akhir

Pada tahap ini, akan disusun pembuatan buku tugas akhir sebagai dokumentasi dari pengerjaan tugas akhir. Buku ini juga dapat digunakan sebagai pamduan pembaca apabila ingin melakukan penelitian sejenis atau bias juga digunakan sebagai referensi pengembangan lebih lanjut.

BAB IV

MODEL DAN IMPLEMENTASI

4.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam tugas akhir ini dilakukan dengan cara wawancara dan pengambilan data langsung dari PLN Distribusi Jawa Timur. Data – data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Permintaan energi Listrik adalah total permintaan energi listrik kota Surabaya selama 22 bulan dimulai dari januari 2015 sampai oktober 2016.
2. Jumlah sampah di TPABenowo selama 22 bulan.
3. Produksi Listrik bersumber dari sampah skala kecil yang terdapat di rumah kompos bratang dan wonorejo
4. Produksi Energi Listrik yang dihasilkan oleh PLTSa dan kapasitas pembangkit listrik.

4.2. Analisa Variabel

Setelah mendapatkan data yang diperlukan serta penggalian teori dari studi literature, maka dibutuhkan analisa faktor-faktor apa saja yang akan digunakan serta keterkaitan dari faktor-faktor tersebut dalam model simulasi sistem dinamik. Dari faktor-faktor yang telah diketahui akan didapatkan variabel-variabel yang berpengaruh dalam tugas akhir ini. Pada tugas akhir ini didapatkan beberapa variabel penting dapat dilihat pada Tabel 4.2

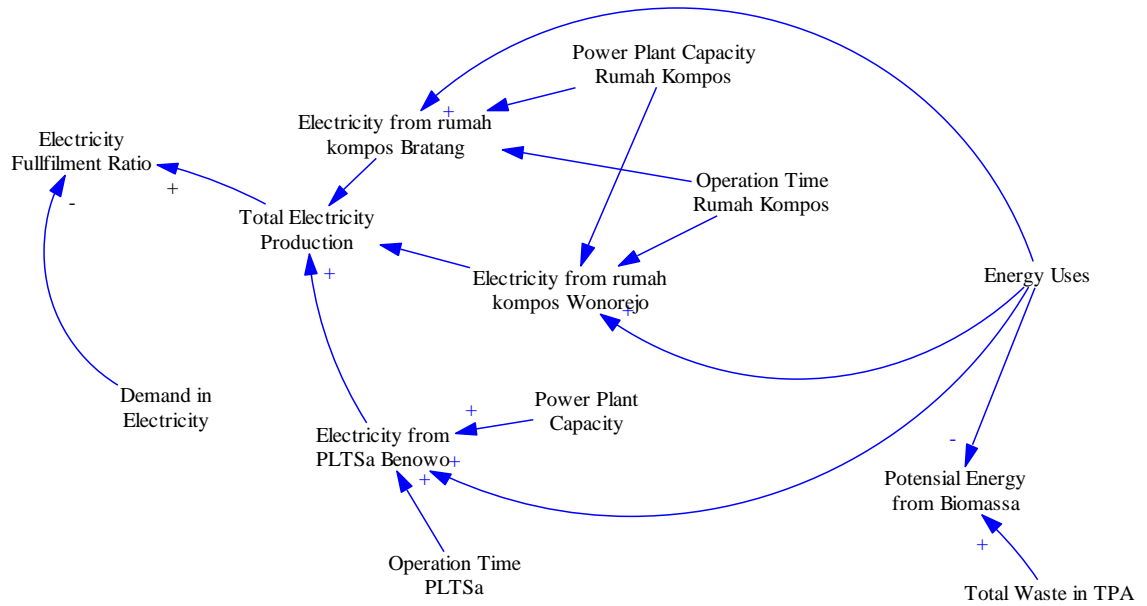
Tabel 4.2 variabel dalam model

Variabel	Deskripsi	Satuan
Permintaan Listrik Kota Surabaya	Menunjukkan jumlah permintaan listrik kota Surabaya dari setiap golongan baik itu rumah	kilo Watt

Variabel	Deskripsi	Satuan
	tangga maupun non-rumah tangga	
Produksi energi listrik	Menunjukkan produksi listrik yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga sampah	Kilo watt
Rasio pemenuhan energi listrik	Menunjukkan rasio pemenuhan energi listrik. Rasio pemenuhan ditunjukkan dengan membandingkan permintaan energi listrik dan produksi energi listrik, seberapa besar produksi listrik dari sampah akan memenuhi permintaan listrik	

4.3. Diagram Kausatik

Diagram kausatik atau *Causal loop diagram* adalah diagram sebab akibat yang merupakan salah satu alat untuk merepresentasikan struktur *feedback* dari sistem [14]. Diagram kausatik bertujuan untuk menentukan kesesuaian model dengan perilaku di kehidupan nyata dibuat dengan menentukan variabel-variabel yang berpengaruh dalam sistem. Hubungan antar variabel berpengaruh ditunjukkan dengan tanda (+) berpengaruh positif atau tanda (-). Diagram kausatik pada tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 4.5

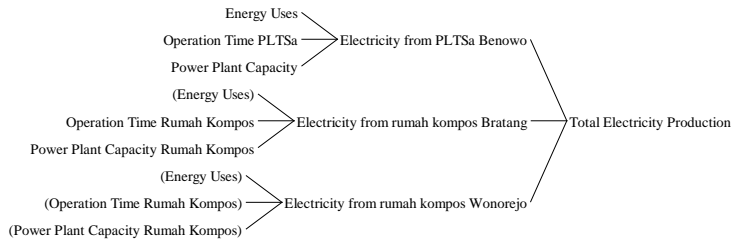


Gambar 4.5 Diagram Kausatik

Dalam diagram kausatik pada memperlihatkan beberapa sub model yang memiliki keterkaitan dan hubungan sebab akibat yang bersifat positif maupun negatif, berikut diantaranya :

1. *Total Electricity Production*

Electricity Production, adalah variabel yang menunjukkan total produksi energi listrik dengan bahan baku sampah setiap bulannya. Terdapat variabel–variabel yang dapat mempengaruhi total produksi listrik dengan bahan baku sampah, pada *Gambar 4.6* sebagai berikut:



Gambar 4.6 Cause tree Total Electricity production

a. *Electricity from PLTSA Benowo*

Variabel ini menjelaskan jumlah produksi energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA), dan variabel ini dipengaruhi oleh *Operation Time PLTSA* dan *Power plant Capacity* atau kapasitas dari pembangkit listrik.

b. *Electricity from Rumah Kompos Bratang*

Variabel ini menjelaskan jumlah produksi energi listrik dari Rumah Kompos Bratang dan variabel ini dipengaruhi oleh *Operation Time Rumah Kompos* dan *Power plant Capacity Rumah Kompos* atau kapasitas dari pembangkit listrik Rumah Kompos.

c. *Electricity from Rumah Kompos Wonorejo*

Variabel ini menjelaskan jumlah produksi energi listrik dari Rumah Kompos Wonorejo dan variabel ini dipengaruhi oleh *Operation Time Rumah Kompos* dan

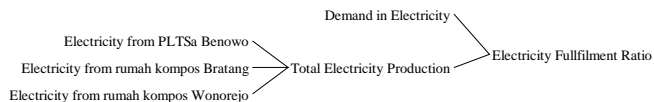
Power plant Capacity Rumah Kompos atau kapasitas dari pembangkit listrik Rumah Kompos.

Dan pada Gambar 4.7 adalah variabel yang dipengaruhi *Total Electricity Production*

Total Electricity Production ——— Electricity Fullfilment Ratio

Gambar 4.7 Variabel yang dipengaruhi oleh *Total Electricity Fullfilment Ratio*

- a. Variabel *Electricity Fullfilment Ratio* adalah variabel yang menunjukkan rasio pemenuhan yang dihasilkan oleh energi listrik bahan baku sampah sampah terhadap permintaan energi listrik.
2. *Electricity Fullfilment Ratio*
Variabel *Electricity Fullfilment Ratio* adalah variabel yang menunjukkan rasio pemenuhan yang dihasilkan oleh energi listrik bahan baku sampah sampah terhadap permintaan energi listrik. Terdapat variabel – variabel yang dapat mempengaruhi *Electricity Fullfilment Ratio*, pada Gambar 4.8 sebagai berikut



Gambar 4.8 Causes Tree *Electricity Fullfilment Ratio*

- a. *Demand in electricity*
Variabel ini menunjukkan total permintaan listrik kota Surabaya dengan satuan KWh.
 - b. *Total Electricity Production*
Electricity Production, adalah variabel yang menunjukkan total produksi energi listrik dengan bahan baku sampah setiap bulannya.
3. *Total Waste in TPA*
Variabel ini menunjukkan total jumlah sampah yang masuk ke tempat pembuangan akhir (TPA) setiap bulannya.

Pada Gambar 4.9 variabel yang mempengaruhi variabel Total Waste in TPA:

Energy Uses ——— Potential Energy from Biomassa ——— Total Waste in TPA

Gambar 4.9 Variabel yang Mempengaruhi Total Waste in TPA

a. *Potential Energi from Biomassa*

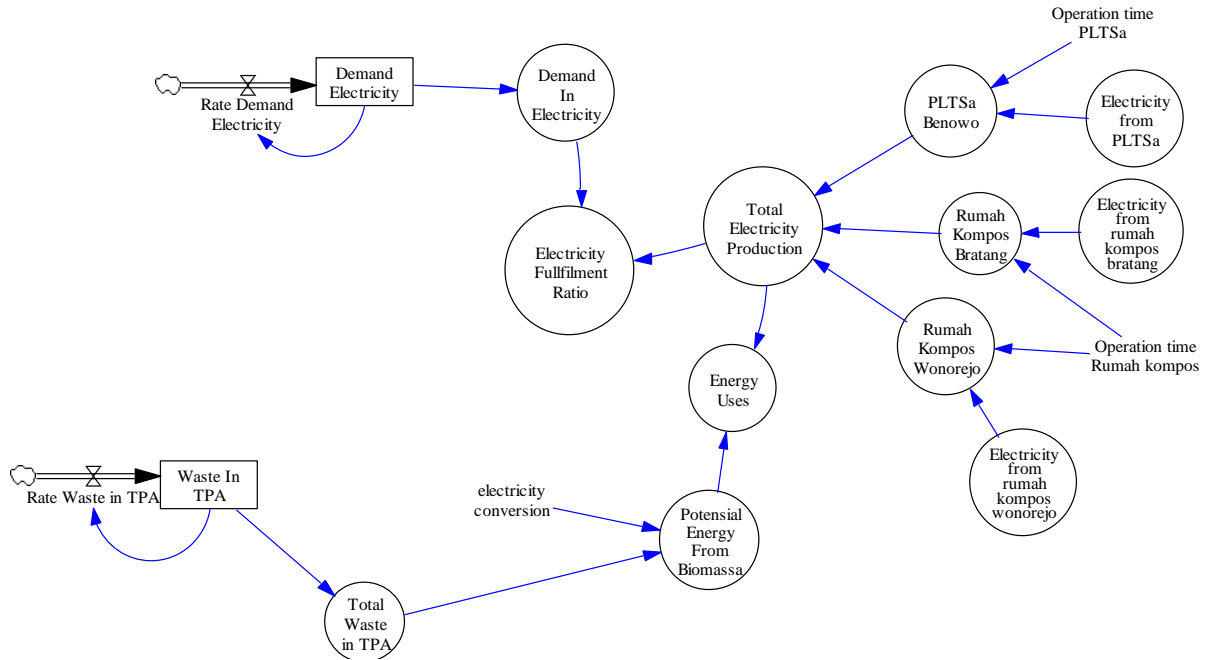
Variabel ini menunjukkan potensial energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sampah dan variabel ini mempengaruhi Energi Uses adalah total energi yang dapat diproduksi, yaitu pembagian antara *Potential Energi from Biomassa* dan *Total Electricity Production*

4.4. Diagram Flow

Tahapan selanjutnya yaitu membuat formulasi model dengan *Flow Diagram*. *Flow Diagram* berfungsi untuk menggambarkan atau mensimulasikan alur ketersediaan biodiesel berdasarkan data yang telah diolah. Sehingga dalam pembuatan *base model* ini bergantung pada proses sebelumnya, yaitu pengumpulan data. Untuk dapat membuat *Flow Diagram*, yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan faktor apa saja (di dalam sistem) yang nilainya mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Faktor tersebut akan dilambangkan sebagai *level*.
2. Menentukan laju penambahan dan pengurangan dari level serta faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhinya. Selanjutnya, laju akan dilambangkan dengan *Rate*.
3. Menentukan variabel bantu yang akan menjadi parameter dalam memenuhi tujuan awal penelitian.
4. Menentukan interval waktu yang digunakan pada simulasi sesuai dengan data yang diperoleh untuk tugas akhir. Sehingga penentuan waktu simulasi akan sama dengan periode pada data yang digunakan untuk proses validasi.

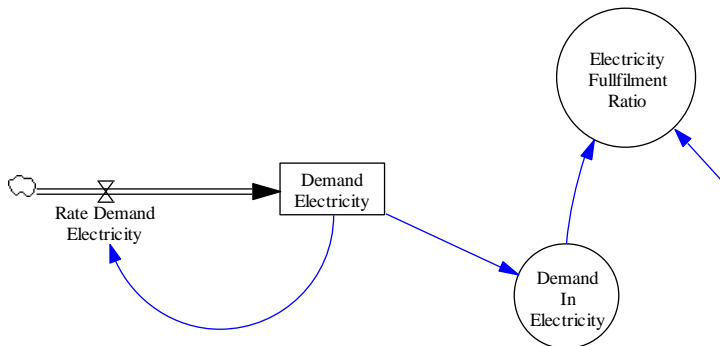
Untuk mempermudah pengamatan dan analisis, *Flow Diagram* yang telah dibuat dibagi menjadi beberapa sub-model. Pembentukan sub-model berdasarkan variabel-variabel yang signifikan terhadap studi kasus tugas akhir. Pada masing-masing sub-model akan dijelaskan mengenai formula tiap variabel yang digunakan. Formulasi tersebut didapat dari data yang telah diolah saat melakukan tinjauan pustaka maupun pengumpulan data. Diagram Flow ditunjukkan pada Gambar 4.10 dibawah ini:



Gambar 4.10 Diagram Flow

4.4.1. Sub model Electricity In Demand

Pada sub model permintaan listrik ini menunjukkan total permintaan listrik kota Surabaya dalam satuan Kilowatt. Area Surabaya dibagi menjadi tiga bagian wilayah yaitu Surabaya barat, Surabaya utara dan Surabaya selatan. Diagram flow Sub model *Electricity In Demand* ditunjukkan pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Sub Model *Electricity In Demand*

Nilai input rate demand electricity didapatkan dari hasil rata rata laju pertumbuhan demand electricity setiap bulannya. Data laju pertumbuhan dapat dilihat pada [lampiran A](#). Persamaan pada sub model ini dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut :

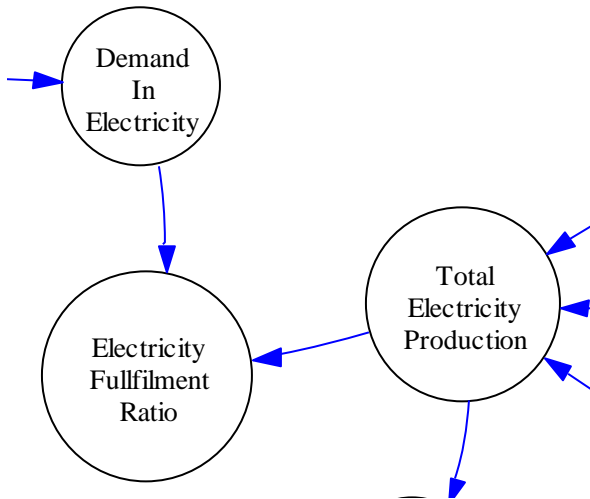
Tabel 4.3 Persamaan Sub model *Electricity In demand*

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Demand Electricity</i>	INTEG(Rate Demand Electricity Class S, 6.56588e+008	Kwh
<i>Rate Demand Electricity</i>	0.0067*Demand Electricity	

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Demand Electricity</i>	<i>in</i> Demand Electricity	Kwh

4.4.2. Sub model Electricity Fullfilment Ratio

Pada sub model electricity fullfilment ratio menunjukkan seberapa persen produksi energi listrik dari sampah akan memenuhi permintaan listrik kota Surabaya. Diagram flow *sub bab Electricity Fullfilment Ratio* dapat dilihat pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Sub Model *Electricity Fullfilment Ratio*

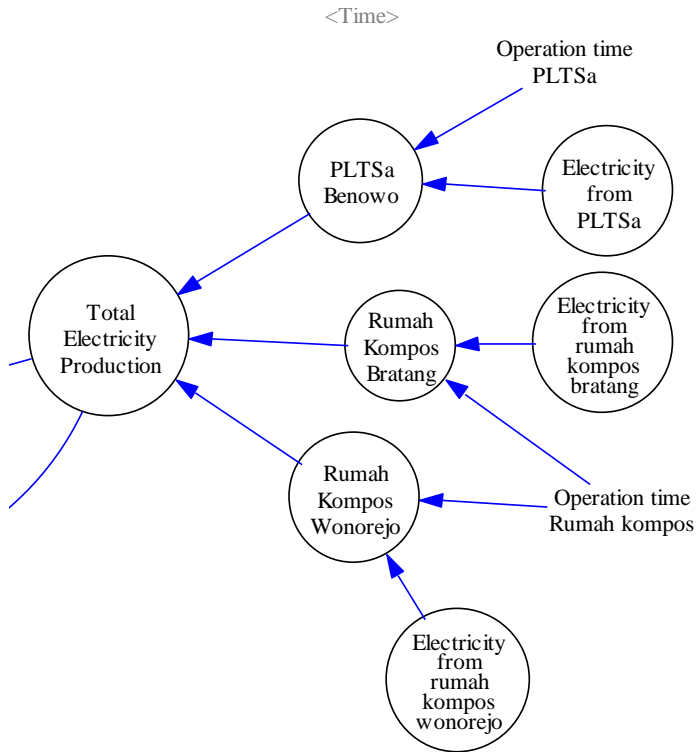
Dalam Tugas Akhir Luh made S nilai variabel rasio pemenuhan dipengaruhi oleh total produksi dan permintaan listrik. variabel ini menggambarkan seberapa banyak permintaan listrik yang berhasil dipenuhi oleh produksi listrik. Nilai rasio pemenuhan adalah hasil bagi dari produksi listrik dan permintaan listrik. pada Tabel 4.4 adalah persamaannya

Tabel 4.4 Sub Model *Electricity Fullfilment Ratio*

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Electricity Fullfilment Ratio</i>	Electricity Production/Demand In Electricity	Kwh

4.4.3. Sub model *Total Electricity Production*

Pada sub model *electricity Production* menunjukkan total produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sampah. Terdapat beberapa tempat di Surabaya yang mengolah sampah menjadi energi listrik. Untuk skala besar saat ini pada pltsa benowo memproduksi listrik sebesar 2 - 1,65 MW sedangkan yang berskala kecil yaitu rumah kompos bratang dan rumah kompos wonorejo yang menghasilkan energi masing masing 4000 watt dan 8000 watt.



Gambar 4.13 Sub Model Electricity Production

Berikut persamaan pada sub model *Total Electricity Production* ditunjukkan pada Tabel 4.5.

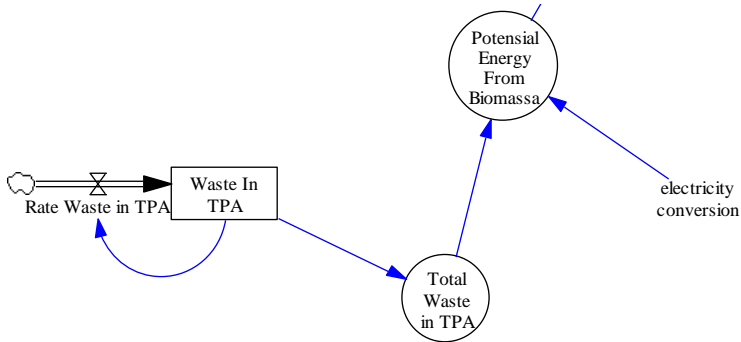
Tabel 4.5 Persamaan Sub Model Electricity Production

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Total Electricity Production</i>	PLTSA Benowo+Rumah Kompos Bratang+Rumah Kompos Wonorejo	Kwh
<i>PLTSA benowo</i>	Electricity from PLTSA*Operation time PLTSA	Kwh

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Electricity from PLTSa Benowo</i>	RANDOM UNIFORM(50167.5,60833.3, 1)	kw
<i>Operation Time PLTSa</i>	24	jam
<i>Rumah Kompos Bratang</i>	Electricity from rumah kompos bratang*Operation time Rumah kompos	Kwh
<i>Electricity from rumah kompos bratang</i>	RANDOM UNIFORM(117.6 ,121.7 , 1)	kw
<i>Rumah Kompos Wonorejo</i>	Electricity from rumah kompos wonorejo*Operation time Rumah kompos	Kwh
<i>Electricity from rumah kompos wonorejo</i>	RANDOM UNIFORM(235.3 , 243.3 , 1)	kw
<i>Operation Time Rumah Kompos</i>	12	jam

4.4.4. Sub model Potensial Energi From Biomassa

Pada sub model ini menjelaskan berapa potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh bahan baku sampah. Menurut Dr. Ir. Ari Dharmawan Pasek. Ketua Tim FS PLTSa Gedebage menyatakan bahwa dalam 1 ton/hari sampah akan menghasilkan 18 KW [18]. Diagram flow sub model *Potensial Energi From Biomassa* ditunjukkan pada Gambar 4.14



Gambar 4.14 Sub Model *Potensial Energi From Biomassa*

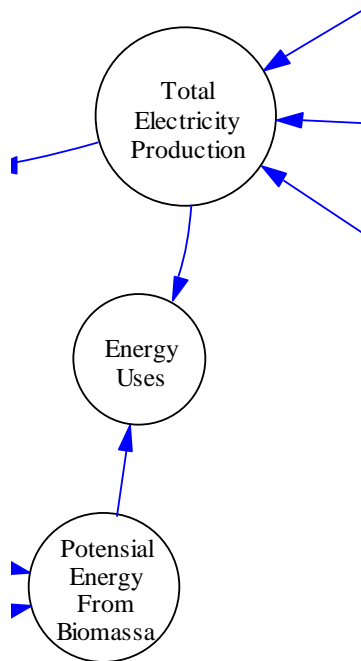
Berikut persamaan pada sub model *Potensial Energi from Biomassa* dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Persamaan *Sub Model Potensial Energi from Biomassa*

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Waste In TPA</i>	$0.006 * \text{Waste In TPA}$	ton
<i>Rate Waste In TPA</i>	INTEG (Rate Waste In TPA, 46781)	
<i>Total Waste in TPA</i>	Waste In TPA	ton
<i>Electricity Conversion</i>	432	kwh
<i>Potensial Energi From Biomasa</i>	electricity conversion * Total Waste in TPA	kwh

4.4.5. Sub model Energi uses

sub model ini menjelaskan seberapa persen energi yang telah dimanfaatkan dari seluruh potensi energi yang ada. Surabaya telah memanfaatkan sampah sebagai bahan baku energi listrik, beberapa tempat tersebut yaitu PLTSA Benowo 1,65 MW, Rumah kompos Bratang 4000 Watt, Rumah Kompos Wonorejo 8000 Watt. Diagram flow sub model *energy uses* ditunjukkan pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Sub Model Energi Uses

Berikut persamaan pada sub model Energi Uses dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Persamaan Sub Model Energi Uses

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Energy Uses</i>	Total Electricity Production/Potensial Energi From Biomassa	

4.5. Verifikasi

Verifikasi bertujuan untuk memastikan bahwa program komputer dan implementasi dari model konseptual tidak terjadi bug atau error. Melakukan checking pada program computer dan implementasinya. Error dapat disebabkan oleh berbagai macam hal misalnya; data, model konseptual, program komputer atau implementasi program.

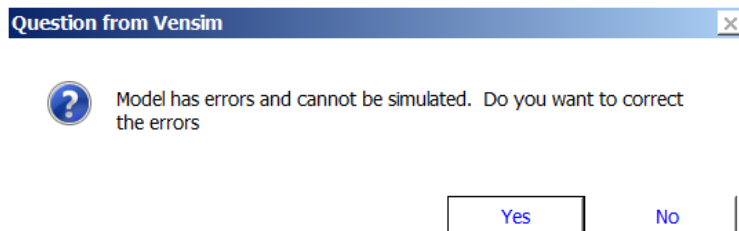
Setelah pembuatan model serta memasukkan parameter-parameter perhitungannya selesai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *running model* dengan menggunakan aplikasi Ventana Simulation (Vensim) untuk menampilkan hasil simulasinya. Apabila model yang digambarkan tidak sesuai, maka Vensim akan menampilkan peringatan kesalahan (*error*). Begitu pula sebaliknya, apabila tidak menampilkan pesan *error* maka model dapat dikatakan *verified* (bebas kesalahan).

Running model pada vensim yaitu dengan menekan tombol simulation pada toolbar seperti terlihat pada Gambar 4.16



Gambar 4.16 Running Model

Apabila model memiliki kesalahan akan muncul peringatan seperti gambar 5.17 , setelah memperbaiki model yang error menekan tombol simulation kembali apabila tidak muncul peringatan maka model sudah terverifikasi.



Gambar 5.17 Tampilan Ketika Error

4.6. Validasi

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian atau validasi model. Validasi model adalah suatu cara yang dilakukan untuk melakukan pengecekan apakah model konseptual simulasi adalah representasi akurat dari sistem yang nyata yang sedang dimodelkan [19]. Validasi model dilakukan dengan membandingkan kesesuaian data historis (yang didapat dari sumber) dengan hasil simulasi. Perbandingan ini dilakukan untuk membuktikan secara nyata bahwa data hasil simulasi telah sesuai dengan dengan data historis sehingga model yang dibuat dapat dinyatakan telah valid. Perbandingan ditunjukkan dengan grafik antara data historis data hasil simulasi *base model*.

Adapun cara yang digunakan untuk melakukan validasi adalah melalui *behaviour validity test*, yaitu mengecek apakah model yang dibuat telah menghasilkan perilaku (*behaviour output*) yang dapat diterima. Terdapat dua acara untuk melakukan validasi *behavior* yaitu dengan *mean comparison* dan variasi amplitude, ditunjukkan dengan rumus berikut [13]:

1. Perbandingan rata-rata (*mean comparison*)

$$E1 = \frac{|rata\ rata\ simulasi - rata\ rata\ data|}{rata\ rata\ data}$$

$$E1 = \text{error rate. Nilai error rate} \leq 5\%$$

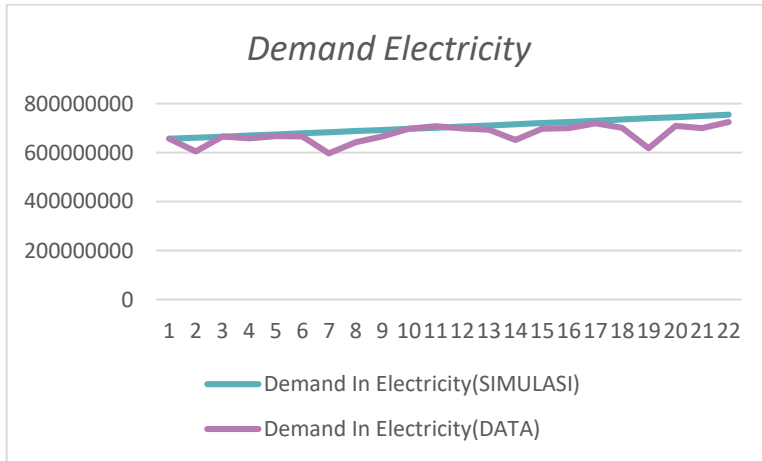
2. Perbandingan Variasi Amplitudo (*% Error Variance*)

$$E2 = \frac{|standar\ deviasi\ model - standar\ deviasi\ data|}{standar\ deviasi\ data}$$

$$E2 = \text{error rate. nilai error rate} \leq 30\%$$

4.6.1. Validasi Sub Model Electricity In Demand

Pada Gambar 4.18 menunjukkan perbandingan data historis permintaan listrik kota Surabaya dengan hasil simulasi setiap bulan yang dimulai dari januari 2015 sampai oktober 2016



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Demand Electricity Simulasi Dan Data Historis

Pada Tabel 4.8 adalah perbandingan data simulasi dan data historis *demand in electricity* dalam bentuk angka. Tahapan selanjutnya adalah melakukan *behavior validity test* untuk memastikan apakah model mampu menghasilkan output behavior yang dapat diterima ditunjukkan dengan cara *mean comparison* dan variasi amplitude. Perhitungan *behavior validity test* dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.8 Perbandingan Data Simulasi Dan Data Historis

periode	<i>Demand In Electricity(SIMULASI)</i>	<i>Demand In Electricity(DATA)</i>
1	656587968	656587744
2	660987136	604992395
3	665415744	666301578
4	669874048	658322120
5	674362176	667455985

periode	<i>Demand In Electricity(SIMULASI)</i>	<i>Demand In Electricity(DATA)</i>
6	678880384	667025383
7	683428864	596960963
8	688007808	643386942
9	692617472	666879981
10	697257984	697116026
11	701929600	708190130
12	706632512	698503090
13	711366976	694378557
14	716133120	652552287
15	720931200	697364741
16	725761408	700430683
17	730624000	720559270
18	735519168	701107590
19	740447168	618496272
20	745408192	709445411
21	750402432	700470333
22	755430144	725283586
Rata Rata	704909341.1	675082321.2
Standar Deviasi	29857979.21	35260507.89

Tabel 4.9 Validasi Model

Mean Comparison $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ ($< 5\%$)	$\frac{ 704909341.1 - 675082321.2 }{675082321.2}$ $= 0.04 \times 100\% = 4\%$	Valid
---	--	--------------

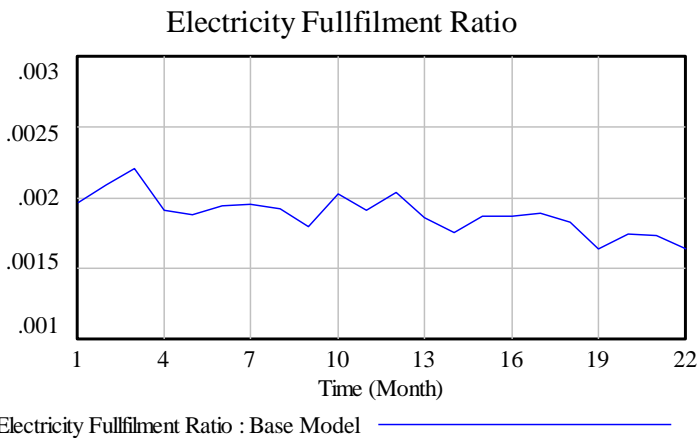
Error Variance $E2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ (< 30 %)	$\frac{ 29857979.21 - 35260507.89 }{35260507.89}$	
	= 0.15 x 100 % = 15%	

Setelah dilakukan validasi *test output behavior* menunjukkan angka *mean comparison* 4% dan *error variance* sebesar 15%. Telah terbukti bahwa model yang telah dibuat dapat diterima.

4.7. *Output Base Model*

Dari *base model* didapatkan *output* sebagai berikut:

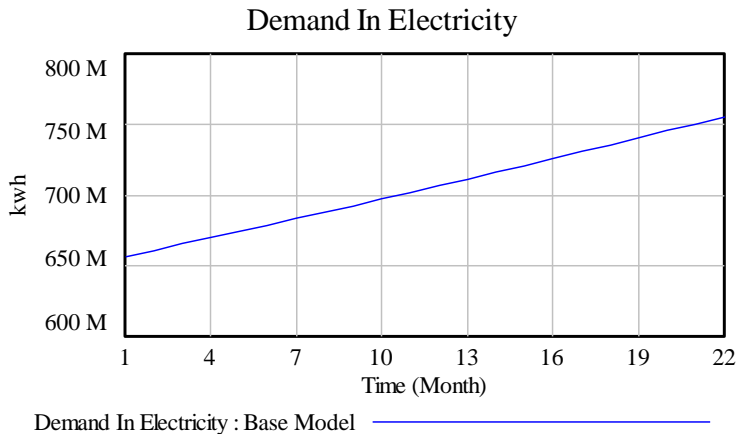
4.7.1. *Output Base Model Electricity Fulfillment Ratio*



Gambar 4.19 *Output Base Model Electricity Rasio Fulfillment*

Pada *output base model* yang ditampilkan pada gambar 4.19 menunjukkan nilai rasio pemenuhan selama 22 bulan yang setiap bulan nya mengalami penurunan dikarenakan permintaan listrik yang semakin meningkat.

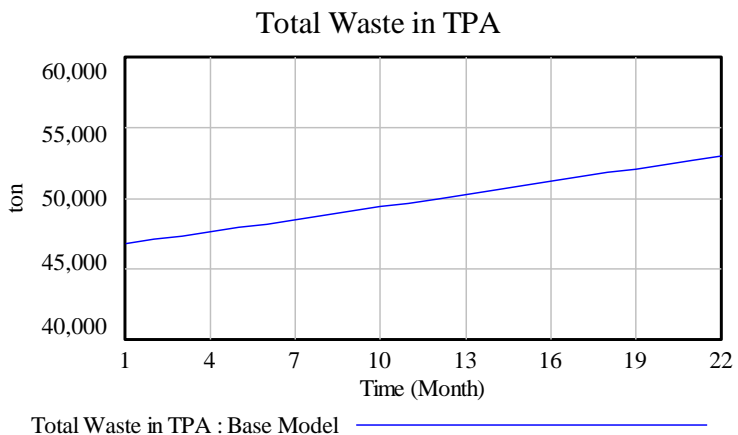
4.7.2. *Output Model Demand Electricity*



Gambar 4.20 Output Base Model Demand In Electricity

Pada *output base model* yang ditampilkan pada *Gambar 4.20* hasil dari permintaan listrik kota Surabaya selama periode 22 bulan yang setiap bulannya mengalami peningkatan.

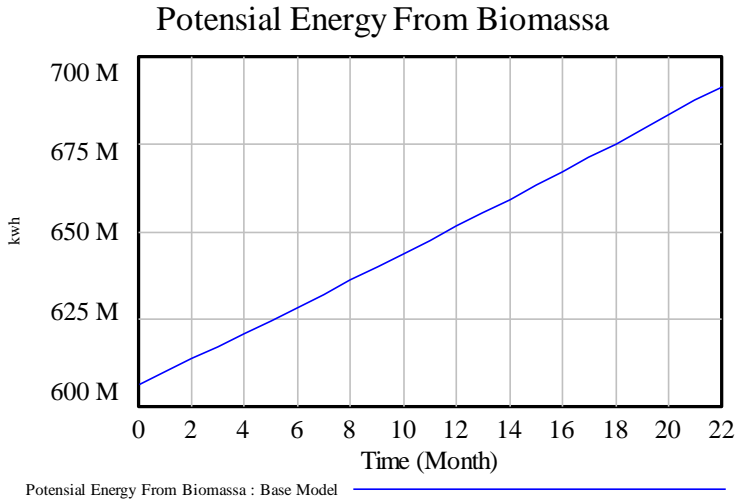
4.7.3. *Output Base Model Total Waste In TPA*



Gambar 4.21 Output Base Model Total Waste In TPA

Output base model yang ditunjukkan pada *Gambar 4.21* menampilkan total sampah dalam satuan ton yang masuk ke TPA Benowo selama 22 bulan dan setiap bulannya mengalami peningkatan

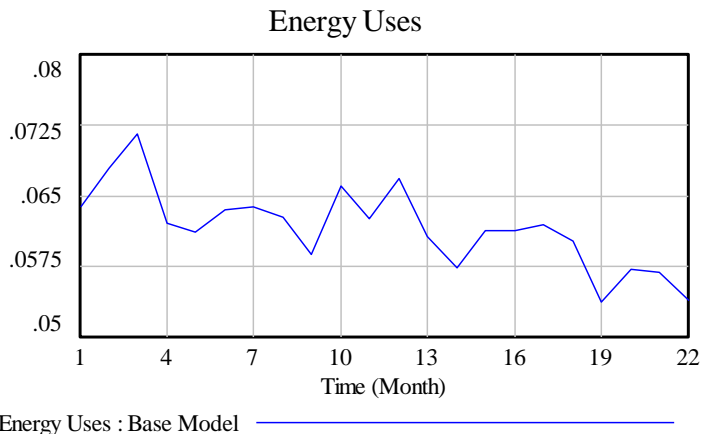
4.7.4. *Output base model potensial energi from biomassa*



Gambar 4.22 *Output Base Model Potensial Energi From Biomasa*

Output base model yang ditunjukkan pada *Gambar 4.22* menampilkan potensial energi listrik yang dihasilkan oleh sampah dalam satuan kilowatt. Dengan grafik yang terus meningkat setiap bulannya.

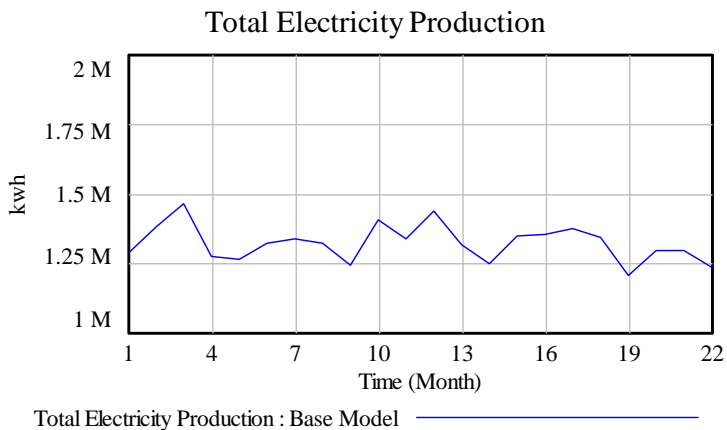
4.7.5. Output energi uses



Gambar 4.23 Output Base Model Energi Uses

Output base model yang ditunjukkan pada Gambar 4.23 menampilkan energi yang telah dimanfaatkan dari keseluruhan potensial energi yang dimiliki, pada grafik menunjukkan setiap bulannya mengalami penurunan.

4.7.6. Output Base Model Total Electricity Production



Gambar 4.24 Output Base Model Total Electricity Production

Output Base Model yang ditunjukkan oleh Gambar 4.24 menampilkan total produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTSa Benowo, Rumah Kompos Bratang dan Rumah Kompos Wonorejo.

BAB V

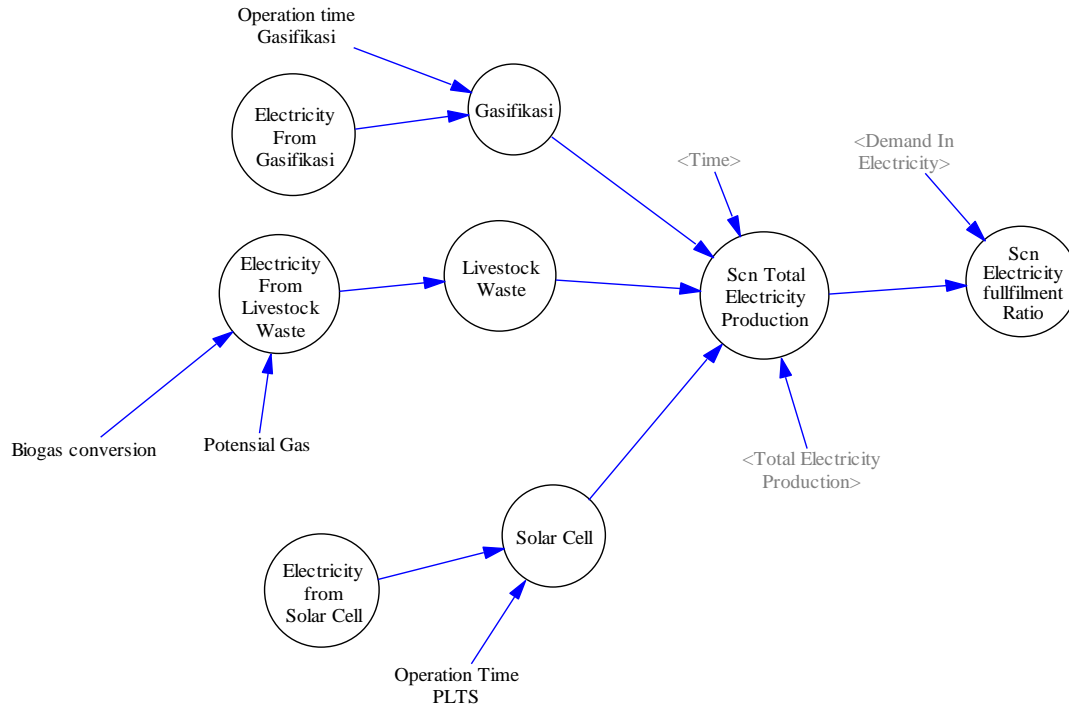
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Rancangan Skenario

Dari *base model* yang telah valid dan *verified*, tahapan berikutnya adalah skenariosasi, skenario yang akan menjadi usulan perbaikan sistem, sesuai dengan tujuan awal dari pembuatan model sistem dinamik konversi biomassa (sampah) menjadi energi listrik. Pembuatan skenario dapat dilakukan dengan menambahkan variabel dan parameter yang memiliki pengaruh dominan terhadap keseluruhan *base model*, untuk selanjutnya mengetahui dampak perubahan tersebut terhadap variabel lainnya. Dalam skenariosasi simulasi terdapat dua jenis, yaitu skenario struktur (*structure skenario*), dan skenario parameter (*parameter skenario*). Pada tugas akhir ini menggunakan skenario struktur saja. Skenario struktur digunakan dengan mengubah struktur model melalui penambahan atau pengurangan variabel, Skenario struktur digunakan untuk memberikan usulan perbaikan sesuai dengan tujuan pembuatan sistem dinamik konversi biomassa menjadi energi listrik untuk meningkatkan rasio pemenuhan permintaan listrik.

Tabel 5.10 Skenario Struktur

No	Skenario	Tujuan
1	Menambah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah berkapasitas 9 MW	Meningkatkan penggunaan EBT untuk memenuhi permintaan Listrik Kota Surabaya
2	Biogas dari Kotoran Hewan Ternak	
3	Pembangkit listrik tenaga surya(sebagai alternatif sumber energi baru terbarukan)	



Gambar 5.25 Diagram Flow Rancangan Skenario

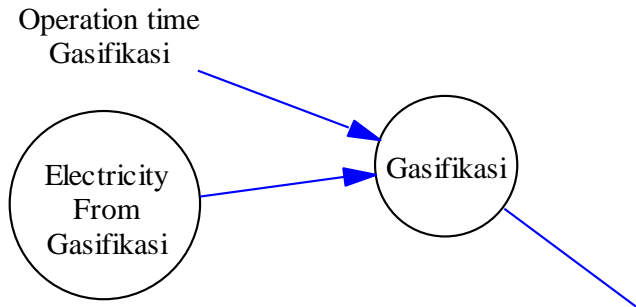
5.2. Hasil dan Implementasi Skenario

Pada sub-bab ini akan menjelaskan tentang hasil dari skenario yang telah dirancang.

5.2.1. Skenario Struktur Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Pada bagian ini, menjelaskan tentang skenario struktur untuk meningkatkan rasio pemenuhan energi listrik. Penambahan pembangkit listrik juga akan meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan di Indonesia sebagaimana pernyataan presiden joko Widodo pada Konferensi Perubahan Iklim, atau (COP 21), di Paris, Perancis, pada 30 November 2015 bahwa Indonesia akan mencapai 23 persen energi terbarukan pada 2025.

PLTSA benowo Surabaya telah menambah pembangkit listrik tenaga sampah dengan teknologi gasifikasi berkapasitas 9 MW. Teknologi gasifikasi ini akan beroperasi pada awal 2019 atau pada bulan ke 48.



Gambar 5.26 Skenario Struktur Gasifikasi

Representasi dari skenario struktur dapat dilihat pada Tabel 5.11 persamaan berikut:

Tabel 5.11 Persamaan Skenario Stuktur Gasifikasi

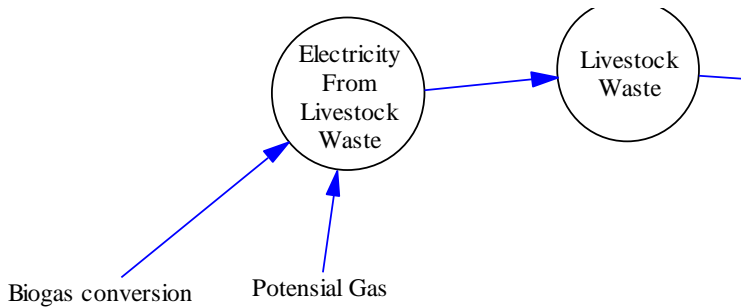
Variabel	Persamaan	Satuan
Gasifikasi	Electricity From Gasifikasi*Operation time Gasifikasi	kwh
<i>Electricity from</i> Gasifikasi	RANDOM UNIFORM(252763, 273750, 1)	kwh
<i>Operation Time</i> Gasifikasi	24	Jam

5.2.2. Biomassa dari Kotoran Ternak

Dalam meningkatkan penggunaan EBT kotoran ternak menjadi salah satu alternatif sumber energi. Kota Surabaya banyak sekali peternakan-peternakan yang memelihara berbagai macam hewan ternak. Apabila kotoran hewan ternak tersebut dimanfaatkan untuk pembuatan biogas maka akan banyak keuntungan-keuntungan dan manfaat yang akan didapatkan. Selain adanya peternakan, Kota Surabaya juga mempunyai dua Rumah Potong Hewan (RPH). Dari hewan ternak tersebut diperoleh estimasi potensi biogas sebesar 1.615.854 m³/tahun atau sebesar 4.426,99 m³/hari. Menurut buku *renewable energy conversion transmission and storage* karya Bent Sorensen, 1 m³ biogas dapat menghasilkan listrik sebesar 11,17 kwh.

Sebuah proyek energi terbarukan dimulai dari fase desain dan perencanaan yang diawali dengan *project initiation*. Selanjutnya dilakukan studi kelayakan (*feasibility study*) yang normalnya memakan waktu 6-12 bulan, tergantung skala proyeknya. Tahap selanjutnya dilakukan penandatanganan *Power Purchase Agreement* (PPA) atau Perjanjian Jual Beli Listrik (PJBL). Tahap PPA/PJBL dapat memakan waktu antara 7-8 bulan. Setelah PPA/PJBL telah ditandatangani, pengembang kemudian mencari pembiayaan yang waktunya dibatasi maksimal hingga 1 tahun.

Selanjutnya fase konstruksi, sebuah pembangkit listrik energi terbarukan biasanya membutuhkan waktu sekitar 2 tahun untuk pembangunannya. Dari mulai *feasibility study* sampai pembangunan proyek pembangkit listrik biogas dari kotoran hewan membutuhkan waktu sekiranya 5 tahun. Sehingga pada skenario ini akan dijalankan setelah lima tahun dari bulan ke 48 yaitu pada bulan ke 108. Diagram flow skenario struktur kotoran ternak dapat dilihat pada Gambar 5.27



Gambar 5.27 Skenario Struktur Kotoran Ternak (*Livestock Waste*)

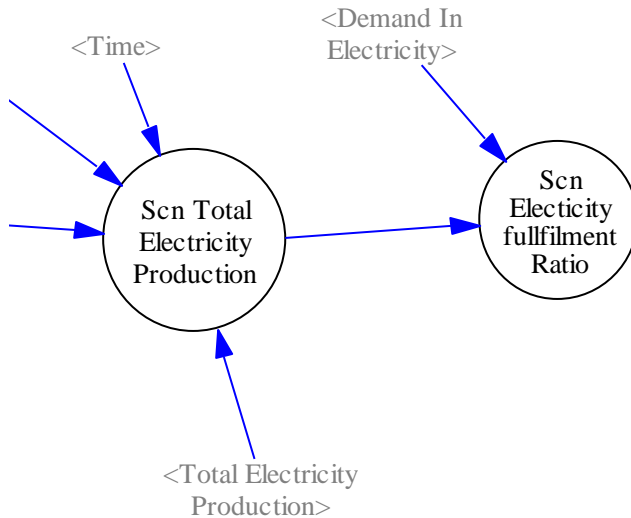
Persamaan skenario struktur biomassa dari kotoran ternak dapat dilihat pada tabel 5.12 berikut :

Tabel 5.12 Persamaan Skenario Struktur kotoran ternak (*livestock waste*)

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Biogas Conversion</i>	11,17	kwh
<i>Potensial Gas</i>	134655	Meter kubik
<i>Electricity from Livestock Waste</i>	Biogas conversion*Potensial Gas	
<i>Livestock Waste</i>	Electricity From Livestock Waste	

5.2.3. *Scn Electricity Fullfilment Ratio*

Rencana skenario pada tugas akhir ini adalah untuk melihat rasio pemenuhan energi listrik yang dihasilkan oleh energi biomassa dan sebagaimana yang tercantum dalam tujuan tugas akhir ini yaitu untuk identifikasi peningkatan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) dalam memenuhi permintaan Energi Listrik Kota Surabaya. Electricity Fullfilment ratio pada skenario stuktur ini dengan membandingkan antara total produksi energi listrik dengan permintaan energi listrik, yang menjadi total produksi listrik selain produksi listrik pada base model yaitu ditambah dengan gasifikasi dan kotoran ternak. Diagram flow *Scn Electricity fullfilment ratio* dapat dilihat pada Gambar 5.30



Gambar 5.28 Skenario *Electricity Fullfilment Ratio*

Persamaan skenario *Electricity Fullfilment Ratio* dapat dilihat pada tabel 5.13

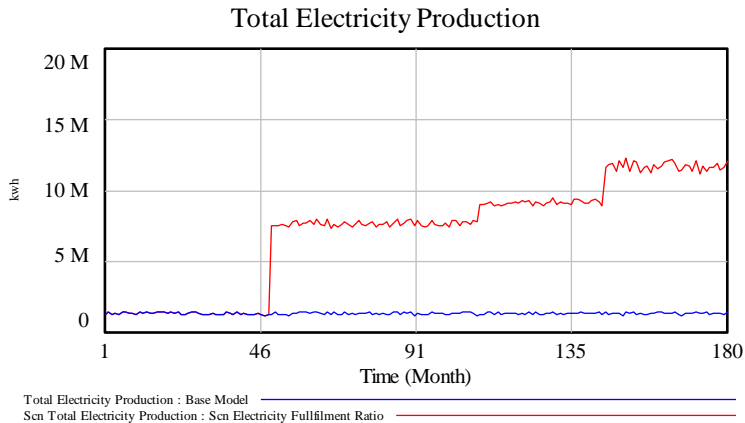
Tabel 5.13 Persamaan *Electricity Fulfillment Ratio*

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Scn Total Electricity Production</i>	IF THEN ELSE(Time<=48, Total Electricity Production , IF THEN ELSE(Time<=108, Total Electricity Production+Gasifikasi , IF THEN ELSE(Time<=180, Total Electricity Production+Gasifikasi+Livestock Waste , 0)))	kwh
<i>Scn Electricity Fullfilment Ratio</i>	Scn Total Electricity Production/Demand In Electricity	

5.3. Implementasi Skenario

Tahapan berikut menunjukkan hasil dari implementasi skenariosasi yang dilakukan pada tahapan sebelumnya. Hasil dari skenariosasi tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik.

5.3.1. Hasil Skenario Total Electricity Production

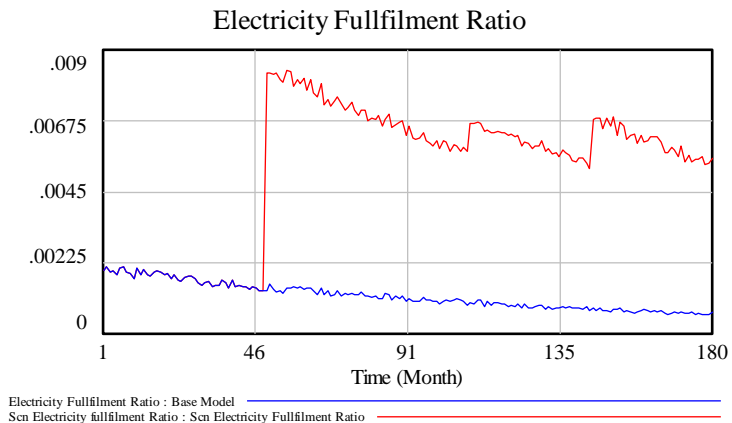


Gambar 5.29 Hasil Skenario Total Electricity Production

Pada Gambar 5.29 menunjukkan grafik total produksi listrik energi biomassa dengan time frame selama 180 bulan atau selama 15 tahun. Garis berwarna merah menunjukkan hasil skenario setelah ditambahkan pembangkit listrik gasifikasi total produksi energi listrik meningkat menjadi 7.488.790,5 kwh. Dan setelah menambahkan produksi listrik dari kotoran ternak energi yang dihasilkan menjadi sebesar 9.010.839 kwh

5.3.2. Hasil Skenario Electricity fulfillment ratio

Skenario yang dirancang pada tugas akhir ini adalah untuk meningkatkan *Electricity Fulfillment Ratio* atau rasio pemenuhan energi listrik untuk membantu memenuhi permintaan energi listrik



Gambar 5.30 Hasil Skenario *Electricity Fullfilment Ratio*

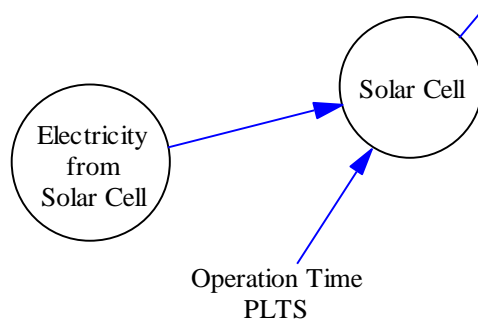
Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 5.30 memperlihatkan hasil dari rancangan skenario. Garis berwarna merah yaitu hasil dari rancangan skenario pada bulan ke 48 mengalami peningkatan karena telah ditambahkan pembangkit listrik tenaga sampah dengan teknologi gasifikasi rasio pemenuhan energi listrik meningkat menjadi 0,8%, karena permintaan listrik setiap bulan nya terus meningkat sehingga rasio pemenuhan energi listrik terus menurun tiap bulan nya. Pada bulan ke 108 menurun hingga menjadi 0,6%. Pada bulan ke 109 menambahkan produksi listrik dengan memanfaatkan kotoran ternak rasio pemenuhan energi listrik menjadi 0,7% dan nilai rasio pemenuhan terus menurun setiap bulan nya.

Dilihat dari rasio pemenuhan yang akan semakin menurun, untuk itu diperlukan alternatif lain untuk membantu dalam meningkatkan *fulfillment ratio* dengan energi terbarukan. Dari semua potensial energi baru terbarukan yang ada di Surabaya salah satu yang memungkinkan adalah energi surya dikarenakan kota Surabaya sudah menyediakan lahan untuk pembangkit listrik tenaga surya.

5.3.3. Skenario Struktur Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Surabaya telah merencanakan Sebuah Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Kota Surabaya telah menyiapkan lahan sebesar 10 ha, menurut Presiden Direktur PT Tambang Batu Bara Bukit Asam (Persero) Tbk (PTBA) setiap 2 ha lahan dapat menampung solar cell berkapasitas 1MW. Dengan demikian lahan 10 ha mendapatkan pembangkit listrik tenaga surya berkapasitas 5 MW. Berkaca dari PLTS oelpuah NTT yang berkapasitas 5 MWp, setiap harinya mampu menghasilkan 3-4 MW. Hal tersebut selain memanfaatkan energi terbarukan dapat pula membantu dalam pemenuhan permintaan listrik.

Proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga surya membutuhkan waktu sekitar 3 tahun dengan rincian dari mulai feasibility studi selama 6-12 bulan, Power Purchase Agreement (PPA) atau Perjanjian Jual Beli Listrik (PJBL) sebagaimana diatur dalam Permen ESDM No. 19 / 2016, PT PLN (Persero) dan pengembang PLTS wajib menandatangani PJBL dalam jangka waktu paling lama 1 bulan sejak penetapan sebagai pemenang pelelangan kuota kapasitas PLTS.tahap selanjutnya pembiayaan, pengembang PLTS wajib mencapai pemenuhan pembiayaan (financial close) untuk kebutuhan pembangunan fisik PLTS dalam jangka waktu paling lambat 6 bulan, dan pembangunan untuk PLTS selama 12 bulan. Diagram flow skenario struktur cell surya dapat dilihat pada Gambar 5.31



Gambar 5.31 Skenario Struktur cell Surya

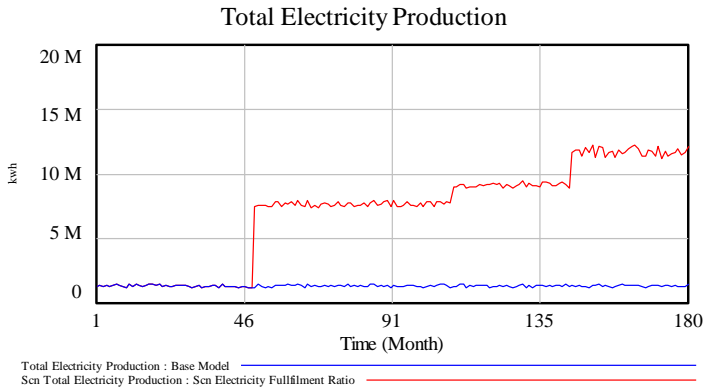
Representasi dari skenario struktur dapat dilihat dari persamaan pada tabel 5.14:

Tabel 5.14 Persamaan Skenario Stuktur *cell* surya

Variabel	Persamaan	Satuan
<i>Solar Cell</i>	Electricity from Solar Cell*Operation Time PLTS	kwh
<i>Electricity from Solar Cell</i>	RANDOM UNIFORM(91250 , 121667 , 1)	kwh
<i>Operation Time PLTS</i>	24	jam

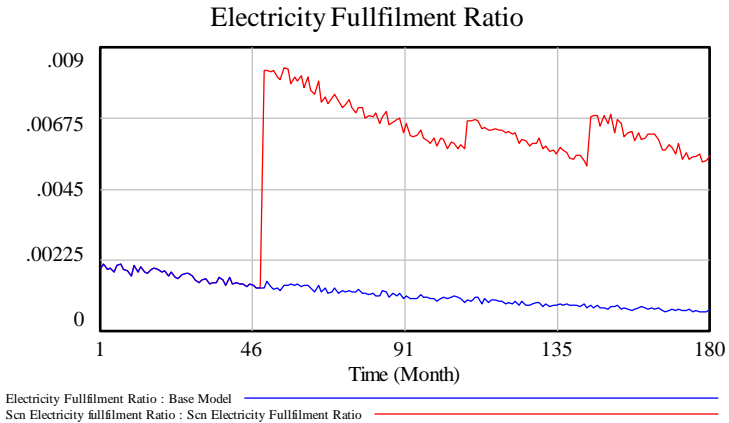
Pada skenario proyek pembangkit listrik tenaga cell surya membutuhkan waktu pengerjaan sekitar 3 tahun yang menjadikan proyek pembangkit listrik tenaga surya akan berjalan pada bulan 144.

5.3.4. Hasil Skenario Setelah Penambahan Variabel *Solar Cell*



Gambar 5.32 Hasil Skenario *Total Electricity Production* Setelah Penambahan *Solar Cell*

Pada Gambar 5.32 menunjukan total produksi listrik Setelah ditambahkan energi dari cell surya produksi energi listrik menjadi 11.664.213 kwh. Detail angka produksi energi listrik dapat dilihat pada Lampiran B



Gambar 6.33 Hasil Skenario *Electricity Fullfilment Ratio* Setelah Penambahan *Solar Cell*

Pada gambar 5.33 menunjukkan rasio pemenuhan energi listrik mengalami penurunan setelah menambahkan energi dari proses gasifikasi dan kotoran ternak menurun sampai menjadi 0,5%. Energi surya ditambahkan setelah bulan ke 144, setelah ditambahkan energi dari cell surya, rasio pemenuhan energi listrik menjadi 0,7%. Setelah dihitung rata rata laju pertumbuhan rasio pemenuhan energi listrik sebesar 0,025. Hasil detail dari skenario dapat dilihat pada Lampiran B

5.4. Resume Skenario

Berdasarkan skenario yang telah dibuat, maka dapat disimpulkan beberapa skenario tersebut untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh, yang dijabarkan dalam Tabel 5.15

Tabel 5.15 Resume Skenario

Skenario	Deskripsi	Hasil
Menambah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah gasifikasi dan energi listrik dari kotoran ternak	Skenario ini menambahkan variabel untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan dan untuk meningkatkan rasio pemenuhan energi listrik	Berdasarkan dengan menambahkan variabel ini total produksi listrik meningkat menjadi 7.488.790,5 kwh Dan setelah menambahkan produksi listrik dari kotoran ternak energi yang dihasilkan menjadi sebesar 9.010.839 kwh. Untuk rasio pemenuhan energi listrik meningkat menjadi 0,7% dan

Skenario	Deskripsi	Hasil
		menurun sampai 0,5%
Menambahkan energi dari cell surya (dalam membantu meningkatkan rasio pemenuhan)		Setelah ditambahkan energi dari cell surya produksi energi listrik menjadi 11.664.213 kwh. Setelah menambahkan energi dari cell surya rasio pemenuhan energi listrik meningkat menjadi 0,7%

BAB VI

SARAN DAN KESIMPULAN

Pada bab ini dibahas mengenai kesimpulan dari semua proses yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk pengembangan yang lebih baik. Melalui pengembangan model berdasarkan kondisi saat ini (*base model*) dan skenario, kesimpulan diambil dari proses simulasi menggunakan metode sistem dinamik.

6.1. Kesimpulan

1. Total Permintaan listrik kota Surabaya menurut data PLN disjatim pada januari 2015 sebesar 656.587.744 Kwh dengan laju pertumbuhan sebesar 0,0067 selama 22 bulan
2. Potensi biomassa dengan memanfaatkan sampah kota sebagai sumber energi alternatif untuk pembangkitan PLTsa sangat melimpah di Kota Surabaya. Kota Surabaya telah mempunyai PLTsa Benowo yang berada di Surabaya yang mampu memproduksi listrik sebesar 1,65 MW
3. Model yang digunakan dalam tugas akhir ini telah valid, dimana validasi menggunakan mean comparison $\leq 5\%$ dan error variance $< 30\%$
4. Pengembangan model menggunakan skenario struktur untuk meningkatkan pemenuhan energi listrik. Kota Surabaya telah merencanakan penambahan pembangkit listrik dengan teknologi gasifikasi dan identifikasi peningkatan pemanfaatan EBT untuk memenuhi permintaan listrik kota Surabaya dengan memanfaatkan biogas dari kotoran ternak, kota Surabaya mempunyai dua Rumah Potong Hewan (RPH). Dari hewan ternak tersebut diperoleh estimasi potensi biogas sebesar 1.615.854 m³/tahun atau sebesar 4.426,99 m³/hari.. Selain energi biomassa, untuk meningkatkan rasio pemenuhan energi listrik pada skenario ini menambahkan energi listrik tenaga surya. Surabaya telah merencanakan Sebuah Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya. dengan menyiapkan lahan sebesar 10 ha. Menurut Presiden Direktur PT

Tambang Batu Bara Bukit Asam (Persero) Tbk (PTBA) setiap 2 ha lahan dapat menampung solar cell berkapasitas 1MW. Dengan demikian lahan 10 ha mendapatkan pembangkit listrik tenaga surya berkapasitas 5 MW.

5. Setelah dilakukan skenariosasi pada *base model* maka total produksi listrik meningkat menjadi 7.488.790,5 kwh Dan setelah menambahkan produksi listrik dari kotoran ternak energi yang dihasilkan menjadi sebesar 9.010.839 kwh. Untuk rasio pemenuhan energi listrik meningkat menjadi 0,7% dan menurun sampai 0,5%. Setelah ditambahkan energi dari cell surya produksi energi listrik menjadi 11.664.213 kwh. Setelah menambahkan energi dari cell surya rasio pemenuhan energi listrik meningkat menjadi 0,7%.

6.2. Saran

Dari pengerjaan tugas akhir ini terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki lagi. Oleh karena itu, untuk pengembangan yang lebih baik lagi berikut adalah beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Konsep model pada tugas akhir ini hanya untuk melihat seberapa besar pemanfaatan energi baru terbarukan untuk memenuhi permintaan listrik kota Surabaya. Oleh karena itu, Perlunya diadakan penelitian lebih lanjut mengenai energi terbarukan sebagai sumber energi listrik. Dan skenario yang dilakukan dengan mengasumsikan pengerjaan proyek pembangunan pembangkit listrik dilakukan setelah proyek sebelumnya selesai.
2. Kota Surabaya mempunyai beberapa potensi sumber energi terbarukan diantaranya adalah sinar matahari, kotoran ternak, sampah kota, sampah pertanian, limbah cair, minyak jelantah. Dengan adanya penelitian ini diharapkan pemerintah kota Surabaya mempertimbangkan untuk melakukan pemanfaatan energi terbarukan walaupun

dengan skala kecil untuk mendukung Indonesia mencapai 23 persen energi terbarukan pada tahun 2025.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM, 2008. [Online]. Available: <http://www.esdm.go.id/>.
- [2] A. H. Kuncoro and S. D. H, "Studi Proyeksi Permintaan Energi Jangka Panjang dengan Program MAED," in *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*, Jakarta Badan Tenaga Nuklir Nasional., 2011.
- [3] A. S. Suntana, K. A. Vogt, E. C. Turnblom and R. Upadhye, "Bio-methanol potential in Indonesia: Forest biomass as a source of bio-energy that reduces carbon emissions," *Applied Energy*, no. 86, p. S215–S221, 2009.
- [4] J. Dai, H. Cui and J. Grace, "Biomass feeding for thermo chemical reactors," *Progress Energy Combust Sci*, no. 38, pp. 16-36, 2012.
- [5] B. Conserve energy future, 2013. [Online]. Available: <http://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-biofuels.php>.
- [6] J. Tumuluru, T. W. Christopher, K. Kenny and J. R. Hess, 2010. [Online]. Available: <http://www.inl.gov/technicalpublications/documents/4886679.pdf>.
- [7] P. A. Filho and O. Badr, "Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil," *Appl Energy*, no. 77, pp. 51-67, 2004.
- [8] E. I. e. technology, "Biomass for power generation and CHP," 2007.
- [9] D. A. Swadowski, W. D. Kelton and Randall P Sadowski, *Simulation with arena*, 2nd ed., Mc Graw Hill.

- [10 D. J. Wishart, modeling, simulation, testing, and optimization of advance hybrid, canada, 2008.
- [11 M. A, Introduction to modeling and simulation, new york USA, 1997.
- [12 Y. Barlas, "Model Validation in System Dynamic," in *International System Dynamic Conference*, Turkey, 1994.
- [13 J. D. Sterman, Business Dynamic : System Thingking and Modeling for a complex world, S. Isenberg, Ed., Massachusetts Institute of Technology: Jeffrey J Shelstad , 2000.
- [14 S. Y. C. ., H. C. Erma suryani, "Demand Scenario Analysis and Planned Capacity Expansion," *Simulation modeling practice ad theory*, pp. 732-751, 2010.
- [15 J. Zhou. [Online]. Available: <https://systemsandus.com/2012/08/15/learn-to-read-clds/>.
- [16 R. G. Sargent, "VERIFICATION AND VALIDATION OF SIMULATION MODELS," in *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Syracuse, N.Y. 13244, U.S.A., 2007.
- [17 Safrizal, "DISTRIBUTED GENERATION PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH KOTA (PLTSa) TYPE INCINERATOR SOLUSI LISTRIK ALTERNATIF KOTA MEDAN," *Prosiding SNATIF KE-1*, 2014.
- [18 L. & W. D. Kelton, Simulation Modeling & Analysis, second edition, McGraw-Hill, 1991.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Cililin Bandung Barat pada tanggal 15 Februari 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan *formal* yaitu: SDN Litasembada Cililin lulus pada tahun 2006, SMP Sumur Bandung *Islamic Boarding School* lulus pada tahun 2009, dan MA Sumur Bandung *Islamic Boarding School* yang lulus pada tahun 2012 dan meneruskan pendidikan di Jurusan Sistem Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun yang sama Melalui jalur Beasiswa dari Kementrian Agama (PBSB) dan terdaftar sebagai mahasiswi dengan NRP 0521240007004. Selama menjadi mahasiswa, penulis tertarik mengikuti kegiatan ekstra kampus seperti organisasi kemahasiswaan dan kepanitiaan. Penulis menjadi staff Departemen kominfo di Organisasi CSS MoRA ITS Berbagai kegiatan lain yang pernah diikuti seperti menjadi komite YELP sebagai Dokumentasi dan Publikasi, komite OSSPEN, ABSEN dan berbagai kegiatan kemahasiswaan lainnya. Pada tahun ketiga kuliah, penulis memiliki pengalaman bekerja praktik di PT. PLN Distribusi Jawa Timur pada bagian Teknologi Informasi, selama 1 bulan. Penulis dapat dihubungi melalui email: tikaramdany@gmail.com

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN A

➤ Permintaan Listrik Kota Surabaya

PERIODE	SBB	SBU	SBS	TOTAL
Jan-15	155,431,727	192,126,883	309,029,134	656,587,744
Feb-15	141,782,599	180,085,093	283,124,703	604,992,395
Mar-15	156,165,352	197,470,200	312,666,026	666,301,578
Apr-15	150,773,937	197,873,606	309,674,577	658,322,120
May-15	150,210,834	202,079,154	315,165,997	667,455,985
Jun-15	153,880,027	199,041,783	314,103,573	667,025,383
Jul-15	131,144,525	180,930,856	284,885,582	596,960,963
Aug-15	144,923,466	193,380,698	305,082,778	643,386,942
Sep-15	153,580,756	195,549,249	317,749,976	666,879,981
Oct-15	154,237,038	211,295,124	331,583,864	697,116,026
Nov-15	158,435,044	212,580,490	337,174,596	708,190,130
Dec-15	153,401,405	213,630,637	331,471,048	698,503,090
Jan-16	160,006,980	207,847,077	326,524,500	694,378,557
Feb-16	150,168,821	196,380,818	306,002,648	652,552,287
Mar-16	156,165,097	210,492,938	330,706,706	697,364,741
Apr-16	159,054,734	211,818,999	329,556,950	700,430,683
May-16	159,586,460	216,329,015	344,643,795	720,559,270
Jun-16	158,340,578	208,798,798	333,968,214	701,107,590
Jul-16	136,357,568	186,556,065	295,582,639	618,496,272
Aug-16	162,219,005	210,817,367	336,409,039	709,445,411
Sep-16	155,258,904	209,675,301	335,536,128	700,470,333
Oct-16	162,977,234	218,714,739	343,591,613	725,283,586

➤ Laju Pertumbuhan **Permintaan Listrik Kota Surabaya**

PERIODE	RATE
Jan-15	-0.07858
Feb-15	0.101339
Mar-15	-0.01198
Apr-15	0.013874
May-15	-0.00065
Jun-15	-0.10504
Jul-15	0.077771
Aug-15	0.036515
Sep-15	0.04534
Oct-15	0.015886
Nov-15	-0.01368
Dec-15	-0.0059
Jan-16	-0.06024
Feb-16	0.068673
Mar-16	0.004396
Apr-16	0.028737
May-16	-0.027
Jun-16	-0.11783
Jul-16	0.147049
Aug-16	-0.01265
Sep-16	0.035424
Oct-16	0.004994
Rata Rata	0.0067

➤ **Sampah di TPA Benowo**

Periode	Volume Sampah (Ton) DATA
1	46781
2	44751
3	49949
4	47169
5	46208
6	43643
7	40467
8	42713
9	40414
10	44147
11	45070
12	47852
13	47223
14	47015
15	48581
16	45820
17	47521
18	49693
19	43772
20	46330
21	45753
22	51303
Rata Rata	46008

➤ **Rate Jumlah Sampah TPA Benowo**

periode	RATE SAMPAH
1	-0.043
2	0.116
3	-0.056
4	-0.020
5	-0.056
6	-0.073
7	0.056
8	-0.054
9	0.092
10	0.021
11	0.062
12	-0.013
13	-0.004
14	0.033
15	-0.057
16	0.037
17	0.046
18	-0.119
19	0.058
20	-0.012
21	0.121
Rata Rata	0.006

LAMPIRAN B

➤ Output skenariosasi Scn Electricity Fullfilment Ratio

Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio	Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio	Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio
1	0.00199	61	0.00773	121	0.00634
2	0.00212	62	0.00806	122	0.00625
3	0.00195	63	0.00764	123	0.00628
4	0.00202	64	0.00751	124	0.00596
5	0.00186	65	0.00794	125	0.0061
6	0.00207	66	0.00724	126	0.00604
7	0.00213	67	0.00744	127	0.00587
8	0.00196	68	0.0072	128	0.00593
9	0.00192	69	0.00739	129	0.00594
10	0.00176	70	0.00749	130	0.0061
11	0.00208	71	0.00729	131	0.00577
12	0.00187	72	0.00707	132	0.00587
13	0.00202	73	0.00717	133	0.00572
14	0.00187	74	0.00735	134	0.00572
15	0.00182	75	0.00708	135	0.00562
16	0.00193	76	0.00693	136	0.00583
17	0.00199	77	0.00709	137	0.00574
18	0.00197	78	0.0071	138	0.00566
19	0.00189	79	0.00674	139	0.0055
20	0.00193	80	0.00682	140	0.00547
21	0.00175	81	0.00678	141	0.00555
22	0.00188	82	0.00692	142	0.00557
23	0.00168	83	0.00657	143	0.00541
24	0.00167	84	0.00679	144	0.00524

Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio	Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio	Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio
25	0.00179	85	0.00695	145	0.00679
26	0.00182	86	0.00653	146	0.00684
27	0.00182	87	0.00661	147	0.00683
28	0.00176	88	0.00672	148	0.00648
29	0.00162	89	0.00673	149	0.00683
30	0.00153	90	0.0063	150	0.00657
31	0.00161	91	0.0066	151	0.00686
32	0.00167	92	0.00622	152	0.00629
33	0.0015	93	0.00615	153	0.0067
34	0.00153	94	0.00618	154	0.0066
35	0.00155	95	0.00638	155	0.00614
36	0.00172	96	0.00612	156	0.0063
37	0.00163	97	0.00605	157	0.00632
38	0.00145	98	0.00596	158	0.00602
39	0.0017	99	0.00611	159	0.00627
40	0.00151	100	0.00587	160	0.00608
41	0.00153	101	0.00614	161	0.00612
42	0.00151	102	0.00609	162	0.00623
43	0.00149	103	0.00579	163	0.00624
44	0.00141	104	0.006	164	0.00626
45	0.0015	105	0.00595	165	0.00607
46	0.00144	106	0.00578	166	0.00576
47	0.00136	107	0.00592	167	0.00574
48	0.00136	108	0.0058	168	0.00592
49	0.00828	109	0.00667	169	0.00583
50	0.00828	110	0.00665	170	0.0056
51	0.00824	111	0.00669	171	0.00594

Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio	Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio	Time (Month)	Scn Electricity fullfilment Ratio
52	0.00825	112	0.00667	172	0.00543
53	0.00806	113	0.00642	173	0.00566
54	0.00797	114	0.00645	174	0.00544
55	0.00833	115	0.00637	175	0.00553
56	0.00829	116	0.00639	176	0.00552
57	0.00784	117	0.00642	177	0.00561
58	0.00806	118	0.00635	178	0.00535
59	0.00792	119	0.00637	179	0.00539
60	0.00811	120	0.0063	180	0.00559

➤ Rata –rata pertumbuhan Electricity Fullfilment Ratio

periode	Rate	periode	Rate	periode	Rate
1	0.065327	61	0.042691	121	-0.0142
2	-0.080189	62	-0.05211	122	0.0048
3	0.035897	63	-0.01702	123	-0.05096
4	-0.079208	64	0.057257	124	0.02349
5	0.112903	65	-0.08816	125	-0.00984
6	0.028986	66	0.027624	126	-0.02815
7	-0.079812	67	-0.03226	127	0.010221
8	-0.020408	68	0.026389	128	0.001686
9	-0.083333	69	0.013532	129	0.026936
10	0.181818	70	-0.0267	130	-0.0541
11	-0.100962	71	-0.03018	131	0.017331
12	0.080214	72	0.014144	132	-0.02555
13	-0.074257	73	0.025105	133	0
14	-0.026738	74	-0.03673	134	-0.01748
15	0.06044	75	-0.02119	135	0.037367

periode	Rate	periode	Rate	periode	Rate
16	0.031088	76	0.023088	136	-0.01544
17	-0.01005	77	0.00141	137	-0.01394
18	-0.040609	78	-0.0507	138	-0.02827
19	0.021164	79	0.011869	139	-0.00545
20	-0.093264	80	-0.00587	140	0.014625
21	0.074286	81	0.020649	141	0.003604
22	-0.106383	82	-0.05058	142	-0.02873
23	-0.005952	83	0.033486	143	-0.03142
24	0.071856	84	0.023564	144	0.295802
25	0.01676	85	-0.06043	145	0.007364
26	0	86	0.012251	146	-0.00146
27	-0.032967	87	0.016641	147	-0.05124
28	-0.079545	88	0.001488	148	0.054012
29	-0.055556	89	-0.06389	149	-0.03807
30	0.052288	90	0.047619	150	0.04414
31	0.037267	91	-0.05758	151	-0.08309
32	-0.101796	92	-0.01125	152	0.065183
33	0.02	93	0.004878	153	-0.01493
34	0.013072	94	0.032362	154	-0.0697
35	0.109677	95	-0.04075	155	0.026059
36	-0.052326	96	-0.01144	156	0.003175
37	-0.110429	97	-0.01488	157	-0.04747
38	0.172414	98	0.025168	158	0.041528
39	-0.111765	99	-0.03928	159	-0.0303
40	0.013245	100	0.045997	160	0.006579
41	-0.013072	101	-0.00814	161	0.017974
42	-0.013245	102	-0.04926	162	0.001605
43	-0.053691	103	0.036269	163	0.003205
44	0.06383	104	-0.00833	164	-0.03035

periode	Rate	periode	Rate	periode	Rate
45	-0.04	105	-0.02857	165	-0.05107
46	-0.055556	106	0.024221	166	-0.00347
47	0	107	-0.02027	167	0.031359
48	5.088235	108	0.15	168	-0.0152
49	0	109	-0.003	169	-0.03945
50	-0.004831	110	0.006015	170	0.060714
51	0.001214	111	-0.00299	171	-0.08586
52	-0.02303	112	-0.03748	172	0.042357
53	-0.011166	113	0.004673	173	-0.03887
54	0.045169	114	-0.0124	174	0.016544
55	-0.004802	115	0.00314	175	-0.00181
56	-0.054282	116	0.004695	176	0.016304
57	0.028061	117	-0.0109	177	-0.04635
58	-0.01737	118	0.00315	178	0.007477
59	0.02399	119	-0.01099	179	0.037106
60	-0.046856	120	0.006349	180	
Rata –rata					0.32

➤ Rata –rata pertumbuhan Electricity Fullfilment Ratio

Periode	Rate	Periode	Rate	Periode	Rate
1	0.076846	61	0.049917	121	0.016393
2	-0.07686	62	-0.04576	122	0.016129
3	0.04191	63	-0.01116	123	0.015873
4	-0.07227	64	0.064384	124	0.015625
5	0.122354	65	-0.08216	125	0.015385
6	0.036324	66	0.034844	126	0.015152
7	-0.07625	67	-0.02561	127	0.014925
8	-0.01105	68	0.03322	128	0.014706

Periode	Rate	Periode	Rate	Periode	Rate
9	-0.07937	69	0.020443	129	0.014493
10	0.190042	70	-0.02084	130	0.014286
11	-0.09606	71	-0.02395	131	0.014085
12	0.092204	72	0.021558	132	0.013889
13	-0.06885	73	0.03234	133	0.013699
14	-0.02175	74	-0.03122	134	0.013514
15	0.070793	75	-0.01412	135	0.013333
16	0.036013	76	0.029293	136	0.013158
17	-0.00281	77	0.008449	137	0.012987
18	-0.03655	78	-0.04416	138	0.012821
19	0.031392	79	0.018515	139	0.012658
20	-0.09095	80	0.00068	140	0.0125
21	0.083298	81	0.027877	141	0.012346
22	-0.09805	82	-0.04465	142	0.012195
23	-0.00316	83	0.040267	143	0.012048
24	0.079255	84	0.030762	144	0.011905
25	0.026192	85	-0.05446	145	0.011765
26	0.006723	86	0.02024	146	0.011628
27	-0.02863	87	0.022416	147	0.011494
28	-0.07029	88	0.008958	148	0.011364
29	-0.05082	89	-0.0579	149	0.011236
30	0.057267	90	0.054903	150	0.011111
31	0.043716	91	-0.05098	151	0.010989
32	-0.09097	92	-0.00544	152	0.01087
33	0.020784	93	0.012466	153	0.010753
34	0.025528	94	0.039452	154	0.010638
35	0.112307	95	-0.03527	155	0.010526
36	-0.04224	96	-0.00397	156	0.010417
37	-0.10769	97	-0.00906	157	0.010309

Periode	Rate	Periode	Rate	Periode	Rate
38	0.178444	98	0.032623	158	0.010204
39	-0.10157	99	-0.03337	159	0.010101
40	0.020243	100	0.052446	160	0.01
41	-0.00847	101	7.77E-06	161	0.009901
42	-0.00995	102	-0.04433	162	0.009804
43	-0.04289	103	0.043513	163	0.009709
44	0.072364	104	-0.00068	164	0.009615
45	-0.03924	105	-0.02348	165	0.009524
46	-0.04688	106	0.032399	166	0.009434
47	0.005593	107	-0.01494	167	0.009346
48	5.13712	108	0.159023	168	0.009259
49	0.007135	109	0.003726	169	0.009174
50	0.001294	110	0.012419	170	0.009091
51	0.008108	111	0.003478	171	0.009009
52	-0.01625	112	-0.03161	172	0.008929
53	-0.00487	113	0.011609	173	0.00885
54	0.052921	114	-0.0053	174	0.008772
55	0.000874	115	0.009445	175	0.008696
56	-0.048	116	0.012649	176	0.008621
57	0.03571	117	-0.00426	177	0.008547
58	-0.0105	118	0.008427	178	0.008475
59	0.030104	119	-0.00428	179	0.008403
60	-0.03979	120	0.013656	180	
Rata rata					0.25

➤ Hasil skenario Total Electricity Production

Time (Month)	Scn Total Electricity Production	Time (Month)	Scn Total Electricity Production	Time (Month)	Scn Total Electricity Production
1	1303420.25	61	7579528	121	9275971
2	1403582.5	62	7957873.5	122	9213477
3	1295707.125	63	7593719.5	123	9305387
4	1350010.375	64	7508941.5	124	8899361
5	1252451.25	65	7992400	125	9161544
6	1405694.25	66	7335737	126	9134939
7	1456755	67	7591345	127	8935000
8	1345677.125	68	7396942	128	9098908
9	1330808.125	69	7642669	129	9162472
10	1225176.25	70	7798905	130	9480287
11	1458011.5	71	7636389	131	9029713
12	1317959.625	72	7453522	132	9248266
13	1439480.25	73	7614204	133	9064831
14	1340374.5	74	7860448	134	9132874
15	1311226	75	7615069.5	135	9032111
16	1404052.25	76	7507564	136	9421719
17	1454616.25	77	7727486	137	9353403
18	1450524.75	78	7792778	138	9274337
19	1397507.875	79	7448665	139	9081191
20	1441378.125	80	7586576	140	9078253
21	1310290.5	81	7591737.5	141	9288842
22	1419434.75	82	7803373	142	9382579
23	1280264.875	83	7454973	143	9170142
24	1276221.25	84	7755161.5	144	8937660
25	1377368.625	85	7993727.5	145	11664213
26	1413444.25	86	7558389.5	146	11831154
27	1422946.5	87	7711374.5	147	11887218

Time (Month)	Scn Total Electricity Production	Time (Month)	Scn Total Electricity Production	Time (Month)	Scn Total Electricity Production
28	1382209.25	88	7884229.5	148	11350862
29	1285060.625	89	7954860	149	12056746
30	1219753.75	90	7494286	150	11671188
31	1289605.875	91	7905748.5	151	12255011
32	1345981.75	92	7502741	152	11317096
33	1223539.125	93	7461925	153	12147051
34	1248969.25	94	7554942.5	154	12038098
35	1280853.125	95	7853000	155	11277512
36	1424701.5	96	7576022	156	11639924
37	1364522	97	7545923	157	11752059
38	1217572.625	98	7477577	158	11277310
39	1434841.125	99	7721518	159	11823869
40	1289106.25	100	7463881	160	11539556
41	1315202.25	101	7855335	161	11690516
42	1304065.75	102	7855396	162	11990486
43	1291090.75	103	7507199	163	12095581
44	1235716	104	7833856	164	12212749
45	1325137.875	105	7828508	165	11920802
46	1273144	106	7644721	166	11380694
47	1213458.25	107	7892402	167	11426362
48	1220245.125	108	7774514	168	11861270
49	7488790.5	109	9010839	169	11749938
50	7542222	110	9044414	170	11362352
51	7551983.5	111	9156740	171	12130090
52	7613212.5	112	9188583	172	11160761
53	7489465.5	113	8898102	173	11724198
54	7452979	114	9001403	174	11332816

Time (Month)	Scn Total Electricity Production	Time (Month)	Scn Total Electricity Production	Time (Month)	Scn Total Electricity Production
55	7847395.5	115	8953671	175	11604077
56	7854251	116	9038241	176	11661289
57	7477267	117	9152568	177	11926095
58	7744279	118	9113535	178	11457895
59	7662935	119	9190338	179	11624988
60	7893617	120	9151007	180	12126881

LAMPIRAN C

➤ Foto-foto Rumah Kompos Bratang



