



TESIS - IS185401

**PENGEMBANGAN MODEL SOLAR ENERGY
SEBAGAI STRATEGI DIVERSIFIKASI GREEN
ENERGY DALAM KONSEP UNIVERSITAS
BERKELANJUTAN DENGAN MENGGUNAKAN
SIMULASI SISTEM DINAMIK
(STUDI KASUS: KOTA SURABAYA)**

**AYASOPHIA ARISHINTA
05211250010027**

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

Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

(Halaman sengaja dikosongkan)



TESIS - IS185401

**DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGY MODELS AS
A GREEN ENERGY DIVERSIFICATION STRATEGY
IN THE CONCEPT OF SUSTAINABLE UNIVERSITY
USING SIMULATION OF DYNAMIC SYSTEMS
(CASE STUDY: ITS SURABAYA)**

AYASOPHIA ARISHINTA

05211250010027

Supervisor

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

Departement of Information System

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2020

(Halaman sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

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

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

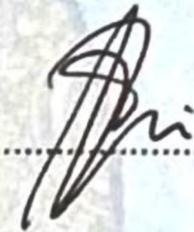
AYASOPHIA ARISHINTA

NRP: 05211250010027

Tanggal Ujian: 30 Januari 2020
Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing:

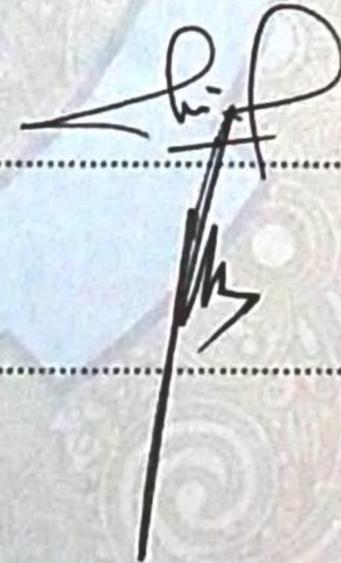
1. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 197004272005012001



.....

Penguji:

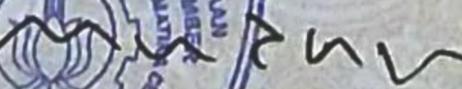
1. Mahendrawathi ER, S.T., M.Sc, Ph.D
NIP: 197610112006042001
2. Dr. Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom
NIP: 197302191998021001



.....

Kepala Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas




Dr. Mudlahidin, S.T., M.T
NIP: 197010102003121001

HALAMAN PERSEMBAHAN

*" Knowledge without action is insanity,
and action without knowledge is vanity"*

[Ilmu tanpa amal adalah kegilaan, dan amal tanpa ilmu adalah kesia-siaan]

- Imam Ghazali -

Tesis ini kupersembahkan untuk orang-orang yang kucintai:

- Kedua Orang Tuaku Mama dan Papa,
- Ibuk Jujuk (almh),
- Dadang dan Keluarga,
- Sabeth dan Keluarga,
- Didit dan Keluarga,

~ Terimakasih untuk segala sesuatunya ~

PENGEMBANGAN MODEL SOLAR ENERGY SEBAGAI STRATEGI DIVERSIFIKASI GREEN ENERGY DALAM KONSEP UNIVERSITAS BERKELANJUTAN DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI SISTEM DINAMIK (STUDI KASUS: ITS SURABAYA)

Nama mahasiswa : Ayasophia Arishinta
NRP : 05211250010027
Pembimbing : Erma Suryani, Ph.D

ABSTRAK

Energi saat ini mempunyai peranan yang sangat signifikan dalam kehidupan manusia. Dimana selama ini penyangga utama kebutuhan energi masih mengandalkan sumber energi fosil yang semakin langka dan mahal harganya. Pemerintah berupaya melakukan efisiensi energi melalui program diversifikasi energi dengan mendukung pengembangan sumber energi terbarukan (EBT) sebagai bentuk konservasi green energy. Studi potensi energi surya regional merupakan dasar untuk menentukan strategi yang dibuat oleh pemerintah, lembaga, investor dan pengembang proyek.

Penerapan green energy di kampus merupakan salah satu bentuk sustainability baik dalam framework sustainable university maupun sustainable energy itu sendiri. Beberapa indikator yang dapat dijadikan acuan minimal untuk pengembangan diversifikasi energy skala kampus antara lain: penggunaan listrik; kapasitas produksi sumber energi terbarukan; kontribusi pengurangan pemanasan global maupun pengembangan pendidikan dan penelitian.

Universitas sendiri memiliki peran penting dan strategis dalam pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) di Indonesia. Untuk memastikan bahwa Indonesia dapat mencapai 17 tujuan, 169 target dan lebih dari 300 indikator pada tahun 2030. Dalam konteks ini, setidaknya ada dua aspek penting yang terkait langsung dengan universitas: 'Pendidikan' dan 'Inovasi', sehingga diperlukan partisipasi aktif dan kontribusi signifikan dari semua pihak. Sehingga diharapkan tercipta budaya dan lingkungan belajar dan bekerja yang kondusif.

Latar belakang penelitian ini, untuk mengeksplere tentang penggunaan energi skala kampus dengan mempertimbangkan 3 faktor sustainability, yaitu ekonomi, sosial dan lingkungan.

Sedangkan tujuan dalam penelitian ini adalah memodelkan pengembangan green energy “solar” dengan pendekatan sistem dinamik yang fleksibel, sehingga mampu diciptakan dan dikembangkan penggunaan energi terbarukan (EBT) skala kampus sebagai inisiatif dan strategi lembaga dalam mengembangkan konsep sustainability university dengan menyesuaikan karakteristik dan potensi setiap universitas untuk menyesuaikan policy yang akan dibuat pemangku kepentingan dalam menentukan arah keberlanjutan lembaga sehingga mampu menciptakan value added yang mampu dioptimalkan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu dapat dijadikan pilot model dalam sustainability development yang digunakan untuk merencanakan dan merumuskan kebijakan dan pengambilan keputusan terkait pengembangan green energy skala kampus. Dengan mencoba berbagai skenario terhadap pengembangan sustainability university secara terintegrasi sebagai alat perencanaan dan pengambilan keputusan khususnya dalam mengukur dampak sosial, ekonomi dan lingkungan secara simultan dari suatu intervensi kebijakan di masa yang akan datang.

Kata kunci: *solar energy, sustainable energy, green campus, sustainable university, system dynamic modelling*

**DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGY MODELS AS A
GREEN ENERGY DIVERSIFICATION STRATEGY IN THE
CONCEPT OF SUSTAINABLE UNIVERSITY USING
SIMULATION OF DYNAMIC SYSTEMS
(CASE STUDY: ITS SURABAYA)**

Student name: Ayasophia Arishinta

NRP: 05211250010027

Supervisor: Erma Suryani, Ph.D

ABSTRACT

Current energy has a very significant role in human life. Where so far the main buffer of energy needs still rely on fossil energy sources which are increasingly scarce and expensive. The government is trying to make energy efficiency through an energy diversification program by supporting the development of renewable energy sources (EBT) as a form of green energy conservation. The study of regional solar energy potential is the basis for determining strategies made by governments, institutions, investors and project developers.

The application of green energy on campus is one form of sustainability both within the framework of sustainable universities and sustainable energy itself. Some indicators that can be used as a minimum reference for developing campus-scale energy diversification include: the use of electricity; production capacity of renewable energy sources; the contribution of reducing global warming and developing education and research.

The university itself has an important and strategic role in achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) in Indonesia. To ensure that Indonesia can achieve 17 goals, 169 targets and more than 300 indicators by 2030. In this context, there are at least two important aspects directly related to universities: 'Education' and 'Innovation', so active participation and significant contributions are needed. from all parties. So that it is expected to create a conducive culture and learning and work environment.

The background of this research, to explore the use of campus-scale energy by considering 3 factors of sustainability, namely economic, social and environmental.

While the aim of this research is to model the development of "solar" green energy with a flexible dynamic system approach, so as to be able to create and develop campus-scale renewable energy (EBT) as an initiative and strategy of the institution in developing the concept of university sustainability by adjusting the characteristics and potential of each university to adjust the policy that will be made by stakeholders in determining the direction of the institution's sustainability so as to create value added that can be optimized.

The results of this study are expected to be able to be used as a pilot model in sustainability development that is used to plan and formulate policies and decision-making related to campus-scale green energy development. By trying out various scenarios for the integrated development of university sustainability as a planning and decision-making tool especially in measuring social, economic and environmental impacts simultaneously from a policy intervention in the future.

Keywords: *solar energy, sustainable energy, green campus, sustainable university, dynamic modeling system*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul **“Pengembangan Model Solar Energy Sebagai Strategi Kebijakan Diversifikasi Green Energy Dalam Konsep Universitas Berkelanjutan Dengan Menggunakan Simulasi Sistem Dinamik (Studi Kasus: Kampus ITS Surabaya)”** ini sesuai dengan harapan. Salawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya hingga akhir zaman.

Penulisan tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Komputer pada Program Pascasarjana Bidang Keahlian Sistem Informasi Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dalam penyusunan dan penulisan tesis ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak.

Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa, restu, nasehat dan dukungan baik moril maupun materiil hingga tidak akan sanggup penulis untuk membalasnya.
2. Ibu Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing tesis yang selalu tidak kenal lelah memberikan bimbingan, motivasi serta waktunya selama penelitian , penyusunan dan penyelesaian tesis.
3. Bapak Dr. Mudjahidin, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Sistem Informasi yang telah membantu memberikan arahan, dukungan, serta motivasi selama penelitian , penyusunan dan penyelesaian tesis.

4. Ibu Mahendrawathi E.R., S.T., M.Sc., Ph.D dan Bapak Dr. Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom. selaku penguji tesis yang telah banyak memberikan masukan dan arahan yang membangun selama pengerjaan tesis ini.
5. Bapak Dr. Apol Pribadi Subriadi, S.T., M.T. yang selama ini selalu bijaksana memberikan arahan, dukungan, serta motivasi selama penelitian , penyusunan dan penyelesaian tesis.
6. Ibu Hatma (Teknik Lingkungan); ibu Dian dan ibu Irhamah (UP4-Smart Eco Campus); bapak Samsul, bapak Fedwi, bapak Yudi dan ibu Sovie (Bagian dan Prasarana) untuk bantuan informasi dan data untuk penelitian ini.
7. Mbak Vian; mbak Rini serta seluruh staf dosen dan staf tata usaha Program Pascasarjana Bidang Keahlian Sistem Informasi Jurusan Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya yang telah banyak membantu selama ini.
8. Saudara-saudara ku tersayang : keluarga Dadang; keluarga Sabeth; keluarga Didit...terima kasih untuk segala sesuatunya.
9. Almh. Mbak Yuli; mbk Mamik; Sinta; Ayu; Uilly; Reisa; Puput...terima kasih sudah menjadi sahabat yang selalu mengingatkan dalam kebaikan serta kebersamaan nya selama ini.
10. Mas Prasetyo'13; mas Purnama'13; mbak Dhina'18; mbak Mala'18; mas Fizar'18 dan teman – teman seperjuangan Ujian Hidup yang saling mendukung, saling membantu, dan saling memberi semangat untuk bersama-sama berjuang menyelesaikan tesis.
11. Keluarga om Amang dan mbak Yayuk; keluarga om Naryo dan mbak Heny; keluarga mbak Titin; keluarga om Kunto dan mbak Nunung; keluarga mbak Lies; tante Sih; bude Eni dan tante Endang atas semua bantuannya selama penulis di Surabaya.
12. Seluruh teman – teman satu angkatan maupun satu jurusan di Program Pascasarjana Bidang Keahlian Sistem Informasi Jurusan Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya yang selalu senantiasa berbagi ilmu.
13. Dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis menyelesaikan tesis ini.

Semoga segala dukungan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang berlipat ganda sebagai amal saleh dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penulisan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun sebagai bahan acuan penelitian kedepannya. Akhir kata semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis pribadi pada khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	17
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	17
1.4. Tujuan Penelitian.....	18
1.5. Kontribusi Penelitian.....	19
BAB 2	21
KAJIAN PUSTAKA	21
2.1 Dasar Teori	21
2.1.1 Energi Baru Terbarukan (EBT).....	21
2.1.1.1 Peraturan Pemerintah, Peraturan Menteri terkait	22
2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	26
2.1.3 Harga Listrik EBT	33
2.1.4 Analisis Ekonomi	37
2.1.5 Analisis Teknologi	40
2.1.6 Pembangunan Berkelanjutan (<i>Sustainable Development</i>)	44
2.1.7 Energy Sustainability	47
2.1.8 Corporate Sustainability	54
2.1.9 Green Campus (Green University).....	56
2.1.10 ITS Smart Eco-Campus.....	63
2.1.11 Emisi GRK	65
2.1.12 Sistem dan Model Simulasi Sistem Dinamik.....	70
2.2 Penelitian Terdahulu.....	75
2.2.1 Penelitian terkait PLTS dan EB T	75

2.2.2	Penelitian terkait Sustainable University	84
2.2.3	Penelitian terkait Emisi Karbon dari Energi	86
BAB 3	.....	91
METODE PENELITIAN	.....	91
3.1.	Observasi Awal	92
3.2.	Menetapkan Fokus Penelitian	92
3.3.	Kajian Pustaka	93
3.4.	Pengumpulan Data	95
3.5.	Menentukan Indikator dan Variabel Signifikan.....	95
3.6.	Pengembangan Model Simulasi.....	96
3.6.1.	Tahap Pengembangan <i>Causal-Loop Diagram</i>	96
3.6.2.	Tahap Pengembangan <i>Stock and Flow Diagram</i>	98
3.6.3.	Tahap Penentuan Ekuasi	98
3.6.4.	Tahap Simulasi	98
3.6.5.	Tahap Uji Validasi	99
3.7.	Tahap Pemodelan Skenario.....	100
3.8.	Analisis Hasil Simulasi	101
3.9.	Kesimpulan dan Saran	101
3.10.	Jadwal Penelitian	102
BAB 4	.....	103
HASIL PEMBAHASAN	.....	103
4.1.	Pengumpulan Data	103
4.1.1	Key Performance Indicators Diversifikasi Energi	105
4.1.2	Data Sekunder dalam Diversifikasi Energi.....	107
4.1.3	Data Primer dalam Diversifikasi Energi.....	109
4.2.	Pemodelan Sistem Berdasarkan Kondisi Saat Ini (<i>Existing Data</i>).....	111
4.2.1	Model Diversifikasi Energi di Kampus ITS Surabaya	112
4.2.2	Model Dampak Penggunaan Energi secara Sosial dan Lingkungan	116
4.3.	Validasi Model.....	118
4.3.1.	Validasi Model Penggunaan Listrik	118
4.4.	Model Skenario.....	121
4.4.1	Skenario Model Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)..	122
4.5.	Pertimbangan Kelayakan secara Teknis-Ekonomis.....	128
BAB 5	.....	132

KESIMPULAN dan SARAN	132
5.1 KESIMPULAN	132
5.2 SARAN	133
DAFTAR PUSTAKA.....	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Potensi Energi Fosil Indonesia-Jenis Minyak dan Gas	1
Gambar 1.2. Potensi Energi Fosil Indonesia-Jenis Batubara	2
Gambar 1.3. Realisasi Bauran Energi Pembangkit Listrik 2017	3
Gambar 1.4. Realisasi Bauran Energi Pembangkit Listrik 2017	4
Gambar 1.5. Target Bauran Energi Pembangkit Listrik 2025	5
Gambar 1.6. Kebutuhan energi finar per jenis secara nasional.....	5
Gambar 1.7. Permintaan Energi per Jenis wilayah Jawa dan Bali-Skenario RPJMN, Region Jawa-Bali	6
Gambar 1.8. Permintaan Energi wilayah Jawa dan Bali -Skenario RPJMN, Region Jawa-Bali.....	7
Gambar 1.9. Potensi EBT (non fosil) Indonesia	9
Gambar 1.10. Bauran Energi Indonesia (2013-2050)	11
Gambar 1.11. Permen ESDM No.28 Tahun 2016	14
Gambar 2.12. Intensitas Radiasi Matahari Wilayah Surabaya.....	25
Gambar 2.13. Perbedaan Solar Thermal dan PLTS	26
Gambar 2.14 <i>PLTS Off-grid System</i>	28
Gambar 2.15 <i>On-grid System</i>	29
Gambar 2.16 <i>Hybrid System</i>	29
Gambar 2.17 Susunan Modul PV (Photovoltaics Report, 2016)	30
Gambar 2.18 Perbandingan Harga Jual per Jenis Pembangkit	34
Gambar 2.19 <i>Utility-scale solar PV: Total installed costs in 2018 by component and country</i>	35
Gambar 2.20 Analisis Keekonomian PLTS 2019	37
Gambar 2.21 Ilustrasi Rincian Biaya sebuah proyek PLTS dengan skala kapasitas 1 MW dan 5 MW	38
Gambar 2.22 Contoh Sumber Data Radiasi Matahari.....	41
Gambar 2.23 Susunan Modul PV (Photovoltaics Report, 2016)	42
Gambar 2.24 Dimensi Sustainability	45
Gambar 2.25 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) Indonesia.....	46
Gambar 2.26 Tiga Aspek Lingkungan Berkelanjutan (GreenMetric 2018)	57
Gambar 2.27 Kriteria dan Indikator UI Green Matric	58
Gambar 2.28 Penurunan Emisi GRK Sektor Energi.....	65
Gambar 2.29 Target Pemerintah terkait Penurunan Emisi GRK.....	65
Gambar 2.30. Pendekatan Sektorial Perhitungan Emisi GRK	67
Gambar 2.31 Pendekatan Referensi Perhitungan Emisi GRK.....	68
Gambar 2.32 Logo pada Stock and Flow Diagram.....	71
Gambar 2.33 Gambar 2.11. Contoh Diagram <i>Stock and Flow</i>	72

Gambar 2.34 Contoh <i>Causal Loops Diagram</i>	74
Gambar 2.35 Visual letak Solar PV pada rumah di Jl. Keputih 1 no 43 Surabaya	76
Gambar 2.36. <i>keyword</i> dengan pembagian tiga dimensi keberlanjutan	86
Gambar 2.37 Zona Analisis Penggunaan Jalan pada Kampus ITS Surabaya	88
Gambar 2.38 Diagram Alur Metodologi Penelitian	91
Gambar 3.39 Causal Loop Diagram secara Umum pada pengembangan diversifikasi Renewable Energy Kampus ITS Surabaya.....	97
Gambar 4.40 KPI Kebijakan Pengembangan RE kampus ITS Surabaya.....	106
Gambar 4.41 8 Zona Jalan Kawasan ITS Surabaya	111
Gambar 4.42 Base Model Diversifikasi Energi di kampus ITS Surabaya	113
Gambar 4.43 Sub Model Kebutuhan Energi Listrik.....	113
Gambar 4.44 Gafik Hasil Simulasi Kebutuhan Energi Listrik dari Gardu Rektorat dan Gardu Kampus	114
Gambar 4.45 Sub Model Kapasitas Produksi Solar Energi.....	115
Gambar 4.46 Grafik Hasil Simulasi Kapasitas Produksi Solar Energi.....	115
Gambar 4.47 Sub Model Transportasi di wilayah Kampus ITS Surabaya.....	116
Gambar 4.48 Hasil Simulasi Sub Model Transportasi	117
Gambar 4.49 Sub Model Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau terhadap Populasi.	117
Gambar 4.50 Grafik Perbandingan Kebutuhan Listrik dari Gardu Rektorat dan Gardu Kampus dan Total Kebutuhan Listrik	119
Gambar 4.51 Grafik Perbandingan Kebutuhan Data Listrik dari Gardu Rektorat dengan Hasil Simulasi	119
Gambar 4.52 Grafik Perbandingan Kebutuhan Data Listrik dari Gardu Kampus dengan Hasil Simulasi	120
Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Total Kebutuhan Listrik dengan Kebutuhan Gardu Rektorat dan Kebutuhan Gardu Kampus - Hasil Simulasi	121
Gambar 4.54 Kebutuhan Daya Listrik kampus ITS Surabaya dari meter 2 gardu	122
Gambar 4.55 Kebutuhan Listrik Gardu Rektorat	123
Gambar 4.56 Kebutuhan Listrik Gardu Kampus.....	124
Gambar 4.57 Total Kebutuhan Listrik Kampus ITS Surabaya	124
Gambar 4.58 Total Kebutuhan Daya PLTS kampus ITS Surabaya	125
Gambar 4.59 Rasio Pemenuhan Kapasitas Produksi PLTS dengan Total Kebutuhan Listrik.....	126
Gambar 4.60 Diversifikasi Energi dari PLTS terhadap Listrik.....	126
Gambar 4.61 Rasio Pemenuhan PLTS terhadap Listrik.....	127
Gambar 4.62. Rasio Pemenuhan PLTS terhadap Listrik.....	128
Gambar 4.63 Skenario Model Perhitungan Payback Period (PP) Investasi PLTS	129

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Tabel Pasokan Energi Primer (2015-2050).....	4
Tabel 2.1. Intensitas matahari di Indonesia.....	25
Tabel 2.3. Perbandingan teknis PLTS dengan teknologi genset.....	27
Tabel 2.4. Jenis PLTS	28
Tabel 2.5 Perbandingan Harga Listrik : EBT dengan Fosil per 2018	33
Tabel 2.6 Paradigma Dimensi <i>Sustainability</i>	46
Tabel 2.7 <i>Energy Indicators for Sustainable Development</i> (EISD).....	49
Tabel 2.8 Kategori dan indikator Penataan dan Infrastruktur	59
Tabel 2.9 Kategori dan indikator Energi dan Perubahan Iklim	59
Tabel 2.10 Kategori dan indikator Limbah	60
Tabel 2.11 Kategori dan indikator Air	61
Tabel 2.12 Kategori dan indikator Transportasi	61
Tabel 2.13 Kategori dan indikator Pendidikan dan Penelitian.....	62
Tabel 2.14. Nilai GWP.....	66
Tabel 2.15 Nilai Kalor dan Faktor Emisi Bahan Bakar	70
Tabel 2.16 Faktor Emisi Peralatan Tak Bergerak dan Bergerak.....	70
Tabel 2.17 Faktor Emisi Pembakaran Stasioner di Bangunan Komersial (kg GRK per TJ Nilai Kalor Netto)	70
Tabel 2.18. Variabel Signifikan Kesuksesan Proyek Pembangkit Listrik Energi Panas Bumi	79
Tabel 2.19 Variabel Signifikan	79
Tabel 2.20 Identifikasi Data Kelayakan Pembangunan PLTBG Provinsi Jawa Timur.....	82
Tabel 2.21 Variabel Kesuksesan Proyek Pembangkit Listrik Energi <i>Biogas</i>	83
Tabel 2.22 Indikator sistem transportasi berkelanjutan kota Surabaya.....	87
Tabel 2.23 Jumlah Kendaraan ITS Surabaya 2010-2017.....	89
Tabel 2.24 Panjang Jalan Tiap Zona di ITS Surabaya	89
Tabel 3.25 Penelitian sebelumnya.....	94
Tabel 3.26. Website rujukan	94
Tabel 3.27. Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	102
Tabel 4.28 Data sekunder yang digunakan dalam <i>framework sustainable development</i>	104
Tabel 4.29 Data sekunder yang digunakan pada <i>framework energy sustainable</i>	104
Tabel 4.30. Data sekunder yang digunakan pada <i>framework greenmetrix</i>	105
Tabel 4.31 Indikator (<i>key performance indicator</i>) Sistem Pengembangan <i>Renewable Energy</i> Kampus ITS Surabaya	107
Tabel 4.32 Data Penggunaan Listrik Kampus ITS Surabaya.....	108

Tabel 4.33 Data Produksi Listrik PLTS Kampus ITS Surabaya	108
Tabel 4.34 Data Populasi Civitas Akademik Kampus ITS Surabaya.....	109
Tabel 4.35 Panjang Jalan Tiap Zona di ITS Surabaya	110
Tabel 4.36 Nilai Validasi dari Penggunaan Energi Listrik.....	118
Tabel 4.37 Data Kebutuhan Listrik Harian Minimum untuk kampus ITS Surabaya	122
Tabel 4.38 Asumsi kelayakan tekno-ekonomi	129
Tabel 4.39 Skenario Model Perhitungan Payback Period	130
Tabel 4.40 Skenario Perhitungan Susut Investasi	130
Tabel 4.41 Skenario Perhitungan Payback Period.....	131

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai latar belakang pentingnya penelitian dilakukan yang meliputi energi listrik; *renewable energy*; *solar energy*; karakteristik solar energy; implementasi *solar energy* di kampus ITS Surabaya; *sustainable energy ITS*; *key driver* pengembangan konsep sistem kelistrikan masa depan di PLN , konservasi energi , elektrifikasi.

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia Pasifik dalam konsumsi energi primer, setelah negara China, India, Jepang, dan Korea Selatan. Dimana konsumsi energi final (tanpa kayu bakar) Indonesia pada tahun 2016 masih didominasi oleh bahan bakar fosil (BBM) sebesar 47%. Di sisi lain, Indonesia telah menjadi negara net importir BBM sejak 2004. Uraian **potensi dan cadangan jenis sumber energi** fosil (minyak bumi, gas bumi dan batubara) dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2, sedang energi baru dan terbarukan (non fosil) dapat dilihat pada Gambar 1.8 :



Gambar 1.1. Potensi Energi Fosil Indonesia-Jenis Minyak dan Gas
(sumber: Laporan Tahunan SKK Migas 2016)

Province	Resources				Total	Reserves
	Hypothetic	Inferred	Indicated	Measured		
Banten	5.47	38.98	28.45	25.10	98.00	0.00
Central Java	0.00	0.82	0.00	0.00	0.82	0.00
East Java	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00
Aceh	0.00	423.65	163.69	662.93	1,250.27	416.68
North Sumatera	0.00	7.00	1.84	25.75	34.59	0.00
Riau	3.86	209.85	587.82	689.28	1,490.81	608.88
West Sumatera	19.90	304.25	278.78	347.38	950.30	197.84
Bengkulu	0.00	117.33	171.74	126.48	415.54	79.12
Jambi	129.16	1,216.54	896.04	1,038.02	3,279.77	665.71
South Sumatera	3,290.98	10,859.38	14,826.24	12,020.27	40,996.88	11,066.98
Lampung	0.00	122.95	8.21	4.47	135.63	11.74
West Kalimantan	2.26	477.69	6.85	4.70	491.50	0.00
Central Kalimantan	22.54	11,299.92	3,805.64	2,849.22	17,977.32	2,001.33
South Kalimantan	0.00	4,739.10	4,402.79	5,893.65	15,035.53	5,270.25
East Kalimantan	909.95	13,680.45	13,049.18	15,401.10	43,040.68	7,194.94
North Kalimantan	25.79	795.83	595.37	1,041.20	2,458.19	943.70
West Sulawesi	8.13	15.13	0.78	0.16	24.20	0.00
South Sulawesi	5.16	48.81	128.90	53.09	235.96	0.12
Central Sulawesi	0.52	1.98	0.00	0.00	2.50	0.00
North Maluku	8.22	0.00	0.00	0.00	8.22	0.00
West Papua	93.66	32.82	0.00	0.00	126.48	0.00
Papua	7.20	2.16	0.00	0.00	9.36	0.00
TOTAL	4,532.80	44,394.72	38,952.32	40,182.80	128,062.63	28,457.29

Gambar 1.2. Potensi Energi Fosil Indonesia-Jenis Batubara
(sumber: KESDM 2016)

Menurut laporan penelitian dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (Yudiartono, et al. 2018) menjelaskan bahwa sepertiga dari konsumsi BBM Indonesia di tahun 2016 dipenuhi oleh impor. Jika kebutuhan energi yang didominasi oleh BBM ini terus meningkat tanpa ada perubahan pola pemakaian energi, maka keberlangsungan dan ketahanan energi Indonesia akan terganggu.

Sedangkan energi merupakan kebutuhan mutlak bagi pemenuhan kebutuhan hidup manusia. Energi juga mempunyai peran penting dan strategis dalam pencapaian program *sustainable development (energy)* dalam kerangka *sosial, ekonomi* dan *lingkungan* pembangunan nasional, termasuk permasalahan energi, baik **energi primer** seperti minyak bumi dan gas bumi, ataupun **energi sekunder** seperti gas rumah tangga dan listrik.

Sektor energi terus memberikan kontribusi besar dalam pembangunan Indonesia. Komitmen Pemerintah Indonesia tidak lepas dari kebutuhan energi yang akan terus mengalami peningkatan sebagai dampak dari pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Dengan laju pertumbuhan penduduk yang

cukup tinggi dan perekonomian nasional yang berkembang pesat, pemenuhan jaminan pasokan energi menjadi hal krusial.



Gambar 1.3. Realisasi Bauran Energi Pembangkit Listrik 2017

Sumber: www.esdm.go.id

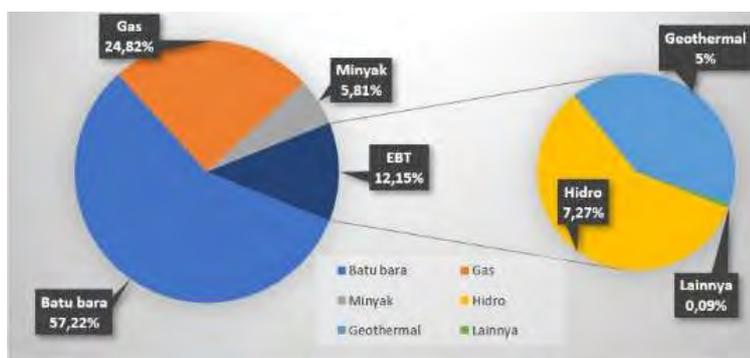
Berdasarkan pemodelan **pasokan energi primer** yang tertuang pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), terlihat bahwa pergeseran sumber energi primer yang terjadi hanya dari minyak bumi ke batu bara dan gas, yang notabene sama-sama energi fosil (Tabel 1.1). Pada 2015, dominasi minyak bumi yang sebesar 36,74% dari pasokan energi nasional mulai didekati oleh batu bara dan gas, dengan porsi masing-masing sebesar 32,81% dan 20,87%. Dominasi sang emas hitam pun diprediksi runtuh pada 2017 dengan batu bara menyumbang 34,59%, melibas minyak bumi (33,3%).

Tabel 1.1. Tabel Pasokan Energi Primer (2015-2050)

Pemodelan Pasokan Energi Primer 2015-2050 (Million Tonnes Oil Equipment/MTOE)										
Energy Primer	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2040	2050
Minyak Bumi	75,7	76,4	77,7	79,3	81,4	82,8	98,7	112,9	150,9	197,7
Gas Bumi	43,0	45,9	49,4	53,1	56,5	61,0	89,5	109,1	171,6	242,9
Batubara	67,6	73,5	80,7	88,4	97,6	104,8	119,8	147,5	198,4	255,9
Panas Bumi	2,6	3,5	4,4	5,5	6,8	8,9	21,8	28,0	42,7	58,8
Air	6,9	6,9	7,0	7,3	7,5	7,8	24,9	29,3	39,7	55,3
Mikrohidro	0,3	0,3	0,5	0,8	1,1	1,6	5,2	6,2	8,0	10,2
Bioenergy	10,4	11,9	13,3	15,0	16,8	19,1	33,8	49,8	83,0	124,2
Surya	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	4,3	9,1	18,5	29,6
Angin	0	0	0,1	0,2	0,3	0,5	1,8	6,7	16,4	27,6
EBT Lainnya	0	0	0	0	0	0	0,5	1,3	4,3	9,9
Total	206,1	218,5	233,3	249,9	268,5	287,2	400,3	499,9	733,5	1.012,1

Sumber: Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), diolah

Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan porsi energi fosil dalam bauran energi (*energy mix*) **pembangkitan listrik** mencapai 87,85% pada 2017, sedangkan EBT sebesar 12,15%. Sementara itu, di Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2018-2027, EBT ditargetkan menyumbang 23% dari total bauran energi tersebut pada 2025 (Gambar 1.3 dan Gambar 1.4).



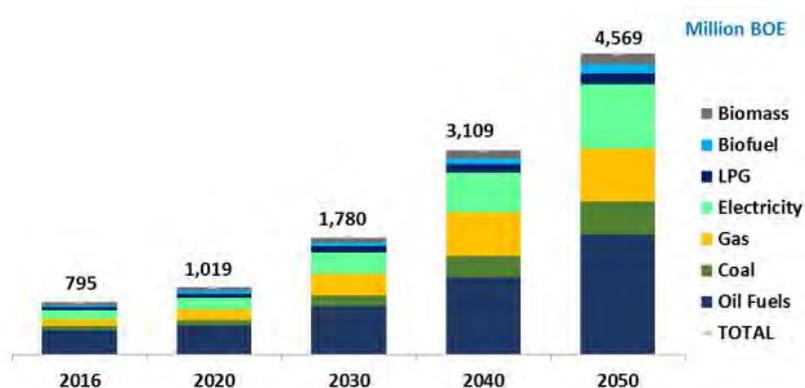
Gambar 1.4. Realisasi Bauran Energi Pembangkit Listrik 2017

Sumber: www.esdm.go.id



Gambar 1.5. Target Bauran Energi Pembangkit Listrik 2025
 Sumber: www.esdm.go.id

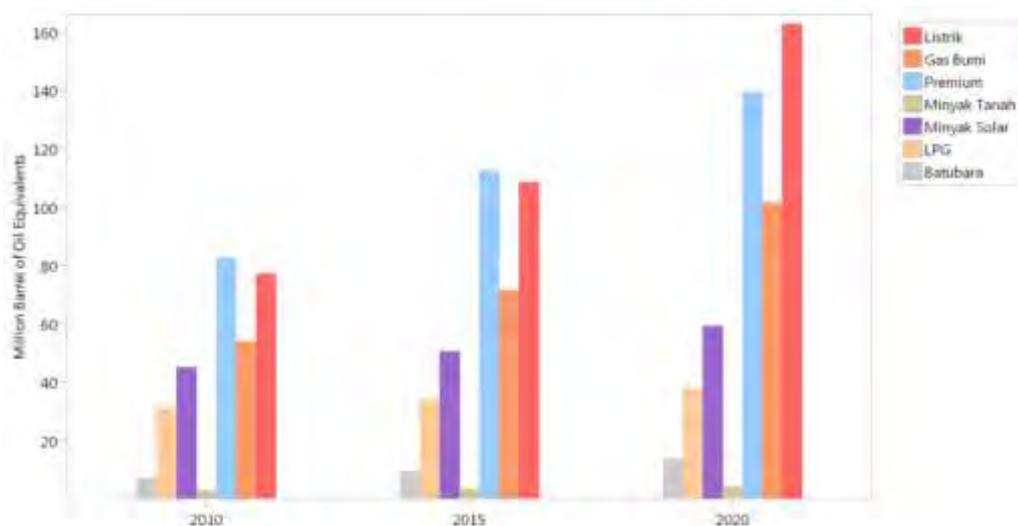
Kebutuhan energi nasional dari 795 juta SBM pada tahun 2016 menjadi 4.569 juta SBM pada tahun 2050 sesuai dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah. Pada tahun 2050, pangsa kebutuhan energi final terbesar (Gambar 1.5) adalah bahan bakar minyak (BBM) yakni sebesar 40,1%, diikuti oleh listrik (21,3%), gas (17,7%), batubara (11,0%), dan sisanya LPG, bahan bakar nabati (BBN) dan biomassa masing-masing di bawah 4%.



Gambar 1.6. Kebutuhan energi final per jenis secara nasional
 Sumber: www.bppt.go.id

Dan berdasarkan hasil Proyeksi LEAP Wilayah Jawa dan Bali (Pertambangan 2014) menjelaskan bahwa pada tahun 2010, jenis energi yang

mendominasi dari segi permintaan adalah premium yang diikuti oleh gas bumi dan berdasarkan proyeksi pada tahun 2015 dan tahun 2020 jenis energi yang akan mendominasi adalah premium dan diikuti oleh gas bumi. Untuk jenis energi lain seperti solar, batubara, minyak tanah dan LPG, terjadi peningkatan **permintaan energi** yang tidak terlalu besar yakni 3% pertahun (Gambar 1.6).



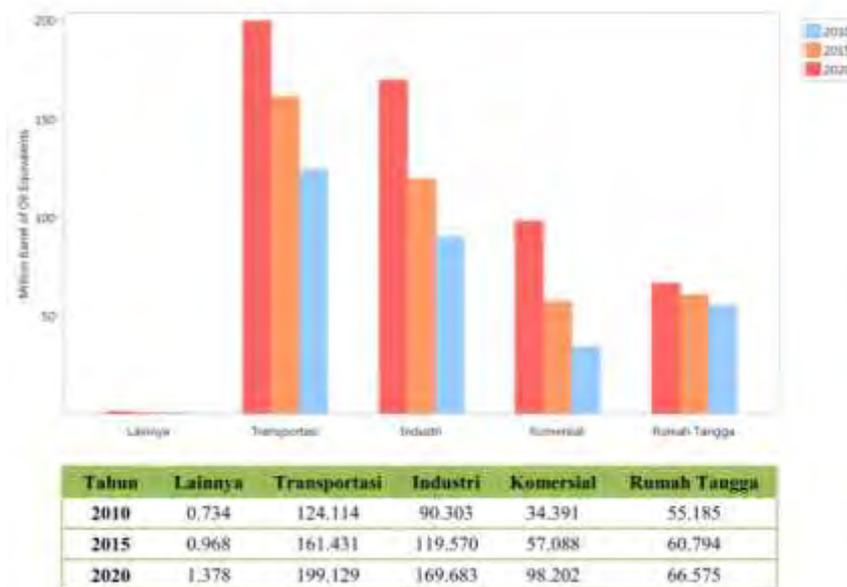
Gambar 1.7. Permintaan Energi per Jenis wilayah Jawa dan Bali-Skenario RPJMN, Region Jawa-Bali
Sumber: Kementerian PPN/Bappenas

Berdasarkan hasil Proyeksi LEAP Wilayah Jawa dan Bali (Pertambangan 2014) menjelaskan bahwa **permintaan energi di wilayah Jawa dan Bali pada sektor komersial**, walaupun jumlah konsumsinya relatif kecil namun terjadi peningkatan yang cukup tinggi yaitu 34,4 Juta SBM pada tahun 2010 dan meningkat menjadi 93,2 Juta SBM pada tahun 2020. Jika dilihat lebih dalam pada sub sektor yang ada, sub sektor jasa sosial menjadi salah satu yang meningkat yaitu pada tahun 2010 mencapai 20,5 Juta SBM menjadi 73,3 Juta SBM pada tahun 2020 (Gambar 1.7). Pemanfaatan listrik terus berkembang hampir di semua sektor, terutama di sektor rumah tangga dan komersial. Kebutuhan listrik meningkat rata-rata sebesar 6,0% per tahun hingga tahun 2050 atau menjadi 7,4 kali lipat dari konsumsi tahun 2016 (Yudiartono, et al. 2018).

Upaya diversifikasi energi (bauran sumber energi) merupakan sebuah konsep yang dapat menjadi alternatif pilihan untuk mencapai pembangunan energi

dan ekonomi berkelanjutan. Saat ini prioritas sumber energi masih dipegang oleh bahan berjenis fosil, baik minyak dan batu bara. Dimana masalah utama dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil ini adalah pembangkit listrik yang menjadi salah satu contributor pencemaran CO₂ yang terbesar, bahkan paling tinggi dibandingkan bahan bakar lainnya. Dimana kebijakan diversifikasi energi ini menekankan bahwa Indonesia tidak boleh hanya bergantung pada sumber energi berbasis fosil, namun juga mengembangkan penggunaan energi terbarukan.

Selain itu, komitmen penurunan emisi gas rumah kaca Indonesia yang tercantum dalam *First Nationally Determined Contribution*, yaitu sebesar 29% atau 314 juta ton CO₂e (*unconditional*) dan sebesar 41% atau 398 juta ton CO₂e (*conditional*) pada tahun 2030 juga bisa sulit tercapai.



Gambar 1.8. Permintaan Energi wilayah Jawa dan Bali -Skenario RPJMN, Region Jawa-Bali

Sumber: Kementerian PPN/Bappenas

Produksi listrik saat ini bersumber dari bahan bakar fosil. Dan semua bahan bakar fosil akan menghasilkan karbon. Saat bahan bakar mengalami pembakaran, maka karbon akan lepas ke atmosfer sebagai karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida (CO₂) merupakan penyusun utama gas rumah kaca di dunia dan cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya. Karbon dioksida adalah salah

satu jenis **emisi gas rumah kaca (GRK)**, yang merupakan kontributor terhadap sesuatu yang dikenal dengan pemanasan global atau lebih tepatnya perubahan iklim (Tietenberg and Lewis 2011).

Pada titik inilah upaya mempercepat pengembangan EBT menemukan tantangan naturalnya, yakni *efisiensi*. Secara perhitungan bisnis, sampai saat ini belum ada energi terbarukan yang biaya produksinya lebih murah dari energi fosil. Kondisi ini tercipta karena energi fosil telah melewati riset-pengembangan dan uji efisiensi pasar selama lebih dari seabad. Karenanya, tidak ada satupun negara yang bisa 100% lepas dari energi fosil dari bauran energi primernya.

Di sisi lain, penyediaan energi terbarukan belum optimal disebabkan harga yang masih cukup tinggi secara ekonomi seperti PLTS, PLTB dan biofuel serta kendala ketersediaan lahan untuk pengembangan PLTP. Selain itu, ketersediaan infrastruktur energi juga sangat berpengaruh dalam tingkat konsumsi energi nasional (Badan Pusat Statistik 2016).

PLN sebagai satu-satunya Badan Usaha Milik Negara yang menyediakan dan mengurus masalah kelistrikan di Indonesia, mulai dari penyediaan sampai penyaluran ke seluruh Indonesia, bisa dikatakan bahwa semua beban kelistrikan di Indonesia di tanggung PLN. PLN memiliki beban dan tanggungjawab yang terus meningkat karena kebutuhan listrik di Indonesia terus tumbuh dari tahun ke tahun, sehingga perlu pemikiran akan pasokan listrik alternative dari sumber **energi baru dan terbarukan (EBT)**.

Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan energi baru terbarukan (EBT). Ini menegaskan bahwa sumber energi telah tersedia, tidak merugikan lingkungan, dan menjadi alasan utama mengapa EBT sangat terkait dengan masalah lingkungan dan ekologi. Secara geografis, wilayah Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga Indonesia memiliki **sumber energi surya** yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari mencapai **4.8 kWh/m² per hari**. Energi surya diprediksi akan menjadi sumber energi utama dunia menjelang tahun 2050, sementara sebagai negara tropis di garis katulistiwa, kita mempunyai potensi energi surya yang luar biasa untuk menjadi salah satu sumber energi utama.

Potensi energi baru dan terbarukan (EBT) Indonesia cukup besar, dengan variasi jenis energi yang beragam (Gambar 1.8). Namun potensi EBT tersebut belum optimal dikembangkan karena berbagai kendala penerapannya, seperti biaya investasi yang tinggi, efisiensi teknologi yang relatif rendah, letak geografis, dan faktor sosial masyarakat sebagai pengguna energi. Pemerintah sudah mendorong pemanfaatan potensi energi terbarukan (ET) sebagai pembangkit listrik yang diatur dalam Permen ESDM No. 12 Tahun 2017 dan sebagai bahan bakar sesuai Permen ESDM No. 12 Tahun 2015.

No	Jenis energi / Energy type	Sumber Daya / Resources	Potensi / Potential	Kapasitas terpasang/ Installed capacity
1	Panas bumi/ Geothermal		29,544 MW	1,438.5MW
2	Hidro/ Hydro	75,091 MW	45,379 MW (Sumber daya teridentifikasi / Identified resources)**	8,671 MW**
3	Mini-mikrohidro/ Mini-micro hydro		19.385 MW	2,600.76 KW*
4	Biomassa / Biomass	32,654 MWe*		1,626 MW (Off Grid)* 91.1 MW (On Grid)*
5	Energi surya/ Solar energy	4.80 kWh/m ² /day***		14,006.5 KW***
6	Energi angin/ Wind energy	970 MW**		1.96 MW***
7	Uranium/ Uranium	3,000 MW****		30 MW****
8	Shale gas	574 TSCF**** 93,36 TSCF *****		
9	Gas metana batubara / Coal bed methane	453 TSCF**** 84.29 TSCF *****		
10	Gelombang Laut Wave energy	17.989 MW (Potensi Praktis / Practical Potential)		
11	Energi Panas Laut OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion)	41,012 MW (Potensi Praktis / Practical Potential)**		
12	Pasang Surut Tide and tidal power	4,800 MW (Potensi Praktis / Practical Potential)**		

Note: *) Ditjen EBTKE, 2015 ; **) Ditjen EBTKE, 2014 ; ***) Ditjen EBTKE, 2013 ;
****) RENSTRA ESDM 2015-2019 ; *****) Laporan Tahunan SKK Migas 2016

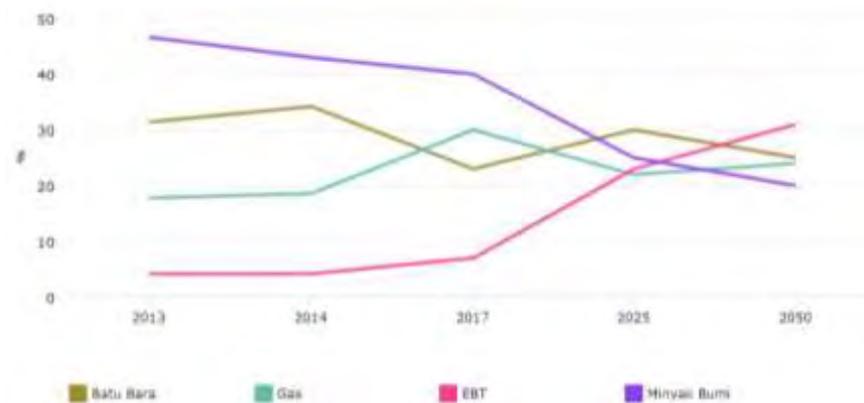
Gambar 1.9. Potensi EBT (non fosil) Indonesia
(sumber: Ditjen EBTKE 2016)

Pemanfaatan EBT di Indonesia hingga kini masih belum maksimal. Berdasarkan catatan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), bauran pemanfaatan sumber energi per 2015 masih dikuasai oleh energi fosil. Jika dilihat secara nasional, sumber energi dari minyak bumi masih menjadi tumpuan utama masyarakat Indonesia dengan persentase sebesar 47%. Disusul kemudian batu bara dan gas bumi masing-masing telah dimanfaatkan 24%. Sisanya, yaitu sebanyak lima persen, EBT menyumbang porsinya dalam bauran pemanfaatan

energi nasional. Jika ditinjau, angka 5% pun tergolong sedikit lantaran hanya 59 juta setara barel minyak dalam setahun. Bandingkan dengan konsumsi minyak bumi yang mencapai 550 juta setara barel minyak per tahun. Padahal kenyataannya, pertumbuhan konsumsi energi melonjak sampai delapan persen per tahun. Kondisi ini tidak diimbangi dengan penemuan cadangan baru energi fosil secara signifikan, menyusul berkurangnya kegiatan eksplorasi akibat anjloknya harga minyak dunia.

Hambatan utama pasar PLTS adalah biaya investasi per Watt daya terbangkitkan masih relatif mahal dan beberapa bahan baku komponen PLTS khususnya sel surya masih harus diimpor. Oleh karena itu, penumbuhan industri sel surya lokal menjadi sangat strategis dalam pengembangan PLTS di masa mendatang. Disamping itu, kebijakan *feed in tariff* yang menarik bagi investor juga menjadi hal yang sangat penting bagi pertumbuhan investasi swasta dalam pembangunan PLTS.

Pemerintah sendiri **menargetkan bauran Energi Baru Terbarukan (EBT)** mencapai 23% pada 2025 dan akan meningkat menjadi 31% pada 2050. Sehingga menjadi yang terbesar dibanding bauran energi lainnya (Gambar 1.9). Sementara bauran energi minyak bumi akan menurun menjadi sekitar 20% pada 2050. Jumlah penduduk yang terus bertambah mendorong meningkatnya permintaan terhadap energi, terutama untuk keperluan transportasi dan listrik. Sementara produksi energi fosil (tidak terbarukan) terus mengalami penurunan memaksa pemerintah harus mengimpor minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan domestik. Guna mengantisipasi semakin terbatasnya cadangan energi fosil nasional serta meningkatnya kebutuhan energi masyarakat pemerintah menggalakkan penggunaan EBT. Antara lain penggunaan pembangkit tenaga energi panas bumi, **tenaga surya**, bio-energi, tenaga air dan tenaga angin (databoks.co.id 2019).



Gambar 1.10. Bauran Energi Indonesia (2013-2050)

Sumber: databoks.co.id

Dalam penelitiannya Lilia (Quentara 2016) menyebutkan bahwa yang menjadi *key driver* pengembangan konsep sistem kelistrikan masa depan di PLN adalah :

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

Badan Energi Internasional (International Energy Agency 2011) pada tahun 2011 menyatakan bahwa *"perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, dan bersih akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang sudah ada, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor, meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah dari sebelumnya. Keuntungan-keuntungan ini berlaku global. Oleh sebab itu, biaya insentif tambahan untuk pengembangan awal selayaknya dianggap sebagai investasi untuk pembelajaran; investasi ini harus digunakan secara bijak dan perlu dibagi bersama."*

Hal ini seperti dijelaskan oleh Sri Mulyani (Indrawati 2015) mantan Menteri Keuangan era Kabinet Bersatu; dan merupakan salah satu dari tiga Direktur Pelaksana World Bank; juga Menteri Keuangan era Joko Widodo, dalam pidatonya pada *International Student Energy Summit* di Bali-Indonesia, menjelaskan *"Hal kedua adalah keberlanjutan. Energi dan cara kita menggunakannya harus **efisien, berkelanjutan** dan sebisa mungkin **terbarukan**. Ini berarti kita bisa memutus ikatan antara pertumbuhan ekonomi dengan permintaan energi hanya dengan **meningkatkan efisiensi energi**. Apabila kita menerapkan semua teknologi efisiensi energi yang tersedia saat ini, kita bisa memangkas konsumsi energi secara signifikan menjadi sekitar sepertiga. Namun hanya sebagian kecil dari potensi ini yang terealisasi. Melalui kombinasi beberapa teknologi efisiensi energi, desain bangunan yang baik, dan teknologi atap terbarukan yang baru, saat ini kita sudah bisa membangun gedung zero net energy. Dalam banyak kasus, gedung-gedung tersebut menghasilkan tenaga matahari yang dialirkan ke dalam jaringan untuk dipakai pihak lain. Tentunya selain efisiensi energi, reformasi kebijakan dan penghapusan subsidi, kita juga perlu memastikan bahwa negara-negara beralih dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan."*

Dalam era *clean energy* saat ini, Energi Baru dan Terbarukan (EBT) menjadi pilihan utama untuk pembangunan yang berkelanjutan. Dalam ringkasan eksekutifnya (Kementerian ESDM 2016) menyebutkan Indonesia memiliki visi

23/2025 untuk menggunakan Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran energinya. EBT (Energi Baru dan Terbarukan) terutama ET (Energi Terbarukan) sejauh ini hanya dapat dimaksimalkan untuk pemenuhan kebutuhan listrik nasional, menggantikan pembangkit berbahan energi fosil. Kebijakan Energi Nasional 2014 (NEP) bertujuan hampir 100 persen elektrifikasi pada tahun 2020. NEP juga bertujuan untuk penggunaan energi campuran dengan 23 persen berasal dari energi baru dan terbarukan pada tahun 2025. Berdasarkan hal ini, kita dapat menyimpulkan bahwa kerangka kebijakan telah dibuat untuk mengatasi **elektrifikasi rendah karbon**.

Kawasan kampus ITS Surabaya mempunyai luas sebesar **180 hektar** dengan luas bangunan seluruhnya kurang lebih **150.000 m²** (www.its.ac.id n.d.). ITS Surabaya memiliki 10 fakultas dengan 38 departemen dan dilengkapi dengan fasilitas antara lain: *student advisory center*, pusat bahasa dan budaya, perpustakaan, pusat olahraga, graha ITS, asrama mahasiswa, masjid, pusat layanan kesehatan, dan percetakan dan penerbitan. ITS memiliki dua gardu PLN yang mengalirkan listrik ke seluruh gedung-gedung yang ada di ITS yang dinamakan gardu kampus dan gardu rektorat.

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2016 (PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL n.d.), tarif listrik yang dibayarkan oleh ITS termasuk **kategori tarif tenaga listrik untuk keperluan pelayanan sosial**. Berdasarkan daya yang digunakan oleh ITS yaitu **dias 200kVA** maka ITS termasuk **golongan S-3**. Tarif listrik untuk keperluan pelayanan sosial dapat dilihat pada Gambar 1.12. Perhitungan biaya yang harus dibayarkan bergantung pada jumlah energi listrik yang digunakan pada waktu beban puncak (WBP) dan pada lewat waktu beban puncak (LWBP). WBP dihitung mulai jam 18.00 – 22.00, sedangkan LWBP dihitung mulai jam 22.00 – 18.00.

TARIF TENAGA LISTRIK
UNTUK KEPERLUAN PELAYANAN SOSIAL

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PBA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	S-1/TR	220 VA	-	Abonemen per bulan (Rp) : 14.800	-
2.	S-2/TR	450 VA	10.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 123 Blok II : di atas 30 kWh s.d. 60 kWh : 265 Blok III : di atas 60 kWh : 360	325
3.	S-2/TR	900 VA	15.000	Blok I : 0 s.d. 20 kWh : 200 Blok II : di atas 20 kWh s.d. 60 kWh : 295 Blok III : di atas 60 kWh : 360	455
4.	S-2/TR	1.300 VA	*)	708	708
5.	S-2/TR	2.200 VA	*)	760	760
6.	S-2/TR	3.500 VA s.d. 200 kVA	*)	900	900
7.	S-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times P \times 735$ Blok LWBP = $P \times 735$ kVArh = 925 ***)	-

Catatan :
 *) Diterapkan Rekening Minimum (RM) :
 $RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian}$.
 **) Diterapkan Rekening Minimum (RM) :
 $RM2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian Blok LWBP}$.
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
 ***) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).
 K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi PT Perusahaan Listrik Negara (Persero).
 P : Faktor pengali untuk pembeda antara S-3 bersifat sosial murni dengan S-3 bersifat sosial komersial.
 Untuk pelanggan S-3 yang bersifat sosial murni P = 1.
 Untuk pelanggan S-3 yang bersifat sosial komersial P = 1,3.
 Kategori S-3 bersifat sosial murni dan S-3 bersifat sosial komersial ditetapkan oleh Direksi PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) dengan mempertimbangkan kemampuan bayar dan sifat usahanya.
 WBP : Waktu Beban Puncak.
 LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Gambar 1.11. Permen ESDM No.28 Tahun 2016

Menurut Ketua *ITS Smart Eco Campus*, Dra Dian Saptarini M.Sc (itsmis 2018) dalam sebuah seminar menyampaikan bahwa setiap tahunnya ITS Surabaya mengeluarkan dana sebesar tujuh milyar rupiah (**Rp. 7.000.000.000,-**) untuk pembayaran listrik. Dimana apabila efisiensi energi di ITS Surabaya terus ditingkatkan, maka perbandingan antara emisi karbon (CO₂) yang dikeluarkan dengan ruang terbuka hijau yang tersedia bisa seimbang. Keberadaan ruang terbuka hijau sangat membantu dalam **pengurangan emisi karbon**. Dian menyebutkan ada banyak hal yang bisa dikerjakan secara bersama-sama dalam lingkungan kampus terkait peningkatan **efisiensi energi**.

Dan berdasarkan hasil penelitian Nabilla (Yuslinda 2018) di lapangan terkait dengan emisi CO₂ di ITS Surabaya didapatkan bahwa jumlah emisi terbesar 0.2492 ton CO₂ / 2jam. Sedangkan nilai emisi terkecil sebesar 0.0169 ton CO₂ / 2jam. Skenario penyebaran emisi menggunakan box model dibuat dengan jumlah tiga box model pada setiap lokasi yang berbeda. Lokasi pertama yaitu dengan nilai 1.462 mg CO₂/m³ .Pada lokasi kedua yaitu 0.920 mg CO₂/m³.

Sedangkan pada lokasi ketiga yaitu sebesar 0.360 mg CO₂/m³. Hasil analisis jumlah luasan RTH eksisting beserta menganalisis sebagian besar jumlah tumbuhan yang berada di zona kawasan kampus ITS bahwa RTH eksisting mampu menyerap 13488 g CO₂/ hari. Hal ini membuktikan bahwa RTH Eksisting mampu menyerap sebagian besar emisi yang masuk di Kawasan Kampus ITS.

Melihat wilayah kampus ITS Surabaya yang luas tersebut, dapat dipastikan dalam operasionalnya sangat dibutuhkan penggunaan energi listrik yang besar. Penggunaan energi listrik yang besar, otomatis akan menghasilkan emisi CO₂ yang besar pula. Dengan perencanaan strategi pengembangan konsep *Green Campus* pada kampus ITS Surabaya yang lebih dikenal dengan *Smart Eco Campus*, ITS Surabaya tidak hanya menata kampus yang ramah lingkungan, namun juga menanamkan konsep ITS *Smart Eco-Campus* dalam kehidupan seluruh elemen mahasiswa melalui berbagai kegiatan edukasinya dalam upaya menjalankan konsep pro-lingkungan serta dukungan dari semua elemen civitas akademik kampus. Banyak kegiatan yang sangat tergantung pada kontinuitas ketersediaan energi listrik, khususnya sektor komersial diantaranya adalah perguruan tinggi dan pusat perkantoran.

Jika dilihat dari platform nasional tentang ***Sustainable Development Goals (SDGs)*** akademia nasional yang pertama di Indonesia, maka ITS Surabaya sebagai salah satu kampus teknik pelopor di Indonesia memiliki peran dan kesempatan sebagai agen perubahan teknologi dan *pengembangan renewable energy* dalam *sustainability university*.

Dan program ***ITS Smart Eco-Campus*** yang mendukung kerangka *sustainable development*, jika mampu dikelola dan dapat dikembangkan kemanfaatan lain secara strategis, baik manajemen dan tata kelola kampus, maka akan memiliki *added value* secara bisnis. Artinya, dalam proses *sustainability effort* program *ITS Smart Eco-Campus* pihak manajemen ITS dapat melakukan perencanaan dan perumusan strategi pengembangannya dengan menyesuaikan kategori dan indikator dari karakteristik dan heterogeni dalam mendukung upaya program *sustainability university* dengan mempertimbangkan aspek *sosial, ekonomi* dan *lingkungan hidup*.

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya sendiri dalam melakukan *sustainability university* yang berkonsep *Green Campus*, mengacu pada *UI Green Matric Ranking Criteria 2018* yang memiliki 6 kriteria, yaitu *Setting and Infrastruktur; Water; Energi and Climate Change; Transportation; Waste* dan *Education and Research* (UI Green Matric 2018).

Implementasi pengembangan *solar cell* sebagai Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di lingkungan ITS Surabaya, dapat dilihat pada atap bangunan Gedung Research Center, dimana topologi yang digunakan adalah *on-grid system*. Pertimbangan pemilihan *on-grid system* adalah, karena ITS Surabaya merupakan kategori usaha komersil dan perkantoran, dimana aktivitas lebih banyak dilakukan pada jam kerja (07:00 sampai 17:00), sehingga pemanfaatan listrik dengan beban puncak ada pada jam kerja pagi hingga siang hari.

Di sisi lain, ITS Surabaya sendiri memiliki beberapa fasilitas dan kegiatan yang dilaksanakan diluar hari dan jam kerja normal, seperti : penggunaan listrik untuk penerangan jalan; listrik untuk fasilitas umum; listrik untuk mensuplai aktivitas asrama kemahasiswaan; listrik untuk penerangan gedung yang digunakan kegiatan ekstra mahasiswa di malam hari; dan lain sebagainya. Sehingga pemilihan *on-grid system* ini dalam jangka panjangnya perlu menjadi bahan pertimbangan perencanaan strategis dalam sustainable energy di kampus ITS Surabaya.

Selain itu ada beberapa pertimbangan yang menjadi kendala pengembangan *solar energy* di ITS Surabaya, antara lain: (1) Besarnya biaya investasi awal; (2) Skema jual-beli energi di PLN; (3) Kesiapan sumber daya manusia (SDM) dalam pemeliharaan; dan (4) Strategi penyimpanan (pengembangan) suplai solar energy internal agar dapat digunakan untuk operasional di sore dan malam hari.

Rencana pengembangan *solar energy* pada kampus ITS Surabaya sendiri, harus dapat memperhitungkan semua aspek yang ada terkait dengan (1) konservasi energi yang memperhitungkan *investment cost* dan *treatment cost*; (2) dampak keberlanjutan pengembangan dari energi terbarukan itu sendiri yang mengacu kerangka *sustainable university* dengan mempertimbangkan dampak *sosial, ekonomi* dan *lingkungan*; (3) kriteria atau indicator pengembangan *green*

campus berwawasan lingkungan dari program ITS Smart Eco Campus. Hal ini berhubungan erat dalam upaya untuk mengkaji, mengembangkan, dan menerapkan teori teknologi energi yang relevan. Dalam konteks ini, peran universitas diperlukan untuk memelopori, menyajikan dan mendorong berbagai bentuk inovasi untuk semua tujuan.

Dalam penelitian ini digunakan **model simulasi sistem dinamik**. Menurut (Axella and Suryani, Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri 2012) alasan digunakan model simulasi sistem dinamik dikarenakan sistem dinamik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode peramalan konvensional, yaitu dapat memberikan perkiraan yang lebih handal daripada model statistik, menyediakan cara untuk memahami perilaku industri, mendeteksi terhadap perubahan dini dan penentuan faktor-faktor yang meramalkan perilaku secara sensitif dan signifikan.

1.2. Perumusan Masalah

Dari hasil identifikasi permasalahan di atas, dengan disertai hasil survey dan wawancara pihak terkait mengenai kondisi kelistrikan yang ada di ITS Surabaya, maka dapat disimpulkan *research questions* sebagai berikut :

1. Indikator apa saja yang berpengaruh dalam analisis pengembangan PLTS skala kampus sebagai strategi diversifikasi energi listrik dalam *framework sustainable energy* dan *sustainable university* dengan menggunakan pendekatan Sistem Dinamik ?
2. Bagaimana rasio pemenuhan *PLTS On-grid* terhadap penggunaan energi listrik yang ada selama ini di internal kampus ITS Surabaya sebagai bentuk upaya diversifikasi energi skala kampus ?
3. Bagaimana menilai kelayakan secara analisis tekno-ekonomi dalam rencana pengembangan PLTS skala kampus?

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian yang dilakukan adalah internal kampus ITS Surabaya yang mencakup beberapa hal, meliputi:

1. Objek penelitian adalah kampus ITS Surabaya.
2. Fokus penelitian pada penggunaan listrik dan potensi pengembangan *renewable energy*, dalam hal ini adalah *solar energy*.
3. Variabel sistem PLTS adalah off-grid system yang terletak pada bangunan Gedung Research Center ITS Surabaya.
4. Performansi sistem PLTS dinilai dari kapasitas produksi listrik yang dihasilkan; payback period; rasio pemenuhan dan keterkaitannya dengan Emisi CO2 sebagai dampak penggunaan energi; dan kebutuhan ruang hijau terbuka.
5. Sumber data diperoleh dari data histori yang dimiliki oleh Bagian Sarana dan Prasarana, dengan mengambil sampling 2 titik pengguna energi listrik terbesar di ITS Surabaya, yaitu Gardu Rektorat dan Gardu Kampus; data kapasitas produksi solar energi 16 kWp.
6. Strategi kebijakan mengambil dimensi: *ekonomi; sosial dan lingkungan* hanya yang terkait energi, dengan menggabungkan 3 framework *sustainability* yaitu: *sustainable energy* ; *greenmetrix* dan *sustainable university* dalam kebijakan pengembangan *green energy*, dengan menyesuaikan potensi dan kondisi kampus ITS Surabaya.
7. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem dinamik untuk memodelkan dan mensimulasikan pengembangan *renewable energy* di kampus ITS Surabaya.

Penelitian yang dilakukan adalah untuk mengkaji pengembangan potensi *solar energy* sebagai alternative pembangkit listrik terbarukan berupa proyeksi kapasitas terpasang dan produksi listrik tenaga surya yang mampu dihasilkan.

1.4. Tujuan Penelitian

Sesuai rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini untuk :

1. Mengembangkan model substitusi *renewable energy* dengan menggunakan sistem dinamik sebagai strategi kebijakan konversi energi alternative pembangkit listrik di kampus ITS Surabaya;

2. Model akan dibangun dengan mempertimbangkan tiga framework keberlanjutan, yaitu *sustainable energy*; *green campus* dan *sustainable university*;
3. Mengembangkan skenario potensi *renewable energy* yaitu *solar energy* sebagai upaya keberlanjutan, sehingga dapat memiliki *added value* dari aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam upaya *sustainable university*.

1.5. Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki kontribusi untuk :

1. Dalam bidang akademis dan keilmuan, diharapkan mampu memberikan wawasan pemanfaatan energi terbarukan sebagai upaya *sustainable energy alternative*; mengidentifikasi faktor-faktor dan variable yang dibutuhkan dalam pengembangannya; dan dapat dijadikan pilot model dalam *sustainable renewable energy* dalam lingkup sejenis;
2. Dalam demensi institusi, diharapkan dapat menjadi referensi alternative kebijakan dan bahan pertimbangan pihak pengambil keputusan dan para pemangku kepentingan dalam merencanakan dan merumuskan kebijakan tata kelola kreatif untuk menciptakan platform *sustainable energy university* yang tepat sasaran;

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas berbagai teori yang digunakan sebagai referensi yang diambil baik dari buku, artikel, jurnal maupun penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dan signifikan sebagai referensi data dan bahan perbandingan, sehingga dapat memberikan landasan teori ilmiah yang mendukung penelitian ini.

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Energi Baru Terbarukan (EBT)

Renewable Energy atau Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah sumber energi baru yang memproduksi energi secara terus menerus dan membutuhkan waktu yang relatif singkat untuk kembali ke alam. Sumber energi baru terbarukan adalah sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami, ramah lingkungan karena tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan. Sumber energi ini antara lain adalah *panas bumi (geothermal)*, *sinar matahari*, *biomassa*, *angin*, *biofuel* dan *hidroelektrik*. (Energy.gov n.d.).

Dari definisinya, semua energi terbarukan merupakan energi berkelanjutan, karena senantiasa tersedia di alam dalam waktu yang relatif sangat panjang sehingga tidak perlu antisipasi akan kehabisan sumbernya.

Potensi energi baru dan terbarukan sangat signifikan, Indonesia dianugerahi sumber daya energi yang sangat bervariasi. Tercatat ada 75.091 MW panas bumi (geothermal), 29.164, mini/ mikro hydro 769,69 MW, biomasa 49.810, tenaga surya 480 kwh/m²/day, tenaga angin 3-6 m/s, bahan bakar nabati 161,5 juta SBM, biogas 2,3 juta SBM, dan sampah kota 3.000 MW (Dirjen Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi ESDM). Data tersebut

meyakinkan kita betapa kayanya energi baru dan terbarukan yang perlu diberdayakan.

Penerapan energi terbarukan sebagai energi alternatif tidaklah semudah yang dibayangkan, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Aspek-aspek tersebut adalah aspek *teknis, infrastruktur, geografis, sosial* dan *ekonomi*. Kelima aspek tersebutlah yang mempengaruhi tingkat keberhasilan dari sebuah implementasi energi terbarukan.

Memilih energi terbarukan berarti juga berkontribusi pada target reduksi Gas Rumah Kaca (GRK). Seperti tertuang dalam dokumen NDC (*Nationally Determined Contribution*) Indonesia, maka target penurunan emisi GRK adalah sebesar sebesar 29% dengan kemampuan sendiri (*unconditional*) dan sampai dengan 41% dengan dukungan internasional (*conditional*) dibandingkan dengan tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030.

2.1.1.1 Peraturan Pemerintah, Peraturan Menteri terkait EBT

- (1). **Permen ESDM No.10 Tahun 2017** tentang Pokok-Pokok dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik. Maksud dan ruang lingkup Permen ESDM ini untuk mengatur Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PJBL) antara pembeli (PLN) dengan penjual (IPP) terkait aspek komersial untuk seluruh jenis pembangkit termasuk Panas Bumi, PLTA dan PLT Biomass.
- (2). **Permen ESDM No.12/2017** mengatur tentang pembelian tenaga listrik dari pembangkit energi terbarukan yaitu PLTS Fotovoltaik, PLTB, PLTA, PLTBm, PLTBg, PLTSa, dan PLTP. Pembelian tenaga listrik dari pembangkit energi terbarukan lainnya dilakukan dengan mekanisme harga patokan atau pemilihan langsung. Dalam hal BPP setempat di atas rata-rata BPP nasional, harga pembelian tenaga listrik paling tinggi sebesar 85% dari BPP setempat atau khusus PLTSa dan PLTP paling tinggi sebesar BPP setempat;
- (3). Dalam rangka mewujudkan iklim usaha yang makin baik dengan tetap mendorong praktek efisiensi perusahaan ketenagalistrikan, Pemerintah melakukan penyempurnaan regulasi melalui penerbitan **Permen ESDM**

- No.49/2017** sebagai penyempurnaan atas Permen ESDM No. 10/2017 tentang Pokok-Pokok dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik;
- (4). Sementara itu, **Permen ESDM No.45/2017** merupakan revisi Permen ESDM No. 11/2017 tentang Pemanfaatan Gas Bumi untuk Pembangkit Tenaga Listrik dan;
 - (5). **Permen ESDM No.50/2017** merupakan revisi kedua Permen ESDM No. 12/2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik;
 - (6). **Permen ESDM No.12 Tahun 2018** merupakan Perubahan atas Permen ESDM no.39 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan energi Baru dan Energi Terbarukan Serta Konservasi Energi;
 - (7). **Permen ESDM No.53/2018** tentang Perubahan atas Peraturan Menteri ESDM No.50/2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Merupakan pedoman PT.PLN dalam melakukan pembelian tenaga listrik dari pembangkit listrik yang memanfaatkan Sumber Energi Terbarukan.
 - (8). **Keputusan Menteri ESDM No.39K/20/MEM/2019** tentang Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028.

2.1.1.2 Energi Surya (*Solar Energy*)

Energi surya adalah energi yang berupa sinar dan panas dari matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan serangkaian teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, listrik panas surya, arsitektur surya, dan fotosintesis buatan (Solar Fuels and Artificial Photosynthesis. Royal Society of Chemistry 2012).

Badan Energi Internasional mengatakan energi surya dapat membantu menyelesaikan permasalahan penting dunia: (International Energy Agency 2011). Perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, dan bersih akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang sudah ada, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor,

meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah dari sebelumnya. Keuntungan-keuntungan ini berlaku global. Oleh sebab itu, biaya insentif tambahan untuk pengembangan awal selayaknya dianggap sebagai investasi untuk pembelajaran; investasi ini harus digunakan secara bijak dan perlu dibagi bersama (International Energy Agency 2011).

Teknologi energi surya seperti papan fotovoltaik, pemanas air surya, dan pembangkit listrik dengan cermin dapat menyediakan sepertiga energi dunia pada tahun 2060 jika politikus mau mengatasi perubahan iklim. Energi dari matahari dapat memainkan peran penting dalam de-karbonisasi ekonomi global bersamaan dengan pengembangan efisiensi energi dan menerapkan biaya pada produsen gas rumah kaca. *"Kekuatan dari teknologi surya adalah varietasnya yang luas dan fleksibilitas dari aplikasinya, mulai dari skala kecil hingga ke skala besar"*. (Bloomberg Businessweek 2011). *"Kita telah buktikan... bahwa setelah persediaan minyak dan batubara kita habis, manusia dapat menerima energi tak terbatas dari sinar matahari."*—Frank Shuman, *New York Times*, 2 Juli, 1916. (American Inventor Uses Egypt's Sun for Power; Appliance Concentrates the Heat Rays and Produces Steam, Which Can Be Used to Drive Irrigation Pumps in Hot Climates n.d.)

2.1.1.3 Potensi Energi Surya

Indonesia adalah negara tropis yang yang berada disekitar garis khatulistiwa atau equator antara 6 LU - 1 LS dan 95 BT - 141 BT, dengan peredaran matahari dalam setahun yang berada pada daerah 23,50 LU dan 23,50 LS maka Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar untuk disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 10%, dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9% (Tim Komunikasi ESDM 2010) .

Tabel 2.1. Intensitas matahari di Indonesia

Provinsi	Wilayah	Tahun Pengukuran	Posisi Geografis	Intensitas Radiasi (Wh/m ²)
NAD	Padre	1990	4°15' LS; 96°52' BT	4,097
Sum Sel	Ujan Komering Ulu	1979 – 1981	3°10' LS; 104°42' BT	4,951
Lampung	Kab. Lampung Selatan	1972 – 1979	4°28' LS; 105°48' BT	5,234
DKI Jakarta	Jakarta Utara	1982 – 1981	6°11' LS; 106°05' BT	4,187
Banten	Yangerung	1980	6°07' LS; 106°30' BT	4,324
Jawa Barat	Lebak	1991 – 1995	6°11' LS; 106°30' BT	4,446
	Hogor	1980	6°11' LS; 106°39' BT	2,358
Jawa Tengah	Bandung	1980	6°56' LS; 107°38' BT	4,149
	Semarang	1979 – 1981	6°59' LS; 110°23' BT	5,488
DI Yogyakarta	Yogyakarta	1980	7°37' LS; 110°01' BT	4,500
Jawa Timur	Pacitan	1980	7°18' LS; 112°42' BT	4,300
Kal Bar	Pontianak	1991 – 1993	4°36' LS; 9°11' BT	4,852
Kal Tim	Kabupaten Berau	1991 – 1995	0°32' LU; 113°52' BT	4,792
Kal Sel	Kota Baru	1979 – 1981	3°23' LU; 114°50' BT	4,796
		1991 – 1995	3°23' LU; 114°41' BT	4,573
Gorontalo	Gorontalo	1991 – 1995	1°32' LU; 124°55' BT	4,911
Sul Teng	Donggala	1991 – 1994	0°57' LS; 120°0' BT	5,512
Papua	Jayapura	1992 – 1994	8°37' LS; 122°12' BT	5,750
Bali	Denpasar	1977 – 1979	8°40' LS; 115°13' BT	5,263
NTB	Kabupaten Sumbawa	1991 – 1995	9°37' LS; 120°16' BT	5,747
NTT	Ngada	1975 – 1978	10°9' LS; 123°36' LS	5,117

Sumber : BPPT, BMG

Sesuai data dari Global Solar Atlas “GTI map Solargis 2019” per 23 September 2019, wilayah Surabaya yang masuk Kawasan Barat Indonesia memiliki potensi radiasi penyinaran sebesar **5,469 kWh/m²/hari**.



Gambar 2.12. Intensitas Radiasi Matahari Wilayah Surabaya sumber : (World Bank Group 2019)

- (3). Mudah dioperasikan dan dipelihara, sehingga tidak memerlukan operator dengan pendidikan khusus untuk menjalankannya.
- (4). Memiliki umur teknis yang lama, diatas 20 tahun, karena tidak memiliki bagian-bagian yang bergerak yang menyebabkan terjadinya aus.
- (5). Merupakan teknologi yang ramah lingkungan, tidak mengakibatkan polusi udara (asap) dan polusi suara (bising).
- (6). Bersifat moduler sehingga dengan mudah dapat memenuhi kebutuhan listrik yang kecil maupun besar.
- (7). PLTS sangat bersahabat dengan lingkungan, tidak menghasilkan emisi gas, tidak bising, bekerja pada temperature ruang, dan tidak ada risiko bencana terhadap keselamatan manusia juga lingkungan;

Tabel 2.3. Perbandingan teknis PLTS dengan teknologi genset

Aspek Perbandingan	PLTS	GENSET
Umur teknis	20 thn	± 5 thn
Penggantian komponen	Battery setiap 3-4 thn; controller setiap 5 thn	Banyak komponen yang cepat aus dan rutin untuk diganti
Pengoperasian	Sangat mudah, layaknya listrik PLN	Memerlukan operator khusus
Pemeliharaan	Hampir tanpa pemeliharaan	Perlu perawatan rutin
Ketergantungan Supply BBM	Tidak tergantung supply BBM	Sangat tergantung supply BBM
Biaya Operasional, Investasi & Lifecycle Cost	Menggunakan matahari secara gratis; Biaya Operasional nol; Investasi Awal peralatan relative tinggi; Lifecycle Cost murah	Biaya Operasional besar; Investasi relative rendah; Lifecycle Cost mahal
Keamanan	Listrik DC arus kecil; aman	Bahaya sengatan listrik
Polusi	Zero polusi & suara	Polusi asap dan kebisingan

Sumber : (Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 2013)

2.1.2.1 Jenis PLTS

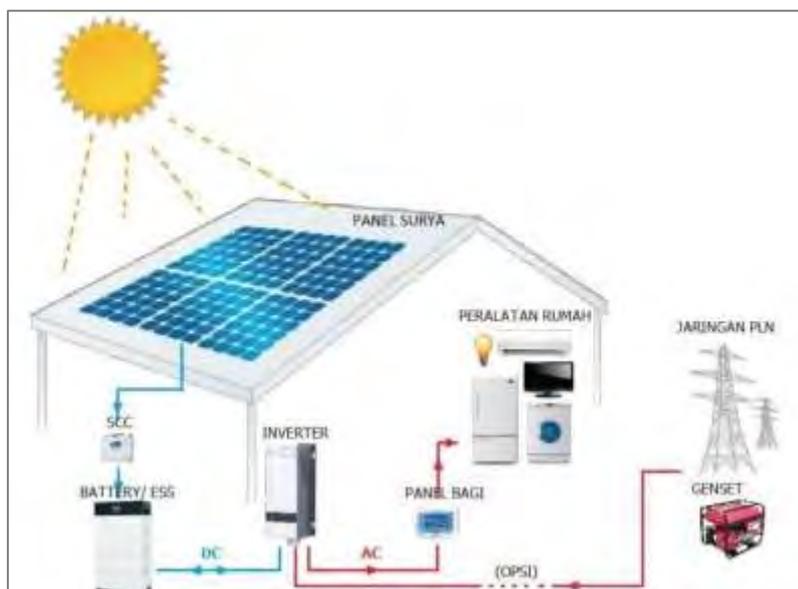
Terdapat tiga jenis PLTS, yaitu *PLTS off-grid*, *PLTS on-grid* serta PLTS Hybrid dengan teknologi lainnya; yang dibedakan berdasarkan karakteristik penyimpanan dayanya. Selain itu, PLTS juga dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listriknya; yang meliputi

PLTS terpusat dan PLTS tersebar/terdistribusi. (Kementerian ESDM, USAID 2018)

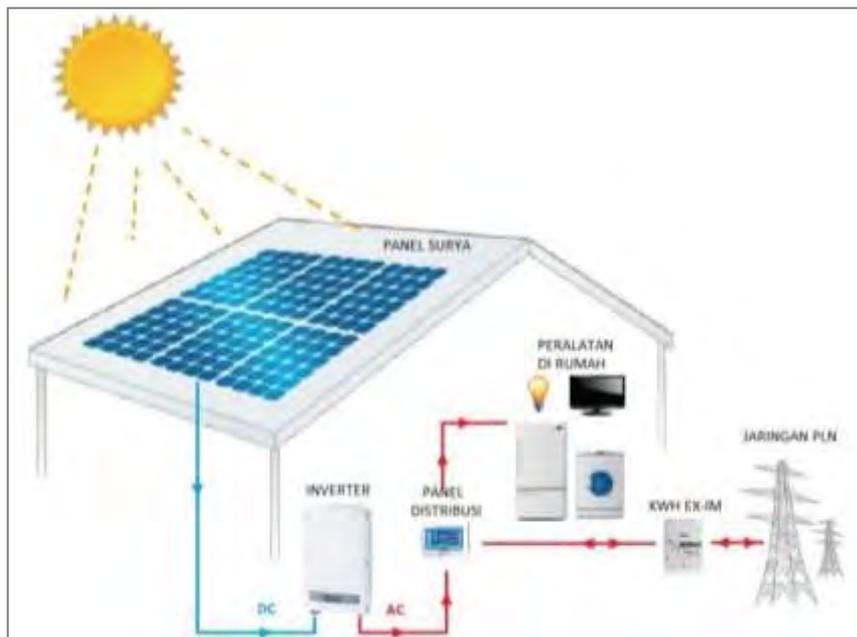
Tabel 2.4. Jenis PLTS

	PLTS Off-grid	PLTS On-grid	PLTS Hybrid
Baterai	Ada, untuk memberikan suplai listrik sesuai kebutuhan	Tidak	Bisa Off-grid (baterai) dan On-grid (tanpa baterai)
Manfaat	Untuk menjangkau daerah yang belum ada jaringan listrik PLN.	Untuk berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama.	Memaksimalkan penyediaan energi dari berbagai potensi sumber daya daerah
PLTS Terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa rumah pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda di setiap rumah pelanggan		
PLTS Tersebar/terdistribusi	PLTS yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi, sehingga setiap rumah pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri		
	Contoh PLTS off-grid tersebar: Solar Home System (SHS)	Contoh PLTS on-grid tersebar: Solar PV Rooftop	

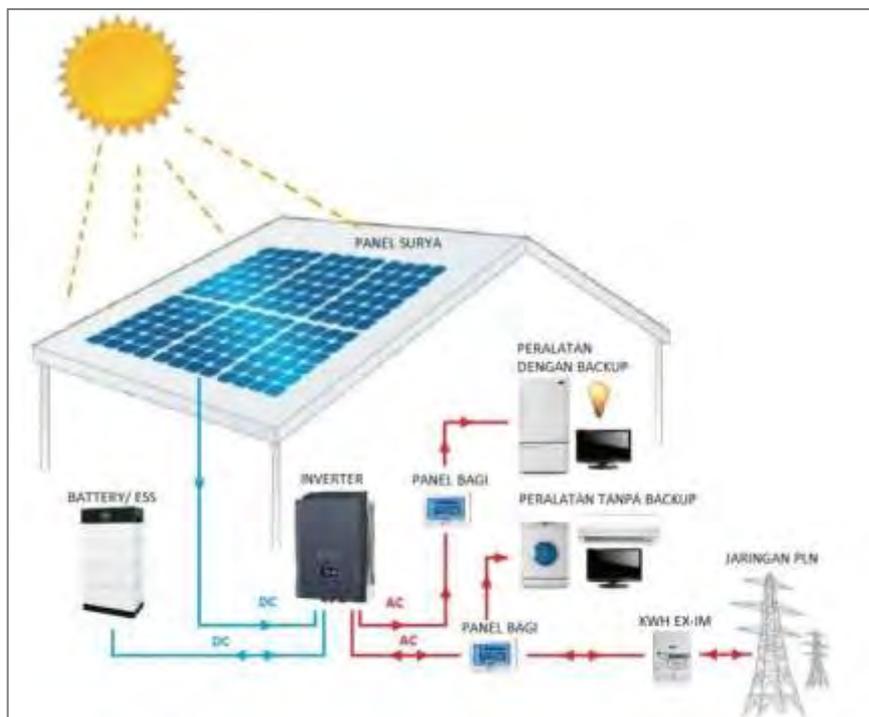
Sumber : Kementerian ESDM



Gambar 2.14 PLTS Off-grid System



Gambar 2.15 *On-grid System*



Gambar 2.16 *Hybrid System*

(2). Inverter,

Inverter On-grid berfungsi mengubah daya DC dari modul PV menjadi daya AC untuk disalurkan ke jaringan/beban. Inverter merupakan peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (*direct current*) menjadi arus bolak-balik (*alternating current*) ketika diberi tegangan dan frekuensi tertentu. Umumnya *inverter on-grid* telah memiliki kemampuan untuk langsung sinkron dengan grid saat dinyalakan. Inverter On grid juga umumnya memiliki *anti-islanding protection* yang artinya bila ada gangguan pada jaringan/black out maka Inverter akan secara otomatis terlepas dari grid (OFF) dan akan terhubung kembali (ON) secara otomatis saat jaringan kembali normal.

Dalam memilih inverter yang akan digunakan untuk sistem PLTS *On-grid* diperlukan beberapa kriteria, antara lain:

- a). Standard inverter yang digunakan untuk aplikasi *PLTS On-grid* yaitu UL 1741
- b). Tegangan DC yang berasal dari baterai atau modul PV
- c). Karakteristik inverter seperti efisiensi, frekuensi, dan tegangan
- d). Garansi produk, biasanya selama 5 hingga 10 tahun
- e). Kemampuan MPPT yaitu kemampuan inverter untuk menentukan nilai maksimum tegangan dan arus yang keluar dari modul PV

Masukan tegangan inverter DC apabila tanpa baterai biasanya sebesar 230-600 V, sedangkan untuk sistem menggunakan baterai sebesar 12,24 atau 48 V. Untuk menghitung nilai *Ampere-hour* (Ah) yang dibutuhkan oleh inverter adalah sebagai berikut.

(3). Transformer dan Switchgear

Pada sistem PLTS On Grid skala besar dibutuhkan transformer untuk menaikkan level tegangan dari keluaran inverter 380/400 Volt (3 phase) ke level tegangan yang lebih tinggi (20 kV atau di atasnya). Namun untuk skala kecil transformer tidak diperlukan, koneksi ke jaringan bisa dilakukan pada tegangan 380/400 V (3 phasa) ataupun 220

V (1 phasa). Switchgear dibutuhkan pada PLTS skala besar sebagai fungsi proteksi sistem PLTS dari grid.

(4). Solar Charge Controller

Solar Charge Controller (SCC), atau Solar Charge Regulator (SCR), berfungsi membatasi arus listrik yang masuk maupun keluar dari baterai. SCC/SCR mencegah pengisian daya (charging) yang berlebihan serta melindungi baterai dari tegangan berlebih.

Selain itu, SCC/SCR juga mencegah baterai agar energi listrik yang tersimpan di dalamnya tidak terkuras (discharged) sampai habis. Beberapa tipe SCC/SCR dapat secara otomatis dan terkontrol memutus tegangan suplai beban, untuk mencegah baterai dari kondisi deep discharge yang bisa memperpendek umur pakai baterai. Salah satu fitur pada SCC/SCR yang paling bermanfaat untuk charging adalah system MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). Dengan adanya sistem ini, baterai lebih cepat terisi karena modul PV akan selalu beroperasi pada output Titik Daya Maksimal, yang bervariasi sesuai dengan iradiasi matahari. Modul PV hanya berhenti menghasilkan daya maksimal ketika baterai sudah mendekati batas maksimum charging. Dengan menggunakan MPPT, keuntungan lainnya adalah sistem tegangan rangkaian seri modul PV tidak perlu sama dengan sistem tegangan baterai.

(5). Battery

Baterai merupakan salah satu cara penyimpanan daya yang paling umum digunakan. Baterai menjadi komponen penting yang mempengaruhi sistem PLTS terpusat secara keseluruhan. Perawatan baterai, masa pakai, daya dan efisiensi merupakan parameter baterai yang mempengaruhi kinerja PLTS terpusat.

Baterai yang paling tepat untuk sistem PLTS adalah yang memiliki jenis karakter *Deep Discharge*. Baterai jenis ini bisa di-discharge energi listriknya hingga tersisa sekitar 20% dari kapasitas simpan baterai. (Baterai untuk starting kendaraan bermotor umumnya hanya boleh di-discharge hingga tersisa 80% dari kapasitas simpan baterai. Jika

didischarge melebihi kapasitas tersebut, maka umur baterai akan lebih singkat).

2.1.3 Harga Listrik EBT

Menurut laporan *Renewable Power Generation Costs in 2018* yang dirilis International Renewable Energy Agency (IRENA), sejak 2010 – 2018 biaya produksi listrik terbarukan sudah turun sekitar 46 persen. Harga listrik berbasis energi terbarukan semakin terjangkau, sehingga dalam lima tahun ke depan harganya diproyeksikan akan makin rendah lagi, hingga lebih murah dari listrik berbasis batu bara ataupun migas. Harga listrik panel surya atau *solar photovoltaics* berkisar \$0,085/kWh (IRENA 2019, 20) atau **Rp1.209/kWh**. Unit pembangkit listrik panel surya diklaim mampu beroperasi hingga **25 tahun** dengan perawatan minim, tidak memerlukan investasi besar, dan proses instalasinya tergolong mudah. (Ahdiat, Ini Harga Listrik Energi Terbarukan, Mahal atau Murah 2019)

Menurut data IRENA, saat ini pasar terbesar teknologi panel surya adalah Tiongkok, India, Amerika Serikat, Jepang, Australia dan Jerman. Jika dilihat rata-ratanya, harga listrik energi terbarukan sudah *lebih murah* dari listrik berbasis migas, juga *bisa bersaing* dengan listrik batu bara (Ahdiat and Sitanggang 2019). Untuk perbandingan rincian rata-rata harga listrik terbarukan global 2018 dengan rata-rata harga listrik energi fosil dapat dilihat pada Tabel 2.2. berikut ini :

Tabel 2.5 Perbandingan Harga Listrik : EBT dengan Fosil per 2018

Jenis Listrik EBT	Rata-rata Harga Global	Rata-rata Harga Indonesia	Jenis Listrik Fosil	Rata-rata Harga Indonesia
Tenaga Air	\$0,047	Rp. 669/kWh	Minyak	>Rp. 2.000/kWh
Tenaga Angin	\$0,056	Rp. 796/kWh	Gas	Rp. 1.300–Rp. 1.500/kWh
Tenaga Panas Bumi	\$0,072	Rp. 1.024/kWh		
Panel Surya	\$0,085	Rp. 1.209/kWh	Batu Bara	Rp. 680/kWh

Sumber: <https://kbr.id/nasional/06-2019/ini-harga-listrik-energi-terbarukan-mahal-atau-murah-99690.html> (IRENA 2018) (Direktur Regional Jawa Barat PLN, Haryanto W.S)

No.	Jenis Pembangkit Listrik	Harga Jual (Rp/kWh)
1	Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	750
2	Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro/Mikrohidro (PLTM/PLTMH)	500
3	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	750
4	Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)*	950
5	Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)	600
6	Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kafa (PLTsa)*	1000

Keterangan:
*) PLTBm dan PLTsa yang berlokasi di daerah selain Pulau Jawa dan Pulau Bali

Gambar 2.18 Perbandingan Harga Jual per Jenis Pembangkit

Sumber: www.esdm.go.id

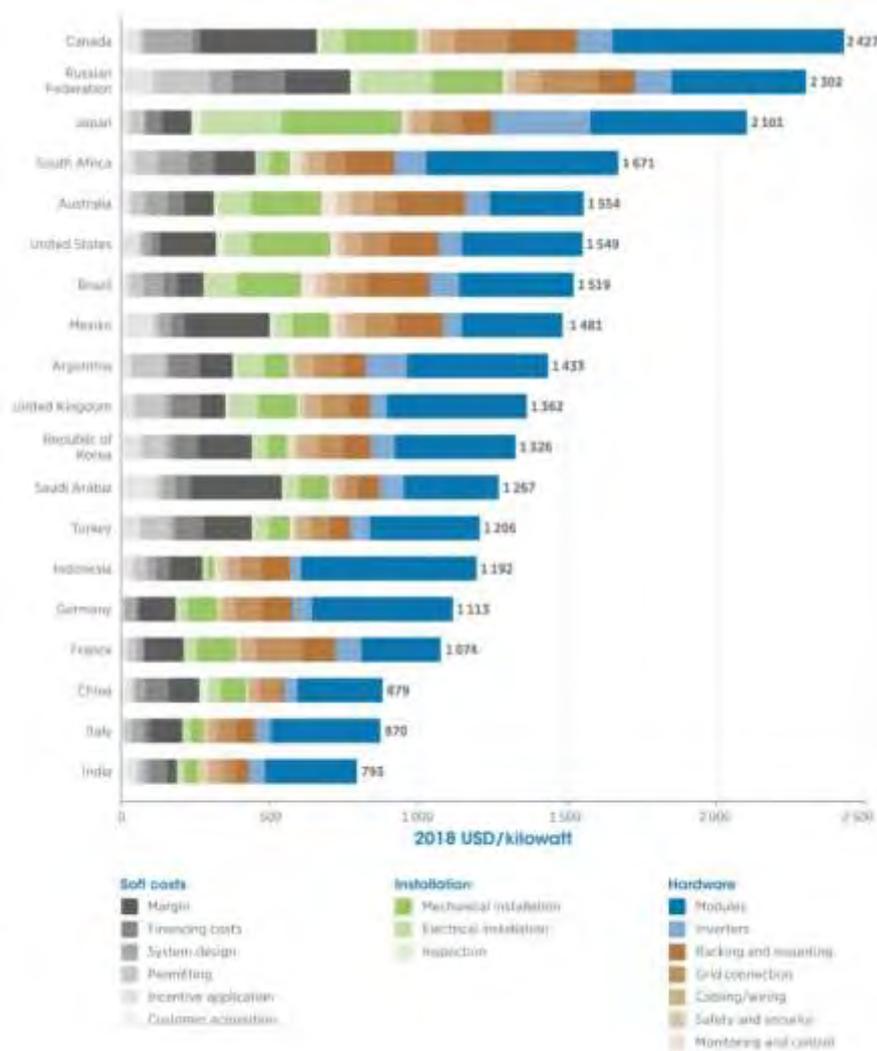
Energi terbarukan telah menjadi cara yang semakin kompetitif untuk memenuhi kebutuhan pembangkit listrik baru. Studi biaya komprehensif dari Badan Energi Terbarukan Internasional (IRENA) menyoroti tren terbaru untuk masing-masing teknologi utama energi terbarukan. Dirilis menjelang diskusi energi dan iklim PBB, Biaya Pembangkit Listrik EBT pada tahun 2018 mengacu pada data biaya dan harga lelang dari proyek-proyek di seluruh dunia.

Biaya dari semua teknologi pembangkit listrik terbarukan yang tersedia secara komersial menurun pada tahun 2018. Biaya listrik rata-rata tertimbang global turun 26% *year-on-year* untuk tenaga surya terkonsentrasi (CSP), diikuti oleh bioenergi (-14%), *solar photovoltaic* (PV) dan angin darat (keduanya-13%), tenaga air (-12%), panas bumi dan angin lepas pantai (keduanya -1%), laporan itu menemukan (IRENA 2018). Di antara temuan lainnya:

- (1). Angin darat dan tenaga surya PV sekarang, seringkali lebih murah daripada opsi bahan bakar fosil, tanpa bantuan keuangan.
- (2). Instalasi surya dan angin baru akan bahkan semakin melemahkan biaya operasional saja dari pembangkit listrik tenaga batu bara yang ada.
- (3). Biaya teknologi yang rendah dan turun menjadikan energi terbarukan sebagai tulang punggung kompetitif dari dekarbonisasi energi - tujuan iklim yang krusial.

- (4). Prakiraan biaya untuk PV surya dan angin darat terus direvisi ketika data baru muncul, dengan energi terbarukan mengalahkan ekspektasi sebelumnya.

Seiring dengan meninjau tren biaya, IRENA terus menganalisis komponen biaya secara rinci dengan menggunakan basis data biaya IRENA dari sekitar 17.000 proyek pembangkit listrik yang dapat diperbarui dan 9.000 perjanjian lelang dan pembelian daya untuk energi yang dapat diperbarui.



Gambar 2.19 *Utility-scale solar PV*: Total installed costs in 2018 by component and country

(Sumber : <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>)

2.1.3.1 Kebijakan Harga Jual Listrik PLTS

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Ignasius Jonan dalam beleid yang diteken Jonan 15 November 2018 mengatakan harga listrik hasil Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap (PLTS Atap) wajar lebih murah jika dibandingkan produksi PT PLN (Persero). Pasalnya, dalam menyalurkan listrik hasil PLTS Atap, jaringan yang dipakai merupakan transmisi dari PLN.

Sesuai Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018, jumlah energi listrik yang dijual (ekspor) kepada PLN oleh konsumen tersebut dihitung berdasarkan nilai kWh yang tercatat pada meter kWh ekspor-impor dikali **65%**. Artinya, harganya lebih murah 35 persen dibandingkan listrik yang dijual PLN kepada pelanggan PLTS Atap atau sekitar **Rp 953,55 per kWh** dari normalnya **Rp 1.467 per kWh**. Perhitungan energi listrik Pelanggan PLTS Atap dilakukan setiap bulan berdasarkan selisih antara nilai kWh Impor dengan nilai kWh ekspor. Jika jumlah energi listrik yang diekspor lebih besar dari jumlah energi yang diimpor pada bulan berjalan, selisih akan diakumulasikan dan diperhitungkan sebagai pengurang tagihan listrik bulan berikutnya (CNN Indonesia 2018).

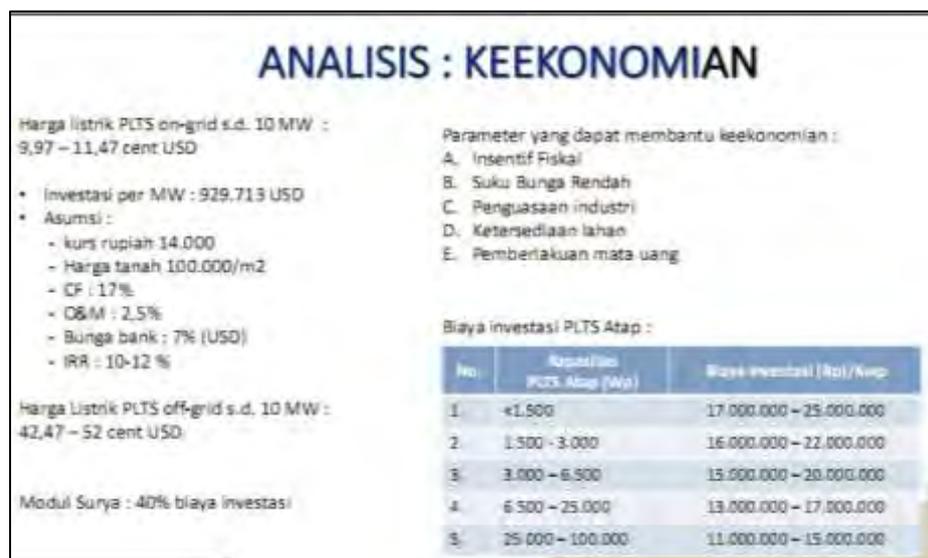
Sebelumnya, Kementerian ESDM telah menerbitkan ketentuan terkait penggunaan listrik PLTS Atap dengan menerbitkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN (Persero). Dimana komposisi pembentuk tarif listrik di Indonesia biasanya dua pertiga berasal dari beban pembangkit listrik. Sementara, sepertiga sisanya berasal dari beban jaringan transmisi atau distribusi. Perkembangan PLTS Atap juga akan membantu pemerintah mencapai target porsi energi baru terbarukan (EBT) dalam energi primer menjadi 23 persen pada 2025 dari posisinya saat ini yang masih berkisar 12 persen.

Menurut Direktur Eksekutif Institute for Essential Service Reform Fabby Tumiwa sebelumnya menilai jika harga jual listrik yang dihasilkan PLTS Atap lebih murah maka hal itu akan menjadi disinsentif. Dengan harga yang lebih rendah, pengembalian investasi panel surya atap yang berkisar Rp15 juta per kiloWatt (kW) menjadi lebih lama yaitu dari kisaran delapan hingga sembilan tahun menjadi 12 hingga 13 tahun. Disinsentif tersebut, bisa menghambat percepatan pemasangan panel surya. Dalam Rencana Umum Energi Nasional

(RUEN), pemerintah menargetkan kapasitas listrik surya atap bisa meningkat menjadi 6,5 GigaWatt pada 2025. Sementara itu, berdasarkan catatan IESR, listrik yang dihasilkan dari pembangkit tenaga surya atap di Indonesia masih kurang dari 100 MW. Sebagai pembandingan, tahun lalu, listrik tenaga surya yang dihasilkan oleh Thailand telah mencapai 2,73 GW, Malaysia 830 MW, dan Singapura 130 MW.

2.1.4 Analisis Ekonomi

Pemerintah sendiri melalui Kementerian ESDM memiliki acuan dalam analisis keekonomian terkait harga dan biaya investasi PLTS. (Kementerian ESDM-Direktorat Jendral EBT 2019)



Gambar 2.20 Analisis Keekonomian PLTS 2019

Sumber : Kementerian ESDM

Dalam naskah Keuangan Berkelanjutan Pembiayaan Energi Bersih (LPEM FEB UI; USAID; OJK 2015) menyebutkan bahwa terdapat beberapa factor yang mempengaruhi pendapatan pembangkit beserta komponen biayanya. Pada pendapatan, faktor pemicu produksi adalah intensitas cahaya matahari. Dan pada bagian komponen mesin dan peralatan utamanya berupa panel surya dan inverter.

Beberapa hal yang perlu dianalisis dari segi keuangan pembiayaan PLTS oleh pengembang adalah :

- (1). Nilai investasi awal dan belanja modal selanjutnya, dengan memperhatikan perbandingan kewajaran antara biaya dan kualitas teknologi yang digunakan;
- (2). Asumsi operasional, minimum efisiensi operasi 80%;
- (3). Penjualan tenaga listrik dan pendapatan lain, dengan memperhatikan enyesuaian FIT;
- (4). Biaya operasi, administrasi, pemeliharaan dan sewa;
- (5). Pajak dan retribusi;
- (6). Depresiasi;
- (7). Suku Bunga dan IDC;
- (8). Asuransi;
- (9). Rasio keuangan (profitabilitas, likuiditas, solvabilitas);
- (10). Dividen;
- (11). Cash flow schedule;

COST ITEM	1 MW SYSTEM		5 MW SYSTEM	
	\$/WATT	\$/MW	\$/W	\$/5 MW
Developer Costs	\$0.15	\$150,000	\$0.05	\$250,000
Engineering	\$0.50	\$500,000	\$0.20	\$1,000,000
Permitting	\$0.09	\$90,000	\$0.04	\$200,000
Site Preparation / Civil / Fencing	\$0.10	\$100,000	\$0.08	\$400,000
Panel Procurement	\$0.85	\$850,000	\$0.85	\$4,250,000
Inverter / Transformer Procurement	\$0.30	\$300,000	\$0.30	\$1,500,000
Racking Procurement and Installation	\$0.30	\$300,000	\$0.30	\$1,500,000
Electrical Installation (Panel, Inverters/ Transformers, DC and AC Systems, SCADA)	\$0.45	\$450,000	\$0.40	\$2,000,000
Commissioning	\$0.05	\$50,000	\$0.030	\$150,000
Total System*	\$2.79	\$2,790,000	\$2.250	\$11,250,000

Gambar 2.21 Ilustrasi Rincian Biaya sebuah proyek PLTS dengan skala kapasitas 1 MW dan 5 MW

Sumber : (LPEM FEB UI; USAID; OJK 2015)

Dalam melakukan analisis ekonomi terhadap sistem PLTS terdapat beberapa indikator perhitungan secara ekonomis yang sering digunakan, antara lain *payback period analysis* dan *Net Present Value (NPV)*.

2.1.2.1 Payback Period

Payback period adalah waktu yang dibutuhkan agar investasi yang telah dikeluarkan kembali kepada investor. Perhitungan *payback period* dilakukan untuk mengetahui risiko keuangan terhadap proyek yang akan dilakukan. Nilai *payback period* yang semakin kecil akan semakin baik, dengan faktor risiko terhadap pengembalian modal akan semakin cepat dalam waktu yang cepat. Dalam menghitung *payback period* biasa disebut metode *payback* dengan membagi modal awal yang dikeluarkan dengan pendapatan yang diterima oleh pemodal selama satu tahun.

Penggunaan *payback period* dalam menghitung efektivitas investasi tetap memiliki batasan. *Payback period* tidak menghitung keuntungan yang didapatkan setelah *payback period* serta memiliki keterbatasan dalam membandingkan dua proyek. Persamaan adalah sebagai berikut:

$$\text{Payback Period (PP)} = \frac{\text{Investasi Kas Bersih}}{\text{Pendapatan Kas Bersih}} \times 1 \text{ tahun} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.1.2.2 Net Present Value (NPV)

Net Present Value atau NPV digunakan untuk menganalisis keuntungan dari investasi atau proyek, formula yang digunakan sensitif terhadap perubahan nilai mata uang atau barang. NPV membandingkan nilai uang yang diterima hari ini dan nilai uang pada masa mendatang dengan memasukkan variabel inflasi dan laju pengembalian. NPV didasarkan pada teknik *discounted cash flow* (DCF) dengan 3 langkah dasar, yaitu menemukan *present value* dari setiap arus uang, termasuk didalamnya adalah pemasukan, pengeluaran, dan diskon harga proyek.

NPV adalah perbandingan antara nilai investasi pasar dan biaya itu sendiri. Jika nilai NPV adalah negatif, maka proyek tidak direkomendasikan untuk dilaksanakan, jika nilainya positif, maka proyek layak untuk dilaksanakan. Nilai NPV bernilai nol berarti tidak ada perbedaan apabila proyek tetap dilaksanakan

atau ditolak. Rumus untuk menentukan NPV adalah sebagai berikut. (Ross, S 2010)

$$NPV = -S + \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- i = Discount Rate = Interest Rate + Inflation Rate
- n = Masa kerja modul PV (tahun)
- t = tahun yang akan dihitung (tahun)
- S = Investasi awal
- NCF = Pendapatan bersih hingga tahun ke-n

2.1.5 Analisis Teknologi

Dalam naskah Keuangan Berkelanjutan Pembiayaan Energi Bersih (LPEM FEB UI; USAID; OJK 2015) menyebutkan bahwa *evaluasi pertama* dalam aspek teknis pembiayaan PLTS adalah kelayakan dari proyek itu sendiri, baik meliputi rancangan layout, pemilihan teknologi, kepantasan estimasi biaya proyek, asuransi proyek dan garansi.

Evaluasi kedua adalah evaluasi terhadap ASRI (lingkungan dan sosial) meliputi:

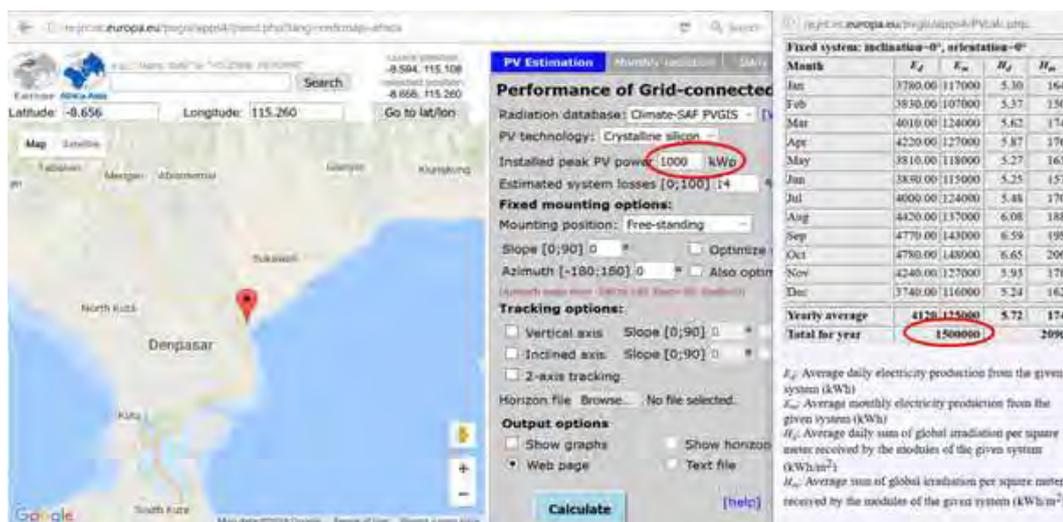
- (1). Fasilitasi terhadap kondisi lingkungan sekitar;
- (2). Pemenuhan ijin lingkungan proyek PLTS;
- (3). Biaya proyek, terkait akomodasi lingkungan dan social;
- (4). Ketersediaan prosedur dan dokumentasi;
- (5). Dukungan masyarakat sekitar;

Setiap pembangkit listrik memiliki profil teknis umum masing-masing dalam sebuah proyek PLTS , antara lain :

- (1). Kebutuhan lahan sekitar 1,5 – 2,3 hektar (ha) per MWp, tergantung letak geografis dan peralatan konstruksi yang digunakan;
- (2). Panel surya dengan efisiensi 16%;
- (3). Efisiensi minimal inverter 85%;
- (4). Mounting structure, foundation dan upper structure harus standar;

- (5). Run test harus dilakukan selama 30 hari setelah COD dalam menguji kesiapan operasional pembangkit;
- (6). Electrical losses saat operasi maksimal adalah 1% untuk DC dan 3% untuk AC;
- (7). Performance rasio minimal adalah 80%, dengan jaminan performa dan SLA kurang dari 4 hari;

Salah satu sumber data teknis untuk menghitung nilai penjualan tenaga listrik dari sebuah PLTS ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut, untuk kapasitas PLTS sebesar 1 MWp (1.000 kWp), proyeksi nilai penjualan tenaga listriknya per tahun adalah $1.500.000 \text{ kWh} \times \text{FIT (misal USD0,16)} = \text{USD}240.000$.



Gambar 2.22 Contoh Sumber Data Radiasi Matahari

Sumber : <http://re.jrc.ec.europa.eu>, (LPEM FEB UI; USAID; OJK 2015)

Kiki Yonata dalam penelitiannya, (Yonata, Analisis Tekno-Ekonomi Terhadap Desain Sistem PLTS Pada Bangunan Komersial di Surabaya, Indonesia 2017) menggunakan analisis teknis dengan memperhatikan indikator desain pada sistem PLTS itu sendiri maupun komponen yang akan digunakan. Dan membagi komponen pada desain system PLTS On-grid dan Off-grid adalah sebagai berikut:

$$\text{Total Beban Harian (Wh)} = \text{Energi total} + 20\% \text{ Energi Total} \dots\dots(2.3)$$

$$\text{Modul PV (seri)} = \frac{\text{Tegangan Sistem}}{\text{Tegangan Modul PV}} \dots\dots\dots(2.4)$$

(2). Inverter

Inverter berfungsi untuk mengubah arus searah (*direct current*) menjadi arus bolak-balik (*alternating current*) ketika diberi tegangan dan frekuensi tertentu. Ada beberapa jenis inverter yang digunakan untuk menghasilkan arus bolak-balik, yaitu *pure sine wave inverter* dan *modified sine wave inverter*. Dalam memilih inverter yang akan digunakan untuk sistem PLTS *On-grid* diperlukan beberapa kriteria, antara lain:

- (1). Standard inverter yang digunakan untuk aplikasi *PLTS On-grid* yaitu UL 1741
- (2). Tegangan DC yang berasal dari baterai atau modul PV
- (3). Karakteristik inverter seperti efisiensi, frekuensi, dan tegangan
- (4). Garansi produk, biasanya selama **5 hingga 10 tahun**
- (5). Kemampuan MPPT yaitu kemampuan inverter untuk menentukan nilai maksimum tegangan dan arus yang keluar dari modul PV

Masukan tegangan inverter DC apabila tanpa baterai biasanya sebesar 230-600 V, sedangkan untuk sistem menggunakan baterai sebesar 12,24 atau 48 V.

(3). Battery

Battery digunakan sebagai media penyimpanan listrik DC yang akan digunakan pada waktu yang ditentukan. Biasanya untuk model PLTS *Off-grid* atau Komunal. Fungsi lainnya adalah untuk mengurangi efisiensi dan keluaran dari system PLTS hingga 10% untuk penggunaan baterai *Lead-Acid* . Adanya penggunaan baterai akan membuat biaya pengembangan sistem PLTS meningkat.

Untuk menghitung daya baterai yang dibutuhkan (Wh), maka harus diketahui terlebih dahulu *kapasitas beban*, *kapasitas baterai* dan nilai *deep of discharge* (DOD).

$$\text{Kapasitas Beban} = \frac{\text{Energi Beban}}{\text{Tegangan Input Inverter}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{\text{Kapasitas Beban}}{\% \text{ DOD}} \dots\dots\dots(2.6)$$

(4). Controller

Controller berfungsi sebagai pusat sambungan (pengatur system) listrik ke system listrik dan baterai. Fungsi lain adalah untuk mengatur system agar penggunaan listriknya aman dan efektif sehingga semua komponen sistem PLTS lainnya terhindar dari bahaya akibat perubahan level tegangan.

2.1.6 Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development*)

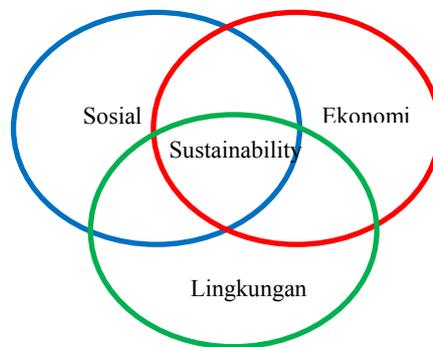
Brutland Report merupakan dokumen awal yang membahas mengenai konsep awal dari *sustainability*. Kata *sustainability* pertama kali diperkenalkan dalam konteks pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) yang didefinisikan oleh *United Nations* tahun 1987, dimana PBB menyebutkan bahwa “*Sustainable development is a development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*” [Pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri] (UN Documents n.d.).

Dokumen tersebut membahas mengenai dua poin utama yaitu *pembangunan* dan *lingkungan*. Dimana dapat direpresentasikan sebagai kebutuhan versus sumber daya, atau dapat diartikan juga sebagai perencanaan jangka panjang versus jangka pendek.

Ada dua asumsi umum yang berkembang mengenai wacana *corporate sustainability*. Pertama, *sustainability* adalah sinonim dengan *sustainable*

development. Kedua, bahwa perusahaan yang *sustainable* akan terjadi hanya dengan mengenali isu-isu lingkungan dan sosial dan memasukan mereka kedalam perencanaan strategis (Aras and Crowther ,2008, 433-448) (Supriyadi ,2013, 14).

Umumnya konsep *sustainability* melibatkan tiga dimensi, yaitu: ekonomi, sosial dan lingkungan, sehingga suatu aktivitas dapat dikatakan *sustainable* jika mampu bertahan dalam waktu yang sangat lama dan menanggung beban dari ketiga dimensi tersebut (Herremans and Reid 2002) (Suryawan 2019, 12). Demensi *sustainability* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.24 Dimensi Sustainability

Tujuannya adalah untuk menghasilkan serangkaian tujuan universal yang memenuhi tantangan lingkungan, politik dan ekonomi yang mendesak yang dihadapi dunia kita (Stakeholder Forum and CIVICUS, with the financial support of the European Union 2015).



Gambar 2.25 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) Indonesia
 Sumber: (Sekretariat SDGs Indonesia-Bappenas 2019)

Platform nasional tentang *Sustainable Development Goals (SDGs)* yang pertama di Indonesia, diikuti sekitar 100 akademisi Indonesia dari 50 universitas terkemuka dan Pusat Penelitian dan Penjangkauan Masyarakat (LPPM) diharapkan akan memicu peluncuran keunggulan nasional untuk penelitian terkait SDG dan aktivitas kebijakan publik. SDGs atau Global Goals adalah kumpulan 17 tujuan pembangunan yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015, seperti (Gambar 2.6) yang terdiri dari 17 tujuan, 169 target dan lebih dari 300 indikator (Sekretariat SDGs Indonesia-Bappenas 2019), dengan berkomitmen untuk mencapai tujuan pada tahun 2030, yang mendorong perubahan-perubahan yang bergeser ke arah pembangunan berkelanjutan yang berdasarkan hak asasi manusia dan kesetaraan untuk mendorong pembangunan *sosial, ekonomi dan lingkungan hidup*.

Tabel 2.6 Paradigma Dimensi Sustainability

Dimensi	Tujuan
Ekonomi	Pertumbuhan ekonomi
	Pengembangan ekonomi local
	Produktivitas ekonomi
	Trickle Down
	Efisiensi sumber daya
	Efisiensi operasional
	Keterjangkauan
Sosial	Keadilan

	Pemberdayaan/pembangunan komunitas
	Aksesibilitas
	Partisipasi
	Sharing
	Identitas budaya
	Stabilitas kelembagaan
	Jaminan keselamatan dan keamanan
	Kesehatan
Lingkungan	Integritas ekosistem
	Keanekaragaman hayati
	Daya dukung
	Pencegahan dan mitigasi perubahan iklim
	Pencegahan polusi udara, kebisingan dan air
	Pelestarian ruang terbuka

sumber diolah: Basiago, 1998; Litman, 2016

2.1.7 Energy Sustainability

Energi merupakan kebutuhan mendasar yang berdampak pada pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, strategi penyediaan serta distribusinya menjadi hal yang penting. Pasokan energi yang memadai dan terjangkau telah menjadi kunci bagi pembangunan ekonomi dan transisi dari ekonomi pertanian subsisten ke industri modern dan masyarakat yang berorientasi layanan. Energi adalah pusat dari peningkatan kesejahteraan sosial dan ekonomi, dan sangat diperlukan bagi sebagian besar keberlangsungan industri dan komersial.

Untuk mencapai pembangunan ekonomi berkelanjutan pada skala global akan membutuhkan penggunaan sumber daya, teknologi, insentif ekonomi yang tepat dan perencanaan kebijakan strategis di tingkat lokal dan nasional. Ini juga akan membutuhkan pemantauan berkala terhadap dampak kebijakan dan strategi terpilih untuk melihat apakah mereka memajukan pembangunan berkelanjutan atau jika harus disesuaikan. Adalah penting untuk dapat mengukur keadaan perkembangan suatu negara dan untuk memantau kemajuan atau kekurangannya menuju keberlanjutan. *Pertama*, pembuat kebijakan perlu mengetahui status negara mereka saat ini mengenai energi dan keberlanjutan ekonomi, apa yang perlu ditingkatkan dan bagaimana perbaikan ini dapat dicapai. *Kedua*, penting bagi pembuat kebijakan untuk memahami implikasi energi terpilih, program

lingkungan dan ekonomi, kebijakan dan rencana, dan dampaknya terhadap pembentukan pembangunan dan pada kelayakan membuat pembangunan ini berkelanjutan. *Ketiga*, mau tidak mau akan ada trade-off. Singkatnya, ada kebutuhan segera untuk pilihan yang tepat dan seimbang untuk dibuat pada kebijakan, investasi dan tindakan korektif.

2.1.7.1 Energy Indicators for Sustainable Development (EISD)

Ketika memilih bahan bakar energi dan teknologi terkait untuk produksi, pengiriman, dan penggunaan layanan energi, penting untuk mempertimbangkan konsekuensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pembuat kebijakan memerlukan metode untuk mengukur dan menilai efek penggunaan energi saat ini dan masa depan pada kesehatan manusia, masyarakat manusia, udara, tanah dan air. Mereka perlu menentukan apakah penggunaan energi saat ini berkelanjutan dan, jika tidak, bagaimana cara mengubahnya jadi itu. Ini adalah tujuan dari indikator energi yang disajikan dalam laporan ini, yang membahas isu-isu penting dalam tiga dimensi utama pembangunan berkelanjutan atau biasa disebut "*Triple Bottom Lines*": ekonomi, sosial dan lingkungan.

Energy Indicators for Sustainable Development (EISD) dengan metodologi dan pedoman yang sesuai yang berguna bagi pembuat kebijakan, analis energi, dan ahli statistik. Beberapa indikator fokus pada pemberian layanan energi esensial untuk mengurangi kemiskinan dan meningkatkan kondisi kehidupan, sementara indikator lainnya fokus pada efek lingkungan. Penting untuk mempertimbangkan tidak hanya masalah ekonomi, tetapi juga sosial dan lingkungan ini ketika memutuskan kebijakan. Peran analis adalah untuk memilih, menimbang, dan menyajikan kepada pembuat kebijakan indikator yang tepat untuk situasi di negara mereka sendiri sehingga dapat mendorong pembangunan secara berkelanjutan. (IAEA, et al. 2005, p.1)

United Nation dalam KTT di *World Summit on Sustainable Development* (WSSD) yang diselenggarakan di Johannesburg membahas rangkaian inti indikator energi, yang sekarang disebut *Energy Indicators for Sustainable Development* (EISD), telah dirancang untuk memberikan informasi tentang tren terkait energi saat ini dalam format yang membantu pengambilan keputusan di

tingkat nasional untuk membantu suatu negara menilai kebijakan energi yang efektif untuk aksi pembangunan berkelanjutan. Indikator-indikator energi antara lain (UNDESA 2001, p.5-6):

- (1). untuk mengintegrasikan energi ke dalam program-program sosial ekonomi,
- (2). untuk menggabungkan lebih banyak energi terbarukan, efisiensi energi dan teknologi energi maju untuk memenuhi meningkatnya kebutuhan akan layanan energi ,
- (3). untuk meningkatkan pangsa opsi energi terbarukan,
- (4). untuk mengurangi pembakaran dan ventilasi gas,
- (5). untuk membuat program domestik tentang efisiensi energi,
- (6). untuk meningkatkan fungsi dan transparansi informasi di pasar energi ,
- (7). untuk mengurangi distorsi pasar dan
- (8). untuk membantu negara-negara berkembang dalam upaya domestik mereka untuk menyediakan layanan energi untuk semua sektor populasi mereka.

Indikator harus memudahkan untuk melihat program mana yang diperlukan untuk pembangunan berkelanjutan. Ini harus mengidentifikasi statistik energi apa yang perlu dikumpulkan serta ruang lingkup yang diperlukan dari basis data regional dan nasional. Daftar indikator *Energy Indicators for Sustainable Development* (EISD) mengikuti kerangka kerja konseptual yang sama yang digunakan oleh *United Nations Commission on Sustainable Development* (CSD) dapat dilihat pada Tabel 2.7 (IAEA, et al. 2005).

Tabel 2.7 Energy Indicators for Sustainable Development (EISD)

Dimensi	Tema	Sub-Tema	Indikator
Sosial	Keadilan	Aksesibilitas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rumah tangga (atau populasi) tanpa listrik atau energi komersial, atau sangat bergantung pada non energi komersial ▪ Total jumlah rumah tangga (atau populasi)
		Keterjangkauan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penghasilan rumah tangga yang dihabiskan untuk bahan bakar dan listrik ▪ Penghasilan rumah tangga (total

			dan 20% termiskin dari populasi)
		Perbedaan/ Ketidakseimbangan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penggunaan energi rumah tangga untuk tiap penghasilan kelompok (<i>quintiles</i>) ▪ Penghasilan rumah tangga untuk tiap penghasilan kelompok (<i>quintiles</i>) ▪ Campuran bahan bakar yang sesuai untuk tiap penghasilan kelompok (<i>quintiles</i>)
	Kesehatan	Keselamatan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kematian tahunan akibat rantai bahan bakar ▪ Energi tahunan yang dihasilkan
Ekonomi	Penggunaan dan Pola Produksi	Penggunaan keseluruhan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penggunaan energi (total pasokan energi primer, total final konsumsi dan penggunaan listrik) ▪ Total Populasi
		Produktifitas secara keseluruhan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penggunaan energi (total pasokan energi primer, total final konsumsi dan penggunaan listrik) ▪ PDB
		Efisiensi penyediaan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kerugian dalam transformasi sistem, termasuk kerugian pada Pembangkit listrik, Transmisi dan Distribusi
		Produksi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cadangan terbukti yang dapat dipulihkan ▪ Total Produksi Energi ▪ Penggunaan Energi di sektor Industri dan Manufaktur ▪ Added value yang sesuai
		Penggunaan Akhir	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penggunaan energi di sektor Industri dengan cabang manufaktur ▪ Added value yang sesuai ▪ Penggunaan energi di sektor Pertanian ▪ Added value yang sesuai ▪ Penggunaan energi di sektor Komersial/Layanan ▪ Added value yang sesuai ▪ Penggunaan energi Rumah tangga dengan Pengguna Akhir Kunci ▪ Jumlah rumah tangga, Luas area, Jumlah orang per rumah tangga, Kepemilikan alat ▪ Penggunaan energi di sektor transportasi penumpang dan

			<p>penerbangan dengan menggunakan moda transportasi</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Penumpang-km perjalanan dan ton-km penerbangan dengan moda
		Diversifikasi (campuran bahan bakar)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pasokan Energi primer dan Konsumsi akhir, Generator listrik yang menghasilkan kapasitas berdasarkan Jenis bahan bakar ▪ Total Pasokan energi primer, Total Konsumsi akhir, Total Pembangkit listrik dan Total Kapasitas yang dihasilkan ▪ Pasokan energi primer, Generator listrik dan Kapasitas yang dihasilkan oleh Energi Non-Karbon ▪ Total Pasokan energi primer, Total Pembangkit listrik dan Total Kapasitas yang dibangkitkan ▪ Pasokan energi primer, Konsumsi final dan Generator listrik dan Kapasitas yang dihasilkan oleh EBT ▪ Total Pasokan energi primer, Total konsumsi akhir, Total pembangkit listrik dan Total Kapasitas yang dihasilkan
		Harga	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Harga energi (dengan dan tanpa pajak/subsidi)
	Keamanan	Impor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impor energi ▪ Total Pasokan energi primer
		Stok strategis bahan bakar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stok bahan bakar kritis (mis: minyak, gas, dll) ▪ Konsumsi bahan bakar kritis
Lingkungan	Suasana	Perubahan iklim	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emisi GRK dari Produksi energi dan Penggunaannya ▪ Populasi dan PDB
		Kualitas udara	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konsentrasi polutan di udara ▪ Emisi polusi udara
	Air	Kualitas air	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelepasan kontaminan dalam limbah cair
	Tanah	Kualitas tanah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Area tanah yang terkena dampak ▪ Beban kritis
		Hutan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kawasan hutan dengan dua waktu yang berbeda ▪ Pemanfaatan biomassa
		Limbah padat yang ditimbulkan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jumlah limbah padat ▪ Energi yang dihasilkan ▪ Jumlah limbah padat yang dibuang

		dan Pengelolaannya	dengan benar <ul style="list-style-type: none"> ▪ Total jumlah limbah padat ▪ Jumlah limbah radioaktif (kumulatif berdasarkan periode waktu) ▪ Energi yang dihasilkan ▪ Jumlah limbah padat radioaktif menunggu pembuangan ▪ Total volume limbah radioaktif
--	--	-----------------------	--

Sumber : *United Nations Commission on Sustainable Development (CSD)*

Pemilihan indikator ditentukan secara menyeluruh dalam konteks yang menyesuaikan karakteristik suatu Negara atau Organisasi dalam memberikan gambaran sistem energi suatu negara atau organisasi. Ketika indikator berubah seiring waktu, maka hal itu dapat menjadi penanda kemajuan dan perubahan mendasar. Dan akan membantu pembuat kebijakan dalam membuat keputusan tentang investasi dalam energi, pengendalian polusi dan industri, yang pada akhirnya dapat membantu menentukan biaya eksternal yang sulit diukur.

(1). **Energi yang terjangkau (affordable),**

Affordability merupakan biaya investasi di bidang energi, mulai dari biaya eksplorasi, produksi dan distribusi, hingga biaya yang dikenakan kepada konsumen.

(2). **Energi yang mudah diakses (accessibility)**

Accessibility menunjukkan kemampuan masyarakat untuk mengakses sumber energi, infrastruktur jaringan energi, termasuk tantangan geografik dan geopolitik. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui selama ini memahami bahwa tidak semua masyarakat Indonesia mendapatkan akses listrik. Karenanya melakukan berbagai terobosan dalam program EBT dengan mengeluarkan Peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 38 Tahun 2016 tentang percepatan elektrifikasi di perdesaan belum berkembang, Terpencil, perbatasan, dan pulau kecil berpenduduk melalui pelaksanaan usaha penyediaan tenaga listrik untuk skala kecil.

(3). Efisiensi Energi

Efisiensi energi adalah perbandingan antara energi yang dapat dimanfaatkan terhadap energi yang dibutuhkan. Semakin tinggi tingkat efisiensi energi maka penggunaan energi akan semakin sedikit untuk hasil yang sama.

(4). Efisiensi Operasional

Mengurangi penggunaan energi, mengurangi biaya energi dan dapat menghasilkan penghematan secara finansial kepada konsumen jika penghematan energi tersebut tidak melebihi biaya tambahan untuk penerapan aplikasi teknologi hemat energi. Mengurangi penggunaan energi juga dipandang sebagai solusi untuk mengurangi masalah emisi gas rumah kaca. Menurut Badan Energi Internasional, peningkatan efisiensi energi pada bangunan, proses industri dan transportasi dapat mengurangi sepertiga kebutuhan energi di dunia pada tahun 2050, dan dapat membantu mengontrol emisi gas rumah kaca secara global.

Agar hemat energi gedung harus memiliki sistem operasional dan peralatan yang juga hemat energi misalnya sistem HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) yang efisien, pencahayaan alami yang maksimal serta peralatan yang hemat energi

(5). Diversifikasi Energi

Diversifikasi energi merupakan kegiatan penganekaragaman jenis energi. Diversifikasi energi dilakukan untuk mengurangi ketergantungan energi nasional terhadap suplai dari minyak bumi menjadi tren baru dari kebijakan energi di banyak negara di samping efisiensi energi (penghematan energi) yang dilakukan secara terstruktur. Penggunaan energi terbarukan menjadi salah satu kebijakan yang harus diambil jika suatu negara menginginkan terjaganya stabilitas perekonomiannya. Berbagai sumber energi telah ditemukan seperti energi matahari, energi angin, energi laut hingga energi nuklir. Sebagai contoh, Jepang, Cina dan beberapa negara Eropa telah melakukan komersialisasi terhadap sumber energi matahari melalui teknologi solar cell.

2.1.8 Corporate Sustainability

Universitas dapat dikatakan sebagai suatu organisasi ataupun sebagai sebuah badan usaha (*corporate*). Ada dua asumsi umum yang berkembang mengenai wacana *corporate sustainability*. Pertama, *sustainability* adalah sinonim dengan *sustainable development*. Kedua, bahwa perusahaan yang *sustainable* akan terjadi hanya dengan mengenali isu-isu lingkungan dan sosial dan memasukan mereka kedalam perencanaan strategis (Aras and Crowther ,2008) (Supriyadi ,2013).

Pada definisi yang lebih luas *sustainability* berkaitan dengan dampak dimana tindakan yang diambil saat ini sama sebagaimana pilihan-pilihan tersebut tersedia dimasa mendatang (Aras and Crowther ,2008). *Business sustainability* adalah total upaya perusahaan untuk mengurangi dampak pada kehidupan bumi dan ekosistem (Svenson and Wagner ,2011).

Definisi *sustainability* dalam konteks perusahaan sebagai berikut : “*A sustainable corporation is one that creates profit for its stakeholder while protecting the environment and improving the lives of those with whom it interact*” (Savit & Weber dalam Cambra-Fierro & Benitez, 2011). Berdasarkan definisti tersebut, tersirat bahwa *corporate sustainability* berhubungan dengan kemampuan perusahaan menciptakan laba, kemampuan perusahaan melindungi lingkungan dan kemampuan perusahaan dalam meningkatkan kehidupan sosial.

Corporate sustainability dapat diinterpretasikan sebagai mengadopsi strategi bisnis dan kegiatan yang memenuhi kebutuhan perusahaan dan stakeholder sekaligus melindungi, mempertahankan dan meningkatkan sumber daya manusia dan alam yang akan dibutuhkan dimasa yang akan datang (Searcy ,2011).

Terdapat empat aspek dari sustainabilitas yang dibutuhkan untuk dikenali dan dianalisis (Aras & Crowther,2008), yakni :

- (1). Pengaruh sosial (*Sosial influence*), yang didefinisikan sebagai ukuran mengenai dampak yang masyarakat lakukan terhadap perusahaan dalam istilah kontrak sosial dan pengaruh stakeholder.
- (2). Dampak lingkungan (*Environmental impact*), yang didefinisikan sebagai efek dari tindakan perusahaan terhadap lingkungan geofisikal.

- (3). Budaya organisasi (*organization culture*), yang didefinisikan sebagai hubungan antara perusahaan dan stakeholder internalnya, khususnya pegawai, dan semua aspek mengenai hubungan tersebut.
- (4). Keuangan (*finance*), yang didefinisikan sebagai pengembalian yang memadai pada tingkat resiko yang diambil.

2.1.8.1 Pengukuran Corporate Sustainability

Pengukuran secara kuantitatif *corporate sustainability* masih mengandung perdebatan. Tujuan pengukuran *corporate sustainability* juga sangat beragam tergantung pada kepentingannya. Faupel & Schwach (2011), mengutip Figge & Hahn (2004) menyatakan “*The objective of a sustainability measure is to asses the contribution of an entity (e.g., company) to sustainability comprising all three dimension : environmental, social and economic*” (Tujuan pengukuran sustainability adalah untuk menilai kontribusi sebuah entitas (yakni perusahaan) terhadap sustainabilitas yang melibatkan tiga dimensi yakni lingkungan, sosial dan ekonomi).

Salah satu pendekatan yang paling sering digunakan untuk mengukur *corporate sustainability* adalah pendekatan *triple bottom line*. Pendekatan tersebut melibatkan tiga dimensi yakni :

- (1). **Environmental (lingkungan)**; mengukur dampak pada sumber daya seperti udara, air, emisi limbah.
- (2). **Social (sosial)**; berhubungan dengan *corporate governance*, motivasi, insentif, keamanan dan kesehatan, pengembangan sumber daya manusia, hak asasi manusia dan perilaku etis.
- (3). **Economic (ekonomi)**; mengacu pada pengukuran pemeliharaan atau peningkatan keberhasilan perusahaan sebagai contoh, teknologi dan inovasi, kolaborasi, manajemen pengetahuan, pembelian, proses dan pelaporan sustainability.

Sebagai aturan umum, ada dua pendekatan dalam mengukur *corporate sustainability*. Pertama disebut *Absolute Sustainable Value Added*, dan kedua *Relatif Sustainable Value Added (SVA)*. Merujuk pada Figge & Hahn (2004) (dalam Faupel & Schwach : 2011) formulanya diekspresikan sebagai berikut :

2.1.9 Green Campus (Green University)

Dalam menuju universitas keberlanjutan, pertimbangan dan penerimaan dimensi lingkungan mungkin menghadirkan tingkat inovasi yang lebih besar daripada dimensi konstituen lainnya, karena misi universitas yang pertama, diproyeksikan lebih langsung pada sosialitas dan kebutuhan akan kendala ekonomi sebagaimana ditentukan oleh kewajiban legislatif.

Dalam pandangan ini, komitmen terhadap variabel *lingkungan* oleh universitas telah mengarah pada konseptualisasi “*green campus*”, yang dimaksudkan untuk mengkonotasikan komitmen universitas di bidang keberlanjutan, dengan referensi khusus ke dimensi lingkungan (misalnya, melaksanakan proyek untuk pengelolaan karbon; proyek pengembangan EBT dan kampus hijau).

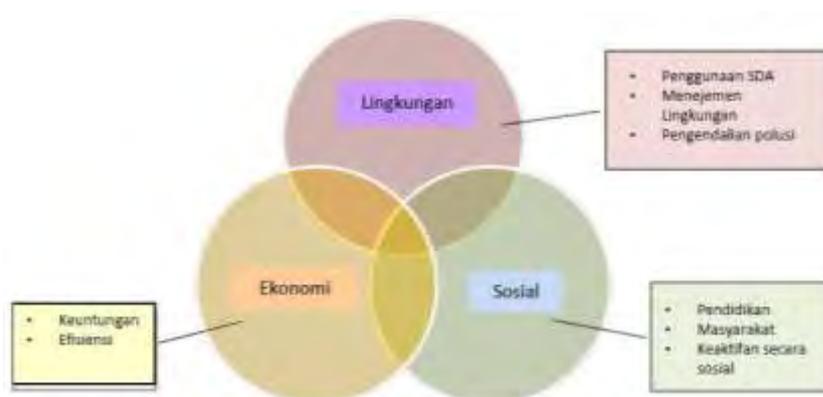
Istilah “*Green Campus*” atau “*Eco Campus*” dalam konteks pelestarian lingkungan bukan hanya suatu lingkungan kampus yang dipenuhi dengan pepohonan yang hijau, melainkan sejauh mana warga kampus dapat memanfaatkan sumberdaya yang ada di lingkungan kampus secara efektif dan efisien, misalnya dalam pemanfaatan kertas, alat tulis menulis, penggunaan listrik, air, lahan, pengelolaan sampah, dan sebagainya. Dimana semua kegiatan itu dapat dibuat neraca dan dapat diukur secara kuantitatif baik dalam jangka waktu bulanan maupun tahunan.

2.1.9.1 UI GreenMetric

Universitas Indonesia mengawali sebuah Peringkat Universitas Dunia pada tahun 2010 yang kemudian dikenal dengan nama “*UI GreenMetric World University Rankings*” untuk mengetahui usaha berkelanjutan sebuah kampus, dengan membuat survey online untuk melihat program dan kebijakan berkelanjutan pada universitas di seluruh dunia.

Secara umum, UI GreenMetric memakai konsep lingkungan yang berkelanjutan yang mempunyai 3 komponen yakni lingkungan, ekonomi dan sosial (Gambar 2.8). *Aspek lingkungan* meliputi penggunaan sumber daya alam (SDA), manajemen lingkungan dan pengendalian polusi dimana *aspek ekonominya* meliputi keuntungan dan efisiensi. Sedangkan *aspek sosialnya*

meliputi pendidikan, masyarakat dan keterlibatan sosial. Tiga aspek tersebut digunakan sebagai kriteria UI GreenMetric. (GreenMetric 2018).

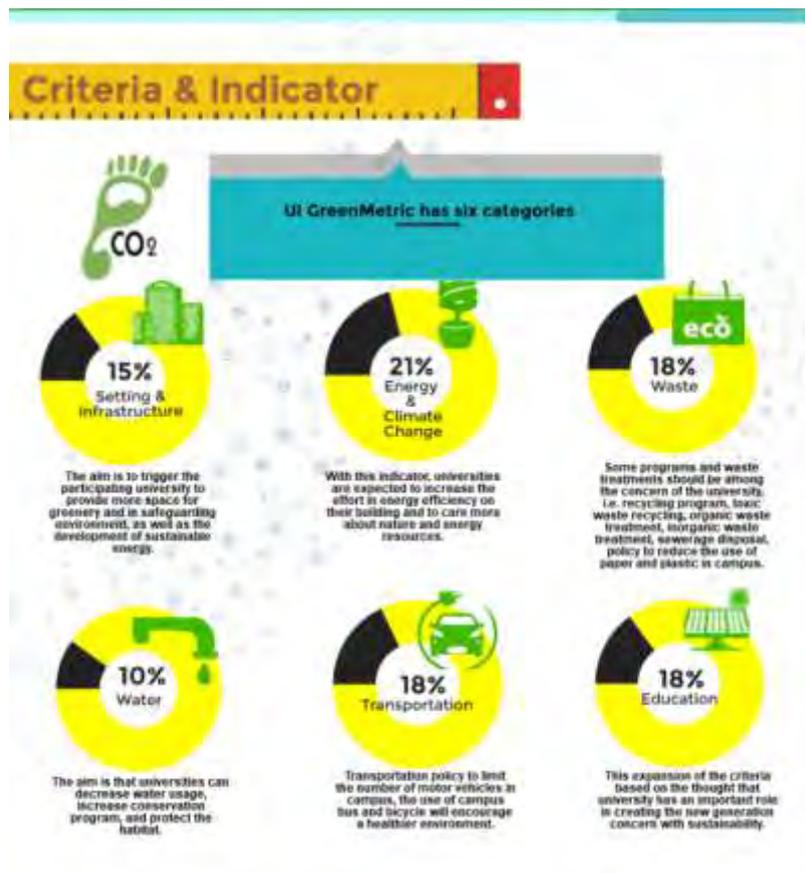


Gambar 2.26 Tiga Aspek Lingkungan Berkelanjutan (GreenMetric 2018)

UI GreenMetric menilai universitas berdasarkan komitmen dan tindakan universitas terhadap penghijauan dan keberlanjutan lingkungan. (Matsumoto, Masui and Fukushige 2017, 842). Tujuan dari peringkat ini adalah untuk memberikan hasil survei online mengenai kondisi dan kebijakan terkini yang terkait dengan Kampus Hijau dan Keberlanjutan di Universitas-universitas di seluruh dunia. (<http://greenmetric.ui.ac.id/what-is-greenmetric/>, retrieved: February, 7, 2018).

2.1.9.1.1 Kriteria dan Indikator penilaian green campus oleh UI GreenMetric

Ada 6 kategori utama (Gambar 2.27) dianggap penting oleh universitas yang peduli dengan keberlanjutan, yaitu Penataan dan Infrastruktur (SI); Energi dan Perubahan Iklim (EC); Limbah (WS); Air (WR); Transportasi (TR) dan Pendidikan (ED).



Gambar 2.27 Kriteria dan Indikator UI Green Matric
 Sumber : (<http://greenmetric.ui.ac.id/criterion-indicator/>)

Adapun kategori dan indikator *UI GreenMetric 2018* dapat dilihat pada (Petunjuk UI GreenMetric World University Ranking 2018 2018, 7-9):

(1). Penataan dan Infrastruktur (SI)(15%)

Pengaturan kampus dan informasi infrastruktur akan memberikan informasi dasar tentang kebijakan universitas terhadap lingkungan hijau. Indikator ini juga menunjukkan apakah kampus layak disebut *Green Campus*. Tujuannya adalah untuk memicu universitas yang berpartisipasi untuk menyediakan lebih banyak ruang untuk penghijauan dan dalam menjaga lingkungan, serta mengembangkan energi berkelanjutan.

Tabel 2.8 Kategori dan indikator Penataan dan Infrastruktur

No	Categories and Indicators	Points
SI 1	Perbandingan antara ruang terbuka dengan total area	300
SI 2	Persentase area kampus yang berupa hutan	300
SI 3	Persentase area kampus yang ditutupi dengan tanaman / taman (termasuk rumput, kebun, dan lain-lain) (%)	200
SI 4	Persentase area permukaan di lingkungan kampus yang dapat menyerap air (termasuk tanah atau con-block) (%)	300
SI 5	Total ruang terbuka dibagi dengan populasi kampus	200
SI 6	Persentase budget kampus untuk mewujudkan kampus yang berkelanjutan (ramah lingkungan)	200
	Total	1500

Sumber : (GreenMetric 2018)

(2). Energi dan Perubahan Iklim (EC)(21%)

Perhatian universitas terhadap penggunaan energi dan masalah perubahan iklim mengambil bobot tertinggi dalam peringkat ini. Dalam kuesioner kami, kami mendefinisikan beberapa indikator untuk bidang yang menjadi perhatian khusus ini, yaitu penggunaan peralatan yang efisien energi, kebijakan penggunaan energi terbarukan, penggunaan listrik total, program konservasi energi, bangunan hijau, program adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, kebijakan pengurangan emisi gas rumah kaca.

Dengan indikator ini, universitas diharapkan untuk meningkatkan upaya efisiensi energi pada bangunan mereka dan untuk mengambil lebih peduli tentang sumber daya alam dan energi.

Tabel 2.9 Kategori dan indikator Energi dan Perubahan Iklim

No	Categories and Indicators	Points
EC 1	Penggunaan peralatan hemat energi (misalnya penggunaan bola lampu dengan daya kecil, LED) menggantikan perangkat yang konvensional	200
EC 2	Implementasi Program <i>Smart Building</i>	300
EC 3	Jumlah sumber energi terbarukan di dalam kampus	300
EC 4	Total penggunaan listrik dibagi dengan populasi kampus	300
EC 5	Rasio antara produksi energi terbarukan dengan total penggunaan energi per tahun	200
EC 6	<i>Green Building</i> (unsur pelaksanaan <i>green building</i> yang tercermin dalam kebijakan pembangunan dan renovasi) (jawaban dapat lebih dari satu)	300
EC 7	Program pengurangan emisi gas rumah kaca	200

EC 8	Total jejak karbon dibagi dengan populasi kampus	300
	Total	2100

Sumber : (GreenMetric 2018)

(3). Sampah (WS)(18%)

Kegiatan pengolahan limbah dan daur ulang adalah faktor utama dalam menciptakan lingkungan yang berkelanjutan. Kegiatan staf universitas dan mahasiswa di kampus akan menghasilkan banyak limbah, oleh karena itu beberapa program dan pengolahan limbah harus menjadi perhatian universitas.

Beberapa program dan pengolahan limbah harus menjadi perhatian universitas, antara lain program daur ulang, daur ulang limbah beracun, pengolahan limbah organik, pengolahan limbah anorganik, pembuangan limbah, kebijakan untuk mengurangi penggunaan kertas dan plastik di kampus.

Tabel 2.10 Kategori dan indikator Limbah

No	Categories and Indicators	Points
WS 1	Program daur ulang sampah di Kampus	300
WS 2	Program kampus untuk mengurangi penggunaan kertas dan plastik di Kampus (jawaban dapat lebih dari satu)	300
WS 3	Pengolahan limbah organik (sampah, limbah sayuran dan tumbuhan) (pilih opsi yang paling menggambarkan situasi kampus dalam pengolahan limbah organik)	300
WS 4	Pengolahan limbah anorganik (sampah, sampah kertas, plastik, logam, dll.) (Pilih opsi yang paling menggambarkan pengolahan limbah anorganik di Kampus Anda)	300
WS 5	Penanganan limbah beracun di Kampus (apakah limbah beracun ditangani secara terpisah, misalnya dengan mengelompokkan dan dikumpulkan)	300
WS 6	Pembuangan limbah cair (metode utama dari pengolahan limbah) (pilih opsi yang paling menggambarkan cara pembuangan air limbah)	300
	Total	1800

Sumber : (GreenMetric 2018)

(4). Air (WR)(10%)

Penggunaan air di kampus adalah indikator penting lainnya di Greenmetric. Tujuannya agar universitas dapat mengurangi penggunaan air, meningkatkan program konservasi, dan melindungi habitat. Program konservasi air, penggunaan air pipa adalah salah satu kriteria.

Tabel 2.11 Kategori dan indikator Air

No	Categories and Indicators	Points
WR 1	Implementasi program konservasi air di Kampus	300
WR 2	Implementasi program pemanfaatan air didaur ulang di Kampus	300
WR 3	Penggunaan peralatan hemat air (misalnya keran sensor otomatis, autoflush toilet dll)	200
WR 4	Rasio antara penggunaan air berbasis pipa (contohnya: PAM) dengan total penggunaan air	200
	Total	1000

Sumber : (GreenMetric 2018)

(5). Transportasi (TR)(18%)

Sistem transportasi memainkan peran penting pada tingkat emisi karbon dan polutan di universitas. Kebijakan transportasi untuk membatasi jumlah kendaraan bermotor di kampus, penggunaan bus kampus dan sepeda akan mendorong lingkungan yang lebih sehat. Kebijakan pejalan kaki akan mendorong siswa dan staf untuk berjalan di sekitar kampus, dan menghindari penggunaan kendaraan pribadi. Penggunaan transportasi umum yang ramah lingkungan akan mengurangi jejak karbon di sekitar kampus.

Tabel 2.12 Kategori dan indikator Transportasi

No	Categories and Indicators	Points
TR 1	Ratio jumlah kendaraan dibagi dengan populasi kampus	200
TR 2	Tipe operasional shuttle kampus	200
TR 3	Kebijakan mengenai kendaraan bebas emisi di kampus	200
TR 4	Ratio kendaraan bebas emisi dibagi dengan populasi kampus	200
TR 5	Ratio total parkir area terhadap total area kampus	200
TR 6	Presentase pengurangan area parkir untuk kendaraan pribadi dalam 3 tahun terakhir (dari 2015 hingga 2017)	200
TR 7	Inisiatif pembatasan jumlah kendaraan bermotor pribadi yang memasuki kawasan Kampus	300

TR 8	Dukungan terhadap pejalan kaki	300
	Total	1800

Sumber : (GreenMetric 2018)

(6). Pendidikan dan Penelitian (ED)(18%)

Indikator ini lebih berfokus pada berbagai upaya universitas dalam menciptakan generasi baru yang lebih peduli terhadap keberlanjutan lingkungan hidup. Pada kuesioner 2012, satu kriteria baru ditambahkan pada kuesioner: pendidikan. Perluasan kriteria ini didasarkan pada pemikiran bahwa universitas memiliki peran penting dalam menciptakan kepedulian generasi baru dengan berkelanjutan.

Tabel 2.13 Kategori dan indikator Pendidikan dan Penelitian

No	Categories and Indicators	Points
ED 1	Ratio mata kuliah berkaitan dengan keberlanjutan lingkungan dibanding keseluruhan mata kuliah	300
ED 2	Ratio dana riset didedikasikan untuk penelitian keberlanjutan lingkungan dibanding seluruh dana riset kampus	300
ED 3	Jumlah publikasi ilmiah yang diterbitkan tentang keberlanjutan lingkungan (jumlah rata-rata yang diterbitkan setiap tahun selama 3 tahun)	300
ED 4	Jumlah kegiatan kampus/acara yang berkaitan dengan keberlanjutan lingkungan (konferensi dll) (rata-rata per tahun selama 3 tahun terakhir)	300
ED 5	Jumlah organisasi kemahasiswaan yang berkaitan dengan keberlanjutan lingkungan	300
ED 6	Ketersediaan laman mengenai keberlanjutan lingkungan	200
ED 7	Ketersediaan laporan mengenai keberlanjutan lingkungan	100
	Total	1800

Sumber : (GreenMetric 2018)

Untuk perhitungan Jejak Karbon, UI GreenMetric mengadopsi rumus perhitungan berdasarkan tahap perhitungan yang tersedia pada (www.carbonfootprint.com n.d.), sebagai berikut (satuan : metrik ton):

Emisi CO₂ dari listrik per tahun = (penggunaan listrik per tahun dalam kWh/1000) x 0.84(2.7)

Emisi CO₂ dari mobil per tahun = (jumlah mobil yang masuk ke kampus Anda x 2 x perkiraan jarak perjalanan kendaraan di dalam kampus (dalam kilometer) x 240/100) x 0.02(2.8)

Emisi CO₂ dari motor per tahun = (jumlah motor yang masuk ke kampus Anda x 2 x perkiraan jarak perjalanan kendaraan di dalam kampus (dalam kilometer) x 240/100) x 0.01(2.9)

Total emisi per tahun = Total emisi dari listrik + transportasi (*shuttle*, mobil, motor)(2.10)

2.1.10 ITS Smart Eco-Campus

2.1.10.1 Profil Kampus ITS

Kawasan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya mempunyai luas sebesar **180 hektar** dengan luas bangunan seluruhnya kurang lebih **150.000 m²**. Sebagian besar dari kawasan ini telah diperuntukan sebagai gedung-gedung, kantin, koperasi, klinik, bank, kantor, masjid, fasilitas olahraga, serta sarana pendukung perkuliahan lainnya. Sisa dari luas bangunan tersebut masih berupa jalan kampus, dan ruang terbuka hijau (RTH) yaitu taman dan juga lahan yang belum dimanfaatkan berupa ekosistem awal seperti lahan basah atau rawa-rawa maupun yang sudah dimanfaatkan oleh masyarakat berupa sawah (ITS Smart Eco Campus n.d.).

Dari sini, wilayah kampus ITS yang luas ini memiliki suatu kebermanfaatan lain selain untuk kegiatan pendidikan berlangsung, yakni sebagai tempat dimana tersimpan cadangan karbon (*carbon pool*) melalui inventaris pohon yang beragam. ITS juga menjadi rumah bagi berbagai biodiversitas baik flora dan fauna mulai dari beraneka spesies pohon, bunga, serangga, reptil, hingga berbagai jenis tipe burung yang dilindungi dan diteliti di ITS.

2.1.10.2 ITS Smart Eco-Campus

Tahun 2017, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) menduduki peringkat terbaik ke-5 di Indonesia berdasarkan penilaian Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) dan menjadi 10 universitas unggulan di Indonesia versi QS World University Ranking. Selain dari aspek

pendidikan dan manajemen, ITS memiliki komitmen yang kuat pada pengelolaan lingkungan, salah satunya dengan **Program Smart Eco-Campus**.

ITS Smart-Eco Campus merupakan inisiatif ITS dalam menciptakan pembangunan berkelanjutan di lingkungan kampus dengan memanfaatkan teknologi dan ilmu pengetahuan yang dikembangkan dalam kampus. Hal ini karena ITS percaya apabila perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mampu berjalan selaras dengan alam. Untuk itu, ITS berinisiatif untuk menjadi pionir dalam pengembangan *smart eco campus* dan memanfaatkan setiap elemen kampus untuk menciptakan pembangunan yang ramah lingkungan. (ITS Smart Eco Campus n.d.)

ITS meluncurkan program *ITS Smart-Eco Campus* pada Sabtu, 17 September 2011 di Stadion ITS diumumkan oleh Ketua Program Gugur Gunung (G2), Dr Bambang Sampurno yang sekaligus menggelar kegiatan bertajuk gugur gunung. Program insiatif ini merupakan komitmen pihak perguruan tinggi untuk berperan aktif dalam pengembangan ilmu dan teknologi serta penerapan gaya hidup yang berwawasan lingkungan. *ITS Smart-Eco Campus* merupakan bagian dari perencanaan strategis pembangunan kampus ITS dan secara konsisten terus dilaksanakan dan dikembangkan.

ITS tak hanya menata manajemen dan tata kelola kampus supaya dapat menjadi kampus yang ramah lingkungan, namun juga menanamkan konsep *ITS Smart Eco-Campus* dalam kehidupan seluruh elemen mahasiswa melalui berbagai kegiatan. ITS juga terus mengembangkan riset dengan melibatkan mahasiswa dan partner kampus untuk dapat mengembangkan konsep smart eco-campus dengan sempurna di masa depan.

Tema universitas hijau pada dasarnya terhubung ke dua lingkup utama: jaringan yang dibangun untuk universitas yang berkomitmen pada bidang keberlanjutan dan Peringkat *UI GreenMetric World University* sebagai acuan dalam pengembangan *green campus*. Dan program pengembangan *ITS Smart-Eco Campus* sendiri mengacu pada kriteria dan indikator *UI GreenMetric World University Ranking*.

ITS Smart Eco-Campus memiliki 5 aspek yang menjadi fokus pengembangan *sustainability campus*, yaitu

1. Efisiensi Air;
2. Transportasi;
3. Biodiversitas;
4. Pengurangan Karbon dan
5. Transportasi.

2.1.11 Emisi GRK

Komitmen Presiden Joko Widodo pada COP 21 Desember 2015 di Paris, Indonesia akan menurunkan emisi GRK sebesar 29% dengan kemampuan sendiri dan mencapai 41% dengan bantuan dukungan internasional. Target nasional dan penurunan emisi gas rumah kaca tertuang dalam UU No.16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris agreement to The UNFCCC (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja PBB Mengenai Perubahan Iklim).

No	Sector	GHG Emission 2010 (Million Ton CO ₂ e)	GHG Emission in 2030 (Million Ton CO ₂ e)			Reduction (Million Ton CO ₂ e)	
			BaU	CM1	CM2	CM1	CM2
1	Energy	453.2	1,669	1,335	1,271	314	398
2	Waste	88	296	285	270	11	26
3	IPPU	36	69.6	66.85	66.35	2.75	3.25
4	Agriculture	110.5	119.66	110.39	115.86	9	4
5	Forest	647	714	217	64	497	650
	Total	1,334	2,869	2,034	1,787	834	1,081

Gambar 2.28 Penurunan Emisi GRK Sektor Energi
 Sumber : www.esdm.go.id

Sub sector	Target of mitigation 2030 (Million Ton CO ₂ e)
Renewable energy	170,42
Energy efficiency	96,33
Clean power	31,80
Fuel switching	10,02
Post mining reclamation	5,46
Total	314,03

Gambar 2.29 Target Pemerintah terkait Penurunan Emisi GRK
 Sumber : www.esdm.go.id

2.1.11.1 Tipe/Jenis dan Kategori Sumber Emisi GRK Sektor Energi

Jenis GRK yang diemisikan oleh sektor energi adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. KESDM menjelaskan, berdasarkan IPCC Guideline 2006, bahwa sumber emisi GRK sektor energi dibagi menjadi tiga, yaitu (ESDM, 2017):

1. Emisi hasil pembakaran bahan bakar,
2. Emisi fugitive pada kegiatan produksi dan penyediaan bahan bakar, dan
3. Emisi dari pengangkutan dan injeksi CO₂ pada kegiatan penyimpanan CO₂ di formasi geologi.

Kegiatan pembakaran bahan bakar yang dimaksud di atas adalah oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik kepada suatu proses. Data aktivitas yang dimaksud pada kegiatan ini yaitu volume konsumsi bahan bakar.

Emisi fugitive pada sektor energi merupakan emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi. Data aktivitas yang dimaksud pada kategori sumber emisi ini yaitu volume produksi bahan bakar.

Gas Rumah Kaca mempunyai potensi pemanasan global atau disebut Nilai GWP (*Global Warming Potential*) adalah sebuah nilai yang membandingkan potensi gas rumah kaca sebagai penyerap dan penahan sinar matahari untuk memanaskan bumi, dibandingkan dengan potensi Karbon Dioksida. Angka GWP pada Tabel 2.14 ini yang dijadikan acuan adalah CO₂, karena berdasarkan usia CO₂ berada dalam atmosfer sangat lama dan membutuhkan waktu selama 80-120 tahun untuk bisa terurai (Killeen, 1996).

Tabel 2.14. Nilai GWP

Spesies	Chemical formula	GWP ₁₀₀
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298
HFCs	-	124 - 14800
Sulphur hexafluoride	SF ₆	22800
PFCs	-	7390 - 12200

Sumber: IPCC, 2006

2.1.11.2 Pendekatan Inventarisasi Emisi GRK

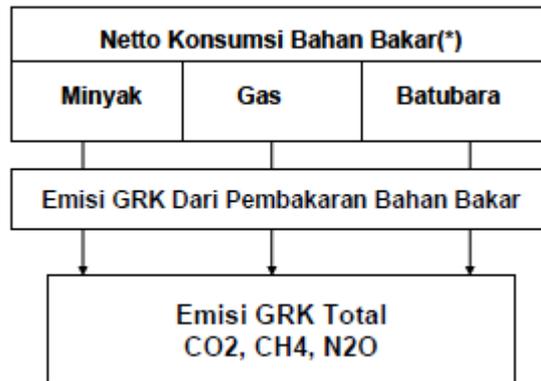
Terdapat 2 (dua) pendekatan dalam penghitungan emisi GRK pada sektor energi yaitu Pendekatan Sektoral (*Sectoral Approach*) dan Pendekatan Referensi (*Reference Approach*). Pendekatan Sektoral dikenal juga sebagai Pendekatan “*Bottom-Up*” sedangkan Pendekatan Referensi dikenal juga sebagai Pendekatan “*Top-Down*”.

Pada Pendekatan Sektoral penghitungan emisi dikelompokkan menurut sektor kegiatan, seperti: produksi energi (listrik, minyak dan batubara), manufacturing, transportasi, rumah tangga dan lain-lain. Sumber emisi yang diperhitungkan meliputi emisi dari pembakaran bahan bakar di masing-masing sektor dan emisi fugitive. Dari pengelompokan sektoral dapat diketahui sektor-sektor yang menghasilkan banyak emisi GRK sehingga pendekatan secara sektoral ini bermanfaat untuk menyusun kebijakan mitigasi.

Pada Pendekatan Referensi penghitungan emisi dikelompokkan menurut jenis bahan bakar yang digunakan, tanpa memperhitungkan sektor di mana bahan bakar tersebut digunakan. Pendekatan ini hanya memperhitungkan emisi dari pembakaran bahan bakar. Basis perhitungan pada pendekatan ini adalah data pasokan bahan bakar di suatu negara dan data bahan bakar yang tidak digunakan sebagai bahan bakar namun sebagai bahan baku industri (misalnya gas yang digunakan sebagai bahan baku industri pupuk). Ilustrasi Pendekatan Sektoral dan Pendekatan Referensi diperlihatkan pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13 berikut:



Gambar 2.30. Pendekatan Sektoral Perhitungan Emisi GRK



Gambar 2.31 Pendekatan Referensi Perhitungan Emisi GRK

Hasil estimasi dari dua pendekatan perhitungan emisi GRK diatas akan memberikan hasil sedikit berbeda, karena basis data yang digunakan berbeda. Adalah hal yang wajar bila perbedaan hasil estimasi pada kedua pendekatan kurang dari 5%. Hasil estimasi emisi dengan Pendekatan Referensi dapat digunakan sebagai batas atas dari perhitungan emisi hasil pembakaran bahan bakar menurut Pendekatan Sektoral. Dengan kata lain, bila inventarisasi dengan Pendekatan Sektoral dilakukan dengan baik maka hasil perhitungan emisi pembakaran bahan bakar menurut Pendekatan Sektoral tidak akan lebih besar dari hasil perhitungan emisi menurut Pendekatan Referensi.

2.1.11.3 Model Dasar Perhitungan Emisi GRK

Pendekatan Tier-1 dan Tier-2 merupakan metodologi penghitungan emisi GRK yang paling sederhana, yaitu berdasarkan data aktifitas dan faktor emisi (Kementerian Lingkungan Hidup 2012). Estimasi emisi GRK Tier-1 dan Tier-2 menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$\text{Emisi GRK} = \text{Data Aktifitas} \times \text{Faktor Emisi} \dots\dots\dots(2.11)$$

Data aktifitas adalah data mengenai banyaknya aktifitas umat manusia yang terkait dengan banyaknya emisi GRK. Contoh data aktifitas sektor energi: volume BBM atau berat batubara yang dikonsumsi, banyaknya minyak yang diproduksi di lapangan migas (terkait dengan fugitive emission).

Faktor emisi (FE) adalah suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas (unit aktivitas dapat berupa volume yang diproduksi atau volume yang dikonsumsi). Untuk Tier-1 faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi default (IPCC 2006 GL).

Sumber emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar dikelompokkan ke dalam 2 (dua) kategori utama, yaitu sumber tidak bergerak (stasioner) dan sumber bergerak.

GRK yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar pada sumber stasioner adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Besarnya emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar fosil bergantung pada banyak dan jenis bahan bakar yang dibakar. Banyaknya bahan bakar direpresentasikan sebagai data aktivitas sedangkan jenis bahan bakar direpresentasikan oleh faktor emisi. Persamaan umum yang digunakan untuk estimasi **Emisi GRK dari Hasil Pembakaran Bahan Bakar** adalah sebagai berikut :

$$Emisi\ GRK\ \left(\frac{kg}{thn}\right) = Konsumsi\ Energi\ \left(\frac{TJ}{thn}\right) \times Faktor\ Emisi\ \left(\frac{kg}{TJ}\right) \quad (2.12)$$

Faktor emisi menurut default IPCC dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (kg GRK/TJ). Di sisi lain data konsumsi energi yang tersedia umumnya dalam satuan fisik (ton batubara, kilo liter minyak diesel dll). Oleh karena itu sebelum digunakan pada Persamaan 2, data konsumsi energi harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan energi TJ (Terra Joule). Adapun rumus **Konversi dari Satuan Fisik ke Terra Joule** sebagai berikut.

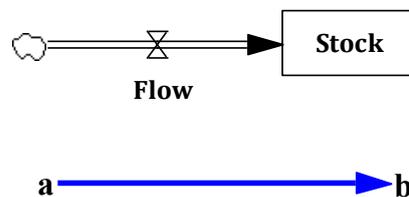
$$Konsumsi\ Energi(TJ) = Konsumsi\ Energi(sat.\ fisik) \times Nilai\ Kalor\ \left(\frac{TJ}{Tjsat.fisik}\right) \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Berikut adalah nilai kalor dan faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar yang dipergunakan sebagai bahan bakar, ditunjukkan pada Tabel 2.13 sampai Tabel 2.15. dibawah :

signifikan yang mempengaruhi. Setelah variable-variable dirasa cukup, tahap selanjutnya yaitu pengembangan diagram *stock and flow*. Pada tahap ini proses yang dilakukan yaitu identifikasi arus masuk atau akumulasi (level) dalam sistem dan arus keluar (*rate*). Tahap selanjutnya yaitu pengembangan model dan disimulasikan dengan bantuan komputer lalu mengumpulkan pemahaman dan kebijakan yang berlaku dari model yang dihasilkan (Richardson, System Dynamics 2013).

2.1.12.1 Stock and Flow Diagram

Sistem Dinamik berbeda dengan pendekatan lain karena memang Sistem Dinamik mempelajari sistem kompleks dengan memanfaatkan konsep sebab-akibat dan pemodelan *stock and flow*. Pendekatan Sistem Dinamik berhubungan dengan pengaruh *feedback* dan penundaan waktu yang berpengaruh pada sistem secara keseluruhan. Pada pemodelan diagram *stock and flow*, seperti pada Gambar 2.10, terdapat simbol-simbol yang digunakan dalam diagram meliputi:

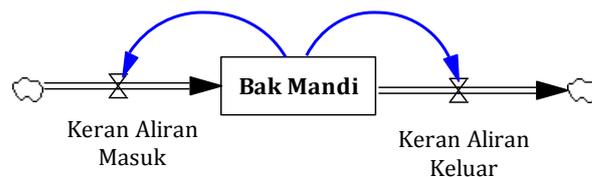


Gambar 2.32 Logo pada Stock and Flow Diagram

- (a). *Stock* merepresentasikan sebagai sesuatu di dalam model yang dapat terakumulasi nilainya. *Stock* dapat bernilai tinggi dan rendah tergantung aliran.
- (b). *Flow* merepresentasikan sebagai nilai yang mempengaruhi stock. Ada dua arah aliran meliputi aliran masuk ke stock dan aliran keluar dari stock. Keseimbangan akan terjadi apabila antara aliran masuk dan aliran keluar memiliki nilai yang sama.
- (c). Garis biru menggambarkan suatu variabel dari a secara langsung mempengaruhi variabel dari b.

Bisa diambil contoh pada kasus bak mandi dengan keran dan saluran pembuangan. Bisa dianalogikan bahwa bak mandi merupakan representasi dari stock, sedangkan keran merupakan aliran masuk, dan saluran pembuangan merupakan aliran keluar. Dengan nilai seberapa besar keran mengalirkan air ke bak mandi maka secara berkala bak mandi akan semakin penuh dengan air. Sebaliknya seberapa besar saluran pembuangan bisa mengalirkan air, maka secara berkala dapat mengurangi besar air pada bak mandi. Tidak berhenti disitu, bisa saja air pada saluran pembuangan bisa menjadi keran untuk bak mandi yang lain, begitu pula sebaliknya keran bisa menjadi saluran pembuangan dari bak mandi yang lain. Demikianlah merupakan contoh aliran *feedback* yang ada pada sistem yang menganalogikan masalah bak mandi dimana sistem kompleks memiliki unsur *stock and flow*.

Gambar 2.11 merupakan diagram *stock and flow* untuk masalah bak mandi menggunakan perangkat lunak Vensim. Garis biru yang menghubungkan antara stock bak mandi dengan keran aliran masuk dan keran aliran keluar. Garis biru sebagai penghubung antara variabel satu dengan yang lain. Dalam kaitannya dengan hal ini, stock bak mandi akan mempengaruhi keran aliran air masuk maupun keran aliran air keluar untuk berhenti apabila sudah mencapai level tertentu.



Gambar 2.33 Gambar 2.11. Contoh Diagram *Stock and Flow*

Sistem Dinamik erat kaitannya dengan pemodelan di dalam komputer. Pemodelan yang dikembangkan dengan pendekatan Sistem Dinamik diterjemahkan ke dalam perhitungan komputer. Dengan menggunakan komputer, pemodelan bisa dikembangkan dengan menekan ruang dan waktu dimana kegiatan simulasi bisa dilakukan berulang dengan waktu yang cepat. Model Sistem Dinamik menjadi pencerminan pada suatu sistem, dimana hasil simulasi harus mirip dengan sistem yang dimodelkan. Dapat disimpulkan bahwa dengan

memanfaatkan komputer dalam melakukan simulasi bisa menekan biaya dan waktu daripada harus mengimplementasikan percobaan ke dalam aktual sistem secara langsung (Vaudreuil, et al. 2011).

Karena memang keterbatasan kemampuan manusia dalam memahami sistem yang kompleks, maka manusia cenderung untuk memilih cara yang memiliki kebutuhan ruang dan waktu rendah. Dengan begitu, mental manusia dalam membangun model sistem yang kompleks cenderung menghasilkan keluaran yang meskipun gamblang dan detail namun sering tidak akurat dan berubah-ubah. Salah satu keuntungan metode Sistem Dinamik yang lain adalah memperbaiki mental dalam membangun model seperti itu. Pemodelan Sistem Dinamik mencoba menutupi kelemahan manusia dengan memberikan metode yang sistematis dalam memahami suatu sistem. Komputer dijadikan alat untuk mengevaluasi kesalahan pemikiran manusia dalam mengembangkan model (Vaudreuil, et al. 2011).

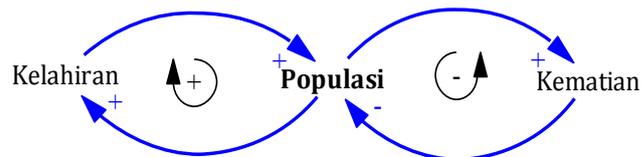
2.1.12.2 Causal Loop Diagram

Salah satu diagram yang digunakan untuk merepresentasikan suatu sistem dalam metode Sistem Dinamik adalah diagram *causal loop*. Diagram *causal loop* digunakan untuk memahami hubungan sebab dan akibat dari suatu sistem. Kunci elemen dari diagram *causal loop* adalah tanda panah yang merepresentasikan sebagai adanya suatu hubungan antar variabel dalam sistem.

Terdapat tanda plus atau minus di kepala tanda panah yang menandakan sebagai sifat hubungan. Tanda plus berarti bahwa meningkatnya atau berkurangnya nilai suatu variabel yang berada di ekor panah memiliki hubungan yang sama dengan variabel yang berada di ujung panah. Sedangkan tanda minus berarti bahwa variabel yang berada di ujung tanda panah memiliki sifat kebalikan dengan variabel yang ada pada ekor tanda panah.

Gambar 2.12. merupakan contoh penggunaan tanda panah pada variabel kelahiran dan jumlah populasi. Tanda plus diberikan pada tanda panah karena memang antara variabel kelahiran dan jumlah populasi memiliki sifat yang berbanding lurus. Apabila angka kelahiran meningkat maka jumlah polulasi juga ikut meningkat. Dan akibatnya, naiknya jumlah populasi akan meningkatkan angka

kelahiran. Antara variabel kelahiran dengan jumlah variabel memiliki siklus sebab akibat. Sedangkan variabel kematian memiliki hubungan kebalikan dengan variabel jumlah populasi (Vaudreuil, et al. 2011). Ada dua jenis feedback loop dalam system dinamik, yaitu: (1) Reinforcing loops, mendukung pertumbuhan (+); dan (2) Balancing loops. menghambat pertumbuhan (-).



Gambar 2.34 Contoh *Causal Loops Diagram*

Sistem Dinamik merupakan metode sehingga terdapat langkah-langkah pokok dalam memodelkan suatu sistem menggunakan Sistem Dinamik. Menurut Sterman (2000) langkah-langkah yang terlibat dalam simulasi Sistem Dinamik adalah sebagai berikut.

1. Pendefinisian masalah yang meliputi:
 - (a). Penentuan batasan masalah.
 - (b). Identifikasi variabel yang signifikan.
2. Ekuasi model, yaitu merumuskan hubungan antar komponen-komponen model.
3. Pengambilan data yang diperlukan sesuai dengan tujuan pembuatan model.
4. Pengembangan model yang telah ditentukan.
5. Verifikasi model terhadap error.
6. Validasi model, apakah model yang dibuat sudah sesuai dengan sistem nyata atau belum. Menurut Barlas (1996) ada dua cara validasi yaitu sebagai berikut.
 - (1). Perbandingan Rata-rata (*Mean Comparison*).

$$E1 = \frac{|\bar{S}-\bar{A}|}{\bar{A}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

\bar{S} = nilai rata-rata hasil simulasi

\bar{A} = nilai rata-rata data asli

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

(2). Perbandingan Variasi Amplitudo (*Variance Comparison*)

$$E2 = \frac{|Ss-Sa|}{Sa} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

Ss = standard deviasi model

Sa = standard deviasi data

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

7. Setelah model valid maka langkah selanjutnya adalah membuat beberapa skenario untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan dugaan. Jenis-jenis skenario adalah sebagai berikut:
 - (a). Skenario parameter dilakukan dengan jalan mengubah nilai parameter model. Relatif mudah dilakukan karena hanya melakukan perubahan terhadap nilai parameter model namun dampaknya hanya terhadap output model.
 - (b). Skenario struktur dilakukan dengan jalan mengubah struktur model. Skenario jenis ini memerlukan pengetahuan yang cukup tentang sistem agar struktur baru yang diusulkan/dieksperimenkan dapat memperbaiki kinerja sistem.
8. Interpretasi model, proses ini merupakan penarikan kesimpulan dari hasil keluaran model simulasi.
9. Implementasi yaitu penerapan model pada sistem.
10. Dokumentasi merupakan proses penyimpanan hasil keluaran model.

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Penelitian terkait PLTS dan EB T

Penelitian-1: yang dilakukan *Khataman Insan Putra Dharmawan* (Dharmawan 2019) ini **bertujuan** untuk menganalisis potensi dari pemasangan *Photovoltaic* pada bangunan-bangunan di kampus ITS dengan melihat tingkat

radiasi matahari pada kampus ITS sepanjang tahun berdasarkan keadaan *real* kondisi bangunan di kampus ITS, khususnya luas atap serta arah hadap bangunan untuk dapat menentukan kelayakan pemasangan PV pada bangunan-bangunan tersebut. **Metode** penelitian yang digunakan adalah analisis, dengan pengolahan data menggunakan aplikasi Excell. Hasil pengolahan data tersebut akan dianalisis untuk menentukan potensi dari energi tenaga surya pada bangunan kampus ;analisis investasi melalui biaya pemasangan dan perawatan *photovoltaic* per tahun berdasarkan standar instalasi *on grid* yang telah ditentukan; dan mengetahui harga jual dari energi listrik yang dihasilkan untuk dapat menentukan *Return of Investment (ROI)*. Percobaan perhitungan iradiansi dilakukan pada sebuah bangunan rumah tangga yang berada di Jl. Keputih 1 no 43 Surabaya (Gambar 2.13). **Hasil** sementara selama penelitian masih berlangsung menjelaskan bahwa perhitungan nilai iradiansi total yang diperoleh selama satu tahun merupakan saat kondisi ideal atau kondisi cerah. Dimana kota Surabaya berpotensi mendapatkan energi iradiansi matahari untuk kedua kolektor **sebesar 5.644 KWh/m² per tahun**.



Gambar 2.35 Visual letak Solar PV pada rumah di Jl. Keputih 1 no 43 Surabaya

Dalam *penelitian-3*: yang dilakukan oleh **Lilia Trisyathia Quentara** (Quentara 2016) ini **bertujuan** untuk (1) Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kendala dan hambatan terjadinya gangguan pasokan listrik di Pulau Madura. (2) Mengembangkan model yang menggambarkan sistem operasional

listrik yang efektif, efisien dan dapat diandalkan. (3) Merumuskan model simulasi untuk menganalisa sistem operasional kelistrikan yang efektif dan efisien dengan metode sistem dinamis.(4) Mengembangkan MD-DSS untuk membantu analisa keputusan yang dapat mendukung kebijakan sistem operasional PLN dalam mencapai keandalan pelayanan pasokan listrik yang efektif dan efisien di Pulau Madura. **Metode** yang digunakan adalah *Model Driven-Decision Support System* (MD-DSS) dan metode simulasi Sistem Dinamis. sebagai berikut: (1) Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan menjadi pilihan solusi jangka pendek untuk menyelesaikan permasalahan listrik di desa-desa terisolir di Madura. (2) Penggunaan program aplikasi *Tableau Public* untuk membuat visualisasi *Dashboard*, sebagai bagian dari proses strategi pengambilan keputusan manajemen dalam pengembangan sebuah sistem.(3) Dalam hal kontribusi teoritis di bidang akademis, hasil dari penelitian ini adalah identifikasi faktor-faktor dan variabel yang mempengaruhi kelancaran sistem operasional listrik di Pulau Madura untuk menganalisa keseimbangan *supply-demand* daya listrik yang dapat diandalkan. (4) Mengembangkan model neraca energi untuk mengetahui bagaimana kondisi kelistrikan di Madura selama 15 tahun terakhir, sehingga diketahui berapa besar susut energi yang terjadi dan nilai efisiensi energi listrik yang dicapai. (5)Pengembangan model keandalan sistem transmisi dan sistem distribusi yang diukur dengan parameter SOF, SOD, SAIDI, SAIFI, dan CAIDI memperlihatkan bagaimana kualitas pelayanan PT. PLN (Persero) kepada pelanggannya yang telah berjalan selama ini. (6) Pengembangan model pelanggan dan perhitungan rasio elektrifikasi (7) Tingkat rasio elektrifikasi di Madura yang masih rendah dibandingkan dengan daerah lain di Propinsi Jawa Timur akibat tidak meratanya aliran listrik yang dibangun di sepanjang wilayah pantai selatan (Suramadu, Bangkalan, Blega, Sampang, Pamekasan, Sumenep); juga masalah topografi jarak antar desa yang berjauhan; letak geografis desa; jumlah rumah tangga yang sedikit dalam satu wilayah desa; menyebabkan perencanaan pembangunan infrastruktur listrik secara perhitungan aspek ekonomis menjadi tidak layak investasi.(8) Usaha penyediaan listrik secara optimal akan terhambat dengan adanya susut energi yang tinggi karena penyaluran energi listrik tidak tepat

sasaran. Nilai susut energi yang tinggi di Madura yaitu rata-rata sebesar 161.721 MWh setiap tahunnya, selain dikarenakan masalah teknis seperti infrastruktur kelistrikan dan perawatan (*maintenance*), juga disebabkan oleh masalah non teknis lainnya, yaitu tingginya pencurian listrik ilegal oleh masyarakat Madura yang memerlukan sosialisasi dari pemuka agama bekerjasama dengan PT. PLN (Persero). Efisiensi energi yang selama ini berkisar antara 65% - 80% pertahun juga akan meningkat sejalan dengan menurunnya nilai susut energi listrik yang terjadi di Madura.(9) Surplus daya listrik sebesar 2.600 MW pada tahun 2015 yang dimiliki oleh PT. PLN Jawa Timur masih sangat memungkinkan untuk menambah pasokan daya listrik ke Madura guna memenuhi masalah defisit listrik yang terjadi.

Dalam *penelitian-4*: yang dilakukan oleh **Rinanza Zulmy Alhamri** (Alhamri 2015) ini **bertujuan** untuk mengembangkan model dari sistem potensi energi panas bumi sebagai pembangkit listrik terbarukan dengan mengembangkan skenario untuk meningkatkan kapasitas terpasang dan produksi listrik tenaga panas bumi sesuai dengan target pemerintah untuk jangka panjang, dengan mencoba untuk memahami sudut pandang dari seorang pengusaha proyek energi panas bumi agar memiliki ketertarikan dan kemudahan dalam melakukan usaha panas bumi, dilihat dari kelayakan kondisi dari setiap aspek yang mempengaruhi jalannya usaha panas bumi meliputi *kelayakan teknis, kelayakan ekonomi, kelayakan infrastruktur, kelayakan geografis* dan *dukungan masyarakat sebagai aspek sosial*. **Metode** yang digunakan dalam penelitian ini adalah Simulasi Sistem Dinamik, dengan mempertimbangkan 4 aspek dalam mendukung pengembangan model sistem pemanfaatan potensi energi panas bumi sebagai alternatif pembangkit listrik terbarukan, yaitu: *aspek teknis; aspek infrastruktur; aspek ekonomi; dan aspek geografis*.

Tabel 2.18. Variabel Signifikan Kesuksesan Proyek Pembangkit Listrik Energi Panas Bumi

Variabel Signifikan	Parameter
Proyek energi panas bumi	Kelayakan teknis Kelayakan ekonomi Kelayakan infrastruktur Kelayakan geografis Dukungan masyarakat Perizinan Keputusan investasi
Kapasitas terpasang	Proyek energi panas bumi Umur peralatan Perkembangan teknologi baru
Produksi listrik	Kapasitas terpasang Umur peralatan Perkembangan teknologi baru
Kebutuhan listrik	Produksi listrik
Dukungan masyarakat	Kebutuhan listrik
Umur peralatan	Perawatan

Sumber : (Alhamri 2015)

Identifikasi variable signifikan dari 5 aspek yang dijadikan acuan pemodelan dalam sistem dinamik adalah sebagai berikut:

Tabel 2.19 Variabel Signifikan

Variabel Signifikan	Parameter
1. Aspek Teknis	
Kelayakan teknis	Produktivitas sumur Resiko eksplorasi Resiko eksploitasi Potensi energi panas bumi
Resiko eksplorasi	Kelayakan data Potensi energi panas bumi Kelayakan teknologi eksplorasi Kelayakan sumberdaya manusia
Resiko eksploitasi	Kelayakan teknologi eksploitasi Kandungan cairan kimia Kelayakan sumberdaya manusia
Produktivitas sumur	Jumlah sumur Kedalaman sumur
2. Aspek Ekonomi	
Kelayakan ekonomi	Kebutuhan listrik Harga listrik Biaya proyek Potensi energi panas bumi

Biaya proyek	Biaya operasional Biaya sarana prasarana Biaya fasilitas produksi Biaya infrastruktur Biaya sumur eksplorasi Dana pinjaman Pajak Biaya perawatan Gaji karyawan Laju inflasi
Dana pinjaman	FDG Laju inflasi Nilai suku bunga
Pajak	Pembebasan PPn Pembebasan PPh Pembebasan Bea Impor
Keputusan investasi	Kelayakan ekonomi Resiko ekonomi Dana pinjaman Kondisi moneter
3. Aspek Infrastruktur	
Kelayakan infrastruktur	Ketersediaan lahan Ketersediaan jalan akses Ketersediaan kendaraan Ketersediaan pelabuhan Ketersediaan jembatan
4. Aspek Geografis	
Kelayakan geografis	Kondisi wilayah Kondisi cuaca
Kondisi wilayah	Kondisi fisik Ketinggian Kondisi tanah
Kondisi cuaca	Curah hujan Kecepatan angin Suhu udara
5. Aspek Sosial	
Dukungan masyarakat	Kesadaran lingkungan Kebutuhan listrik Kesepakatan ekonomi

Sumber : (Alhamri 2015)

Hasilnya sebagai berikut: (1) model sistem pemanfaatan potensi energi panas bumi sebagai alternatif tenaga listrik terbarukan telah berhasil dikembangkan; (2) pengembangan 7 model skenario antara lain: skenario *do nothing* untuk mengetahui proyeksi *basecasecase* sesuai keadaan sistem saat ini,

skenario meningkatkan kesuksesan pelelangan, meningkatkan kesuksesan investasi, mempercepat tahap produksi, dan meningkatkan kapasitas terpasang; skenario untuk meningkatkan produksi listrik dan meningkatkan produksi listrik secara maksimal; (3) target Percepatan Pembangunan Pembangkit Listrik 10.000 MW Tahap II di tahun 2025 tidak tercapai. (4) Skenario meningkatkan kapasitas terpasang dengan cara menaikkan harga jual listrik panas bumi merupakan skenario yang cukup signifikan dalam meningkatkan kinerja system, dimana capaian kapasitas terpasang sebesar 3.458 MW atau 34.5% dari target 10.000 MW. Skenario tersebut mampu menghasilkan produksi listrik sebesar 13.263 GWh di tahun 2025 dimana nantinya diperkirakan mampu menyediakan listrik sebesar 2.42% - 2.81%; (5) skenario meningkatkan produksi listrik dengan mempercepat perkembangan teknologi, dengan hasil di tahun 2025 produksi listrik mampu mencapai 25.663 GWh dimana mampu menyediakan listrik sebesar 4.67% - 5.44% di tahun 2025; (6) Agar mampu menyegerakan capaian kapasitas terpasang PLTP sebesar 10.000 MW maka dibuat suatu solusi gebrakan berupa skenario *breakthrough* dimana hasil implementasi skenario di tahun 2051 mampu memperoleh kapasitas terpasang mencapai 10.046 MW. Di tahun 2025 sendiri, kapasitas terpasang yang dicapai skenario ini masih mencapai 6,130 MW. Apabila dikombinasikan dengan skenario meningkatkan produksi listrik maka akan memperoleh listrik sebesar 45.292 GWh di tahun 2025 diperkirakan setara dengan kemampuan suplai listrik sebesar 8.25% - 9.60% dari keseluruhan kebutuhan listrik. Untuk memenuhi target kapasitas terpasang PLTP sebesar 10.000 MW pemerintah harus mau melakukan gebrakan dengan mampu mensukseskan proyek panas bumi secara serentak, kontinyu, dan dalam jangka waktu yang singkat. Setidaknya pemerintah harus bisa mensukseskan pembangunan proyek panas bumi paling tidak 8 WKP per tahun untuk lima tahun ke depan dimulai dari tahun 2016. Dengan begitu diperkirakan kapasitas terpasang PLTP sebesar 10.000 MW akan segera tercapai meskipun tidak di tahun 2025. Namun demikian program gebrakan tersebut seperti skenario *breakthrough* yang telah diimplementasikan pada model memang membutuhkan komitmen, biaya, dan keberanian yang sangat tinggi dari pemerintah apabila diimplementasikan pada sistem kenyataannya.

Dalam *penelitian-5*: yang dilakukan oleh *Nanda Puji Nugroho* (Nugroho 2017) ini **bertujuan** untuk mengembangkan model dari sistem ketersediaan energi biogas sebagai pembangkit energi listrik alternative untuk kebutuhan energi listrik Provinsi Jawa Timur. **Metode** yang digunakan adalah Sistem Dinamik sebagai pemodelan dan simulasi dalam merancang scenario dengan menilai 5 (lima) aspek, yaitu: (1)*teknis*; (2)*infrastruktur*; (3)*geografis*; (4)*sosial* dan (5)*ekonomi* dapat dilihat pada Tabel 2.20. **Hasil** penelitian ini adalah skenario peningkatan kelayakan ekonomi, karena dapat melakukan peningkatan rata-rata skenario paling besar menjadi 76.13%. Agar dapat memperbaiki usulan perbaikan sistem, maka dilakukan pembuatan skenario dan penerapan skenario untuk meningkatkan probabilitas studi kelayakan energi *biogas* yang ada di Provinsi Jawa Timur.

Tabel 2.20 Identifikasi Data Kelayakan Pembangunan PLTBG Provinsi Jawa Timur

No	Data	Tujuan	Variabel	Sumber
1	Aspek Teknis	Mengetahui potensi ketersediaan Energi <i>Biogas</i> yang dimiliki Provinsi Jawa Timur (dari tahun 2000 sampai 2016). Meliputi resiko pemiihan bahan organik, kalayakan <i>biodigester</i> , dan kelayakan turbin.	1. Ketersediaan energi <i>biogas</i> : <ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Kapasitas yang amampu dihasilkan (GWh/tahun); 	Kantor ESDM Provinsi Jawa Timur
2	Aspek Infrastruktur	Mengetahui kelayakan infrastruktur yang ada pada objek penelitian dengan tujuan mengetahui panjang jalan di Provinsi Jawa Timur (dari tahun 2000 sampai 2016)	1. Panjang Jalan Provinsi Jatim: <ul style="list-style-type: none"> • Jenis jalan; • Panjang jalan (km); 2. Jumlah kendaraan pengangkut alat berat: <ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Jumlah (unit); 	Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat Provinsi Jawa Timur
3	Aspek Geografis	Mengetahui kelayakan kondisi geografis di suatu wilayah dengan melihat data kondisi cuaca di Provinsi Jawa	1. Rata-rata curah hujan: <ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Curah hujan (mm); 2. Rata-rata suhu udara:	BMKG Indonesia

		Timur (dari tahun 2000 sampai 2016). Data tentang kondisi wilayah dan kondisi cuaca yang ada pada objek penelitian.	<ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Suhu udara ($^{\circ}\text{C}$); 3. Rata-rata kecepatan angin: <ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Kecepatan angin (m/dt); 	
4	Aspek Ekonomi	Menilai kelayakan kondisi ekonomi dalam sektor pengembangan energi <i>biogas</i> pada kota dan kabupaten yang ada di Provinsi Jawa Timur (dari tahun 2000 sampai 2016). Berhubungan dengan kelayakan ekonomi, biaya proyek, dana pinjaman, pajak, dan keputusan investasi.	1. Rata-rata harga jual listrik: <ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Harga (Rp per kWh); 2. Ketersediaan energi biogas: <ul style="list-style-type: none"> • No; • Kabupaten/Kota; • Potensi Biogas (MWh/hari); 3. Laju Inflasi per tahun: <ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Laju Inflasi (%); 4. Rata-rata suku bunga per tahun: <ul style="list-style-type: none"> • Tahun; • Suku bunga (%); 	

Sumber : (Nugroho 2017)

Tabel 2.21 Variabel Kesuksesan Proyek Pembangkit Listrik Energi *Biogas*

No	Variabel Signifikan	Parameter
1	Proyek Energi Biogas	a). Kelayakan Teknis; b). Kelayakan Infrastruktur; c). Kelayakan Geografis; d). Kelayakan Ekonomi; e). Dukungan Masyarakat; f). Keputusan Investasi;
2	Kapasitas Terpasang	a). Proyek Energi Biogas
3	Dukungan Masyarakat	a). Kebutuhan Listrik

Sumber : (Nugroho 2017)

Dalam *penelitian-6*: yang dilakukan oleh **Kiki Yonata** (Yonata 2017) ini **bertujuan** untuk (1) Mendapatkan rancangan sistem PLTS sesuai kapasitas yang diinginkan untuk bangunan komersial di wilayah Surabaya, Indonesia. (2) Mendapatkan perhitungan tekno-ekonomi dan lingkungan sistem PLTS yang paling efisien pada bangunan komersial (3) Mengetahui pengaruh kenaikan *BI* 7-

day Repo Rate terhadap kelayakan investasi sistem PLTS. **Metode** yang digunakan adalah analisis dan rancangan system PLTS dengan menggunakan software PVSystem. **Hasilnya** dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Rancangan sistem PLTS pada bangunan komersial di Surabaya, Indonesia telah dilakukan pada bangunan Kafe *Coffee Toffee* dengan kapasitas 21 kWp per hari menggunakan sistem *grid-connected*. Modul yang digunakan yaitu modul polikristal dan monokristal 250 Wp sebanyak 84 buah dengan inverter kapasitas 20 kW. (2) Berdasarkan analisis ekonomi dan kelayakan investasi, sistem PLTS yang telah dirancang layak untuk dilaksanakan pembangunannya apabila menggunakan modul produksi Indonesia. Sistem akan mengalami pengembalian modal investasi setelah berproduksi selama 13 tahun untuk penggunaan modul monokristal dan 14 tahun untuk modul polikristal. (3) Kenaikan tingkat suku bunga Bank Indonesia dapat meningkatkan *Payback Period*, mengurangi nilai NPV, dan memperkecil nilai PI dari investasi. Dengan menggunakan perhitungan sederhana, nilai maksimum suku bunga Bank Indonesia adalah sebesar 7.5% agar investasi 21 kWp masih layak dilakukan.

2.2.2 Penelitian terkait Sustainable University

Dalam *penelitian-7*: yang dilakukan oleh **Chiara Mio** (Mio 2013) yang berjudul “*Towards a Sustainable University: The Ca’ Foscari Experience*” **berfokus** pada Tata Kelola Keberlanjutan sebuah universitas dengan pendekatan strategi organisasi; implementasi; alat keberlanjutan; tata kelola berkelanjutan; pemetaan pemangku kepentingan yang berkonsep *green universities* dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan, antara lain: *sosial, ekonomi, lingkungan* dalam mengelola sebuah universitas, yaitu Ca’ Foscari University dengan melibatkan pemangku kepentingan. **Metode** yang digunakan adalah analisis dan komparasi adopsi beberapa pendekatan keberlanjutan; tata kelola dan konsep *green university* yang diakui dunia dalam merencanakan dan memformulasikan pengelolaan manajemennya, sehingga mampu memenuhi standar keberlanjutan sebuah organisasi, dengan menggunakan 2 konfigurasi pendekatan keberlanjutan untuk Ca’ Foscari University, yaitu: (1) **Pendekatan Teknis-Teknologi**, yang

berorientasi pada dimensi lingkungan dengan menunjukkan komitmen universitas terhadap 2 hal, yaitu: *proses pengelolaan karbon (bersama dengan jejak karbon)* dan *universitas hijau* (Universitas Indonesia, UI, Green Metric 2013), bersama dengan jaringan dan peringkat keberlanjutan.. (2) **Pendekatan Strategis-Organisasi**, memerlukan intervensi dari para pemangku kepentingan dalam mengelola strategi, manajerial dan organisasional di semua lini universitas. Framework yang digunakan adalah *Global Reporting Initiative (GRI)* dan standar *The AA1000 Series Standar* (AccountAbility AA1000 2011) sebagai standar dirancang untuk pemikiran terintegrasi yang diperlukan oleh ekonomi rendah karbon dan hijau, dan mendukung pelaporan dan jaminan terintegrasi. Dan **hasil** dari penelitian ini adalah: *sistem dan strategi tata kelola, bersama dengan keterlibatan pemangku kepentingan; pengukuran kinerja dan sistem evaluasi, bersama dengan indikator kinerja utama (KPI) keberlanjutan dan sentralitas indikator hasil dalam set KPI; dan sistem pelaporan, bersama dengan laporan keberlanjutan* dan pendekatan baru pelaporan terintegrasi. Jadi secara prinsip pembangunan berkelanjutan yang sangat penting adalah intervensi dalam *sistem tata kelola, perencanaan strategis, pengukuran dan evaluasi kinerja, dan pelaporan* yang tertuang dalam komitmen keberlanjutan universitas sebagai **Statuta** dan **Rencana Strategis**. Keterlibatan pemangku kepentingan dapat dengan berbagai cara terstruktur, mengadopsi berbagai alat yang berbeda, empat hal yang memerlukan tingkat komitmen yang berbeda dari universitas adalah: *waktu; investasi; risiko dan kemauan untuk berkolaborasi* (AccountAbility and United Nations Environment Programme Stakeholder Research Approach 2005a) dengan mempertimbangkan: *pelaporan; konsultasi; dialog dan kemitraan*. Untuk realisasi yang efektif dari melibatkan pemangku kepentingan, fase-fase yang harus diperkenalkan oleh universitas dan ditempatkan dalam 4 perspektif strategis antara lain: *analisis dan perencanaan; analisis kemampuan organisasi; penyusunan skema jalur nyata keterlibatan dan realisasinya dan evaluasi kegiatan dan pelaporan hasil yang dicapai-tahap akhir* dengan mengadopsi model *Global Reporting Initiative (GRI)* sebagai referensi utama dalam implementasi laporan sebagai panduan dalam pemilihan konten dan metode untuk evaluasi informasi di setiap area tema. Ca 'Foscari juga mengadopsi metodologi yang ditunjukkan oleh

CAF University (CRUI Foundation 2010) dan informasi yang berasal dari penyusunan laporan penilaian diri yang ditulis oleh universitas Venesia sejak partisipasinya di metodologi CAF (CRUI Foundation 2012). Untuk *model laporan*, menggunakan Pedoman GRI dengan cara yang paling tepat, termasuk sebagai bukti dari tabel korespondensi antara indikator-indikator yang digunakan dan diterapkan dalam Model GRI, bersama dengan prinsip-prinsip *Global Compact*, Prinsip-prinsip untuk Pendidikan Manajemen yang Bertanggung Jawab dan *UI GreenMetric World University Ranking 2011e ISC*N (International Sustainable Campus Network 2013). Aspek-aspek ini menjadikan Ca 'Foscari dikenal sebagai sebuah universitas Universitas “*fair, sustainable, meritocratic*” (Ca' Foscari University of Venice (2011a) 2013) .



Gambar 2.36. *keyword* dengan pembagian tiga dimensi keberlanjutan
Sumber : Ca' Foscari Venezia, (Ca' Foscari University of Venice 2013e)

2.2.3 Penelitian terkait Emisi Karbon dari Energi

Dalam *penelitian-8*: yang dilakukan oleh *Sayekti Harits Suryawan* (Suryawan 2019) ini **bertujuan** untuk mengembangkan model sistem transportasi publik yang berkelanjutan di kota Surabaya. **Metode** yang digunakan adalah sistem dinamik yang digunakan untuk mensimulasikan keberlanjutan sistem transportasi di kota Surabaya, dengan mempertimbangkan 3 aspek utama dalam pembangunan berkelanjutan seperti *aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan* terkait dengan sistem transportasi publik. **Hasilnya** dapat disimpulkan sebagai berikut:
 (1) Faktor keberlanjutan dari dimensi lingkungan pada sistem transportasi

utamanya sangat dipengaruhi oleh aktivitas lalu-lintas di kota Surabaya, dengan cara mengurangi jumlah penggunaan kendaraan pribadi secara efektif dapat mengurangi jumlah emisi gas rumah kaca yang timbul dari aktivitas transportasi. (2) Penggunaan energi dan sumber emisi gas rumah kaca di Surabaya didominasi oleh kendaraan berbahan bakar bensin yaitu: mobil pribadi, sepeda motor, dan angkot. (3) Berdasarkan hasil simulasi model, terdapat indikasi bahwa pada kondisi saat ini angkot secara finansial sangat terancam keberlanjutannya. Baik dari segi ekonomi terkait investasi dan segi sosial terkait kesejahteraan pengemudi angkot. (4) Secara umum, pertumbuhan arus lalu-lintas pada sistem transportasi di Surabaya yang didominasi oleh kendaraan pribadi akan berdampak pada berkurangnya kualitas layanan jalan. (5) Berdasarkan perbandingan antara kedua skenario yang dibangun, untuk meningkatkan keberlanjutan angkot sebagai salah satu sarana transportasi adalah dengan memanfaatkan bus sebagai angkutan publik pada jalur-jalur arteri sehingga angkot dapat difokuskan pada jalur-jalur lokal sebagai angkutan *feeder* dengan rute yang lebih pendek.

Tabel 2.22 Indikator sistem transportasi berkelanjutan kota Surabaya

Dimensi	Indikator
Lingkungan	Emisi gas rumah kaca
	Penggunaan energi tak terbarukan
Sosial	Kesejahteraan pengemudi angkot
	Keselamatan
Ekonomi	Kinerja jalan raya (Mobilitas)
	Kinerja keuangan bisnis angkot
	Efisiensi biaya transportasi

Dalam *penelitian-9*: yang dilakukan oleh **Ribka Regina Roshinta** dan **Sarwoko Mangkoedihardjo** (Roshinta and Mangkoedihardjo 2016) ini **bertujuan** untuk memetakan tingkat emisi CO₂ yang dihasilkan dari transportasi mode mobil dan motor, yang akan digunakan untuk menentukan kecukupan Ruang Terbuka Hijau di kawasan ITS Surabaya. **Metode** yang digunakan analisis data primer dan data sekunder. Pengumpulan *data primer* dilakukan dengan *traffic counting* moda transportasi selama 5 hari kerja aktif, yaitu Senin sampai Jumat pada tanggal 11-17 Maret 2016, selama 6 jam per hari dengan pembagian waktu (1) Jam puncak pagi: 07.00-09.00; (2) Jam puncak siang: 12.00-14.00; (3)

Tabel 2.23 Jumlah Kendaraan ITS Surabaya 2010-2017

Jenis Kendaraan	Rata-rata per hari		Rata-rata per jam	
	(kendaraan/6 jam)		(kendaraan/jam)	
	Tiap Jenis	Total	Tiap Jenis	Total
Mobil	1,778	8,641	296	1,440
Motor	6,863		1,144	
Mobil	1,719	8,207	286	1,367
Motor	6,488		1,081	
Mobil	2,303	11,380	384	1,897
Motor	9,077		1,513	
Mobil	1,887	6,953	314	1,158
Motor	5,066		844	
Mobil	2,920	12,659	487	2,110
Motor	9,739		1,623	
Mobil	1,790	13,255	298	2,209
Motor	11,465		1,911	
Mobil	1,061	6,537	177	1,090
Motor	5,476		913	
Mobil	909	4,865	152	811
Motor	3,956		659	

Sumber: (Roshinta and Mangkoedihardjo 2016)

Tabel 2.24 Panjang Jalan Tiap Zona di ITS Surabaya

Zona	Panjang Jalan (km)	Zona	Panjang Jalan (km)
1	0.65	5	1.2
2	0.51	6	1.14
3	0.7	7	0.65
4	1	8	0.8

Sumber: (Roshinta and Mangkoedihardjo 2016)

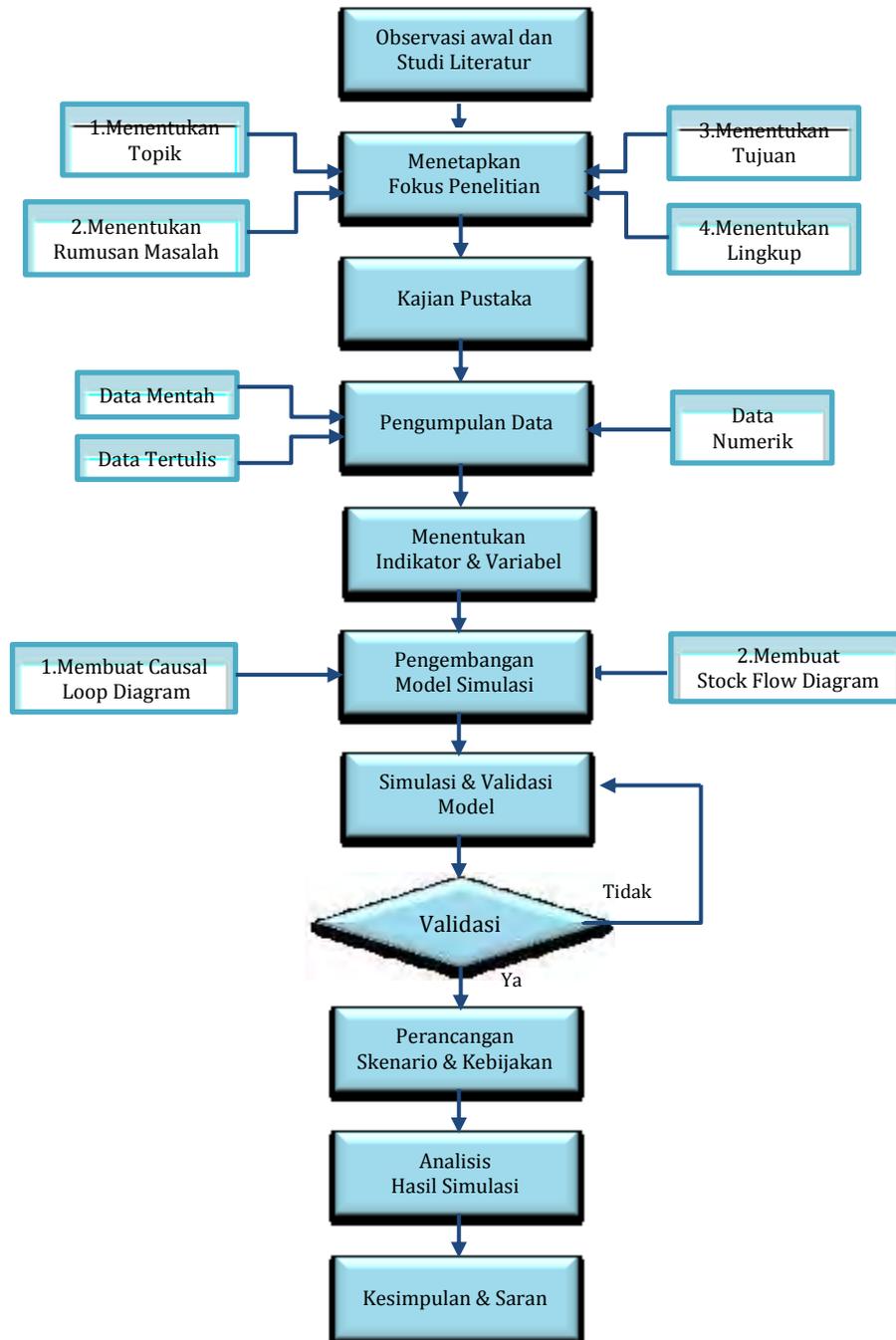
Dalam *penelitian-10*: yang dilakukan oleh *Nabilla Yuslinanda* (Yuslinanda 2018) **bertujuan** untuk (1) Menentukan kadar CO₂ berdasarkan jumlah serta jenis kendaraan bermotor. (2) Menentukan penyebaran emisi menggunakan box model. (3) Menentukan kemampuan RTH Eksisting dalam menyerap emisi CO₂ pada rencana Masterplan ITS. **Metode** yang digunakan adalah analisis perhitungan jumlah kendaraan bermotor di kampus ITS Surabaya dengan menggunakan metode box model dengan mengaitkan dokumen

Masterplan ITS. Perhitungan jumlah kendaraan bermotor dilakukan di sepuluh titik lokasi. Data primer berupa jumlah kendaraan bermotor yang masuk ke lokasi ITS Surabaya di hari Senin sampai Jumat dari jam 07.00-09.00 dan 16.00-18.00 WIB. Data sekunder adalah Masterplan ITS 2015 dan datapeta RTH Eksisting ITS Surabaya. **Hasilnya** adalah (1) Berdasarkan hasil perhitungan jumlah emisi dari hasil traffic counting pada kendaraan yang masuk dari total sepuluh lokasi di ITS Surabaya, terdapat nilai emisi terbesar 0.2492 ton CO₂/2jam pada jam puncak 07.00-09.00 WIB. Sedangkan nilai emisi terkecil ada pada lokasi Blok U pada pukul 07.00-09.00 WIB sebesar 0.0169 ton CO₂/2jam. (2) Skenario penyebaran emisi menggunakan box model dibuat dengan jumlah 3 box model pada setiap lokasi yang berbeda. Lokasi pertama yaitu box model dari pintu masuk bundaran ITS hingga departemen Biologi dengan nilai 1.462 mg CO₂/m³. Pada lokasi kedua yaitu Pintu Masuk Asrama ITS hingga Blok U dengan nilai 0.920 mg CO₂/m³. Sedangkan pada lokasi ketiga yaitu Pintu Masuk Pens hingga Gedung Riset Center dengan nilai 0.360 mg CO₂/m³. (3) Berdasarkan analisis jumlah luasan RTH Eksisting menganalisis sebagian besar jumlah tumbuhan yang berada di zona kawasan kampus ITS adalah mampu menyerap 13488 g CO₂/hari. Namun pada hari puncak yaitu Rabu dan Jumat, RTH Eksisting belum mampu menyerap seluruh emisi yang berada di kawasan kampus ITS Surabaya.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini (Gambar 3.1).



Gambar 2.38 Diagram Alur Metodologi Penelitian

3.1. Observasi Awal

Tahap ini bertujuan untuk memahami karakteristik dari sistem yang menjadi objek penelitian, yaitu kampus ITS Surabaya. Dimana setiap organisasi memiliki potensi dan karakteristik tersendiri yang dapat dioptimalkan sebagai kekuatan organisasi tersebut dalam mengembangkan organisasinya.

Pemahaman sistem dimulai dengan melakukan observasi langsung ke bagian-bagian terkait di ITS Surabaya untuk melakukan wawancara dalam mendapatkan gambaran kondisi terkini terkait penggunaan listrik dan penerapan *green energy* dalam ruang lingkup *green campus* untuk tujuan *sustainable university* yang ada di ITS Surabaya. Beberapa bagian tersebut antara lain: *Direktorat Perencanaan Dan Pengelolaan Sarana Dan Prasarana (DPPSP)*, *Departemen Teknik Elektro*, *Sekretariat Smart-Eco Campus*, *Departemen Teknik Lingkungan*, dan *Bagian Akademik dan Kemahasiswaan*.

Selain observasi, studi literatur dilakukan dengan mempertimbangkan 3 *framework* penelitian, yaitu: *sustainable energy*; *greenmetrix* dan *sustainable university*, guna mengetahui *trend issue* terkini tentang masalah terkait dan menyelaraskan antara latar belakang masalah; rumusan masalah; dan tujuan penelitian yang akan dicapai.

Dari 3 *framework* diatas, difokuskan menjadi 3 pilar *sustainable* yaitu: ekonomi; lingkungan dan sosial. Sehingga dapat dijadikan pertimbangan strategi kebijakan manajemen dalam rencana pengembangan *renewable energy* sebagai strategi diversifikasi energi dalam konsep *sustainable university*.

3.2. Menetapkan Fokus Penelitian

Dengan mempertimbangkan 3 *framework* penelitian dan 3 pilar *sustainable* yang digunakan, maka dilakukan “pengerucutan” dengan menetapkan bidang area yang akan diteliti, yaitu pengembangan *solar energy* untuk skala kampus sebagai bentuk diversifikasi energi beserta dampaknya dengan menjadikan 3 pilar *sustainable* sebagai strategi pengambilan kebijakan pengembangan *green energy* dalam konsep *sustainable university*.

Adapun tahapan yang dilakukan meliputi: (1) menentukan topik penelitian;(2) merumuskan permasalahan;(3) menetapkan tujuan penelitian dan (4) menentukan ruang lingkup penelitian.

Topik penelitian yang dipilih adalah kebijakan pengembangan *solar energy* sebagai upaya konversi energi listrik PLN dengan mempertimbangkan faktor *sustainable university* : ekonomi, sosial dan lingkungan. **Perumusan masalah** penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus yang lebih difokuskan pada identifikasi *key performance indicator* dalam tiga pilar *sustainable*, yang akan digunakan dalam rencana kebijakan para pengambil keputusan dalam pengembangan *renewable energy* untuk skala kampus dalam framework *energy sustainable; green campus* dan *university sustainable*. **Tujuan penelitian** ini adalah untuk menghasilkan sebuah skenario pemanfaatan teknologi informasi dalam strategi rencana pengambilan keputusan dan rencana pengelolaan kampus berkelanjutan terkait *renewable energy (solar energy)* dan *sustainable university*. **Ruang Lingkup penelitian** ditetapkan untuk membatasi pembahasan yang akan dianalisis dalam penelitian ini terkait energi, meliputi: objek utama adalah penggunaan listrik konvensional PLN dan kapasitas yang mampu dihasilkan *solar PV* yang sudah digunakan di Gedung Research Center. Sumber data diambil dari ITS Surabaya dan lokasi penelitian adalah kampus ITS Surabaya.

3.3. Kajian Pustaka

Pada tahap ini dilakukan kajian pustaka lebih lanjut dengan menganalisis penelitian-penelitian sejenis sebelumnya (Tabel 3.25), untuk membandingkan konsep, alur dan menemukan indikator dan variable signifikan yang sesuai dengan penelitian ini. Juga mencari referensi pada sumber website resmi yang terkait (Tabel 3.26).

Tabel 3.25 Penelitian sebelumnya

Penelitian sejenis sebelumnya	Author
Kajian Potensi Energi Panas Bumi Sebagai Alternatif Pembangkit Energi Terbarukan : Sebuah Framework Sistem Dinamik	Rinanza Zulmy Alhamri
Analisis Ketersediaan Energi Biogas Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif Menggunakan Metode Sistem Dinamik (Studi Kasus: Provinsi Jawa Timur)	Nanda Puji Nugroho
Analisis Tekno-Ekonomi Terhadap Desain Sistem PLTS Pada Bangunan Komersial Di Surabaya, Indonesia	Kiki Yonata
Pengembangan Model Simulasi Sistem Dinamik Untuk Keberlanjutan Sistem Transportasi Publik (Studi Kasus: Kota Surabaya)	Sayekti Harits Suryawan
Towards A Sustainable University “ The Ca’ Foscari Experience”	Chiara Mio
Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Sebagai Penyerap Emisi Gas Karbondioksida (CO2) pada Kawasan Kampus ITS Sukolilo, Surabaya	Ribka Regina Roshintha, Sarwoko Mangkoedihardjo
Stok dan Emisi Karbon di Kampus ITS	ITS Smart-Eco Campus
Renewable energy Policy Evaluation Using A System Dynamics Approach: The Case of Oman	Aisha Al-Sarihi, Marcello Contestabile, Judith A. Cherni

Tabel 3.26. Website rujukan

Website	Judul Artikel
https://www.its.ac.id	ITS Smart Eco Campus
http://greenmetric.ui.ac.id	Criteria & Indicators Green Campus
https://sustainabledevelopment.un.org	Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies
https://unstats.un.org/wiki/display/SDGeHandbook	E-Handbook on SDG Indicators
https://www.globalreporting.org	GRI Standards
https://www.carbonfootprint.com	Look For The Emission Factor Database
https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs	Sustainable Development Goals
https://www.esdm.go.id	
https://www.un.org	The Sustainable Development Goals
https://www.systemdynamics.org	
https://www.pln.co.id	

3.4. Pengumpulan Data

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

Wawancara kepada pihak-pihak yang memungkinkan untuk mengidentifikasi serangkaian indikator yang nantinya dapat mempengaruhi pilihan kebijakan pengembangan *renewable energy*. Peran *stakeholder* dan para pemangku kepentingan sangat diperlukan dalam tahap perencanaan pengembangan *renewable energy* ini. Dimana keputusan pengembangan *renewable energy* ini diharapkan sudah mempertimbangkan tiga aspek *sustainable*, yaitu *economic*; *environmental* dan *social* dalam mengembangkan penggunaan *renewable energy* dalam konsep *green campus* untuk keberlanjutan pengelolaan organisasi.

Penelitian ini bersifat *kuantitatif* karena menggunakan data kuantitatif dalam melakukan analisa sistem operasional listrik di kampus ITS Surabaya. Dan jenis data yang digunakan adalah *data sekunder* dan *data primer*. *Data sekunder* disini merupakan data yang memang sudah tersedia dan tercatat dalam bentuk file laporan, yang diambil dari bagian yang terkait dalam internal organisasi (dalam hal ini adalah ITS Surabaya). *Data primer* disini merupakan data yang diambil dari sebuah penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi dengan menggunakan instrument seperti kuesioner, yang dilakukan pada saat tertentu dan hasilnya hanya dapat menggambarkan keadaan pada saat itu.

3.5. Menentukan Indikator dan Variabel Signifikan

Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting dalam pengembangan model. Dimana dalam berjalannya sistem terdapat komponen-komponen yang saling mempengaruhi dan menimbulkan hubungan sebab akibat. Komponen-komponen yang mempengaruhi secara signifikan dari hasil berjalannya sistem

merupakan variabel signifikan. Setiap variabel yang signifikan dari sistem dipetakan kemudian ditentukan parameter apa saja yang mempengaruhi setiap variabel signifikan. Bisa saja variabel signifikan menjadi parameter variabel lain ataupun sebaliknya. Seluruh variabel signifikan dan parameter yang mempengaruhinya dijabarkan secara sistematis. Identifikasi variabel ditentukan bertujuan untuk memudahkan dalam menyusun tahap berikutnya yaitu pembuatan diagram *causal loop*.

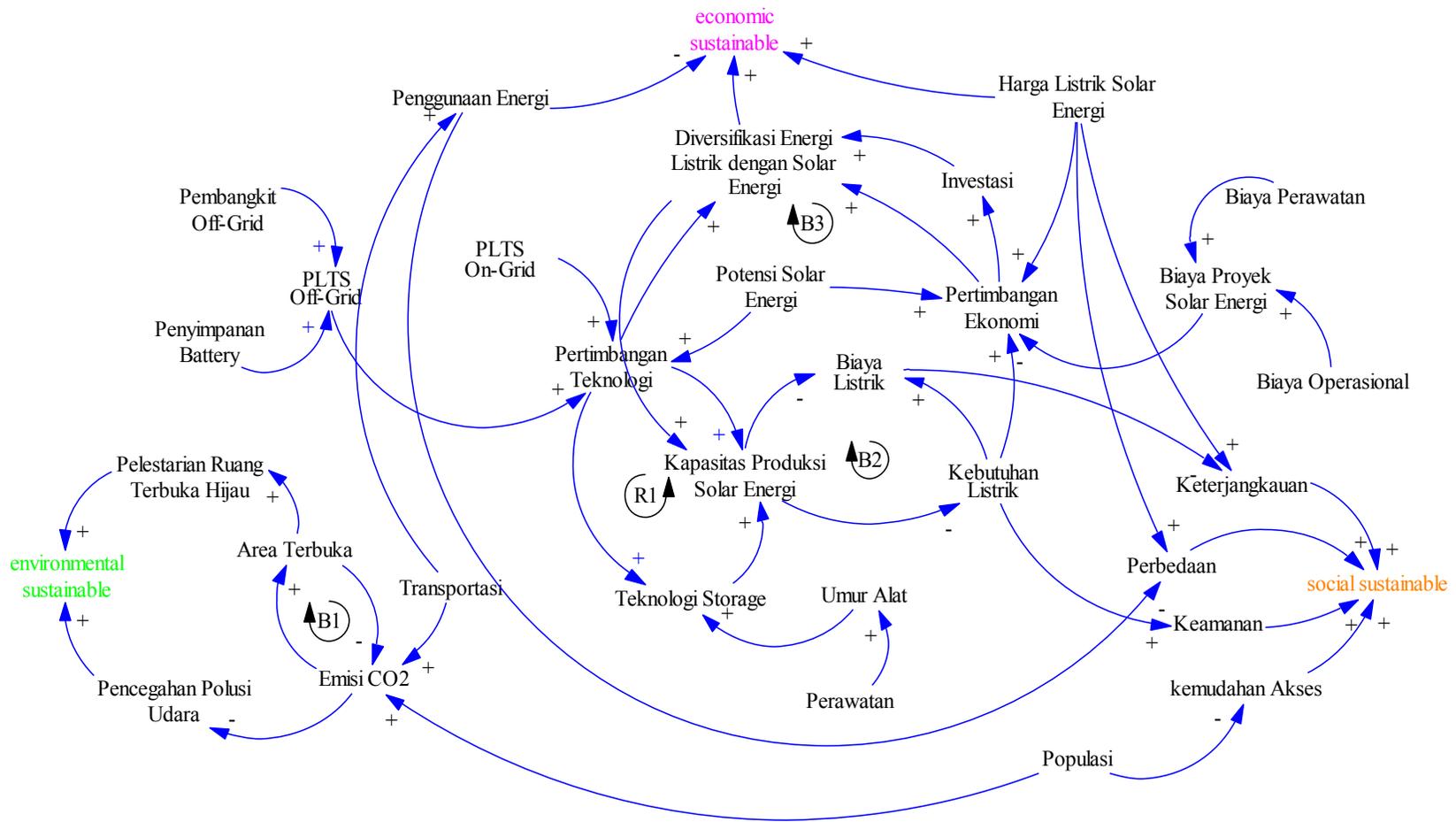
3.6. Pengembangan Model Simulasi

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

3.6.1. Tahap Pengembangan Causal-Loop Diagram

Setelah seluruh variabel signifikan dan parameter yang mempengaruhinya berhasil diidentifikasi, selanjutnya dapat dilakukan pengembangan *causal loop diagram* (CLD). Pengembangan CLD dimaksudkan untuk memvisualisasikan bagaimana keterkaitan variabel dan parameter pada suatu sistem. Dengan dikembangkannya CLD maka akan semakin mudah dalam memahami bagaimana sistem yang menjadi objek penelitian berjalan. Dimungkinkan saat mengembangkan CLD terlihat kekurangan dari variabel atau parameter yang ada pada sistem, hal ini bisa dilakukan penambahan atau pengurangan variabel dan parameter sehingga langkah bisa kembali pada tahap sebelumnya untuk memperbaiki konseptual sistem.

Pengembangan CLD dimulai dengan menggunakan *triple bottom line* pada konsep *sustainable* sebagai dasar dalam mengembangkan CLD. Selanjutnya, pengembangan CLD dilakukan dengan metode *bottom-up* dengan memecah masing-masing dimensi keberlanjutan kedalam masing-masing indikator dan faktor-faktor yang saling mempengaruhi.



Gambar 3.39 Causal Loop Diagram secara Umum pada pengembangan diversifikasi Renewable Energy Kampus ITS Surabaya

3.6.2. Tahap Pengembangan *Stock and Flow Diagram*

Tahap pengembangan CLD diikuti dengan pengembangan *stock and flow diagram* (SFD). SFD menyediakan teknik yang memungkinkan untuk membuat purwarupa proses bisnis dari sistem yang memungkinkan untuk dieksplorasi perilakunya dan untuk diuji pengaruh perubahan pada struktur dan kebijakan yang mengatur perilakunya.

Pengembangan SFD tetap berdasar pada CLD yang telah dikembangkan pada tahap sebelumnya. Dengan SFD, konseptual sistem lebih ke arah model yang dapat disimulasikan. SFD menjadi tahap yang penting karena merepresentasikan pemodelan dari sistem yang sebenarnya untuk dilakukan simulasi sesuai dengan Metode Sistem Dinamik. Langkah pengembangan SFD, variabel dan parameter yang diperoleh bisa diperbaiki kembali. Pembahasan detail pada (BAB IV).

3.6.3. Tahap Penentuan Ekuasi

Pada diagram *stock and flow* sistem terdapat berbagai komponen berupa parameter, rate, dan level. Setiap komponen pada diagram *stock and flow* mempresentasikan konseptual dari sistem sebenarnya. Agar diagram bisa diterjemahkan ke dalam model yang dapat disimulasikan maka setiap komponen diberikan suatu ekuasi tertentu. Ekuasi berasal dari sumber-sumber terpercaya, termasuk dari observasi dan kajian pustaka. Setiap komponen ditentukan bentuk ekuasi apa yang sesuai.

3.6.4. Tahap Simulasi

Apabila tahap penentuan ekuasi telah selesai maka selanjutnya dilakukan proses simulasi menggunakan aplikasi yang mendukung Metode Sistem Dinamik. Diagram *stock and flow* yang telah memiliki ekuasi perhitungan siap dilakukan eksekusi simulasi. Tahap simulasi perlu masukan data skunder untuk mengisi setiap komponen variabel. Data-data tersebut bersifat data historikal yang mempresentasikan kondisi sistem yang sedang berjalan pada saat ini. Tahap simulasi dilakukan untuk memperoleh hasil proyeksi sistem jangka panjang ke depan menggunakan masukan data historikal yang ada.

3.6.5. Tahap Uji Validasi

Setelah dilakukan simulasi dengan masukan data historikal maka hasil dari simulasi dilakukan uji validasi. Tahap uji validasi bertujuan untuk mengetahui apakah pemodelan sistem yang dikembangkan telah cukup mempresentasikan sistem yang sebenarnya dengan cara membandingkan data hasil dari sistem sebenarnya dengan data hasil simulasi. Ada dua uji validasi yang dilakukan yaitu menggunakan perbandingan rata-rata dengan rumus 3.1 dan perbandingan variasi amplitudo dengan rumus 3.2.

Apabila hasil uji validasi kedua-duanya memenuhi syarat maka model telah valid dimana dapat mempresentasikan sistem yang sebenarnya sehingga bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Dan apabila tidak valid maka model langkah tahapan penelitian bisa diulangi ke tahap pemahaman sistem untuk diperbaiki model konseptualnya. Hasil simulasi yang telah valid merupakan *basecase model* dimana mempresentasikan proyeksi berdasarkan karakter, kondisi, dan situasi sistem saat ini.

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

a. *Mean Comparison*

$$E_1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

\bar{S} = nilai rata-rata hasil simulasi

\bar{A} = nilai rata-rata data

dan model dianggap valid apabila $E1 \leq 5\%$

b. % error variance

$$E_2 = \frac{|S_S - S_A|}{S_A} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

SS = Standar deviasi model

SA = Standar deviasi data

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

3.7. Tahap Pemodelan Skenario

Rencana skenario yang telah ditentukan untuk kemudian diterjemahkan ke dalam model konseptual yaitu SFD. Ekuasi perhitungan model dan data-data skenario parameter ditentukan. Setelah itu barulah simulasi untuk model skenario dieksekusi. Hasil simulasi sistem berdasarkan skenario yang dikembangkan merupakan *scenario model*. *Scenario model* merupakan representasi peningkatan kinerja sistem.

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

1. Skenario Parameter

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

2. Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga di dapat struktur model yang baru dengan tujuan untuk mendapatkan peningkatan kinerja sistem dibandingkan sistem yang lama. Dalam

penelitian ini, fokus permasalahan terletak pada ketidak-seimbangan antara kebutuhan daya listrik dengan pasokan daya listrik dari sumber RE yang ada, sehingga tingkat rasio intensitas RE di kampus ITS Surabaya dapat diketahui. Dan pilihan kebijakan pengembangan masa depan RE skala kampus dapat diperhitungkan dari kerangka *sustainable university*. Sehingga ITS Surabaya dapat mandiri menghasilkan daya listrik juga mengurangi beban ketergantungan terhadap suplai listrik dari PLN untuk memenuhi kebutuhannya.

3.8. Analisis Hasil Simulasi

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

Sedapat mungkin data hasil analisa mampu memberikan kontribusi untuk skenario pengembangan model, serta menambah wawasan keilmuan tentang penerapan sistem *solar cell* di lingkungan kampus.

3.9. Kesimpulan dan Saran

Sebagai akhir dari hasil penelitian ini, maka akan diperoleh kesimpulan berupa landasan dasar dalam pengambilan keputusan yang bersifat strategis dan manajerial untuk membantu perencanaan dalam mengembangkan sistem menjadi lebih baik lagi ke depannya.

Tahap dokumentasi merupakan tahap dimana seluruh hasil penelitian didokumentasikan. Pada tahap ini diperoleh hasil berupa kesimpulan dari penelitian serta saran.

Diharapkan model ini dapat digunakan sebagai alat perencanaan pengembangan model RE dan sebagai dasar dalam memperhitungkan dampak pengambil keputusan khususnya dalam mengukur dampak sosial, ekonomi dan lingkungan secara simultan dari suatu intervensi kebijakan pengembangan RE

pada masing-masing kampus, khususnya ITS, dengan memperhatikan karakteristik organisasi masing-masing.

3.10. Jadwal Penelitian

Jadwal kegiatan penelitian tampak pada Tabel 3.27, dimana kegiatan yang sudah dan akan dilaksanakan dalam penyusunan tesis ini dilakukan mulai pada bulan Februari 2019 sampai bulan Juni 2019.

Tabel 3.27. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Task	Februari				Maret				April				Juni				September				Januari			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																								
Pembuatan model																								
Validasi																								
Uji coba																								
Dokumentasi																								

BAB 4

HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas pengembangan model dari sistem operasional kelistrikan berdasarkan data yang ada (*existing data*), validasi hasil simulasi dari pengembangan model, dan skenario yang ditawarkan dalam proyeksi strategi kebijakan konversi energi di kampus ITS Surabaya. Pengembangan model dilakukan dengan menganalisa kondisi saat ini dengan menggunakan data-data yang tersedia dari berbagai sumber dan hasil pengamatan. Dari hasil analisis data dan faktor-faktor berpengaruh tersebut, selanjutnya akan dibangun sebuah model stockflow diagram sesuai dengan tujuan dan batasan dari penelitian ini.

4.1. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan periode data periodik dari tahun 2008 sampai 2019 untuk data: listrik konvensional dan populasi. Sedangkan untuk data produksi *renewable energy*, periode data mulai Januari sampai dengan Desember 2019. Data lain menggunakan acuan dari hasil pengolahan data primer dari penelitian-penelitian sebelumnya; data dari eksternal organisasi seperti website pemerintah; jurnal dan artikel; ataupun perpustakaan.

Pengambilan data dalam penelitian ini mengacu 3 framework, yaitu : *sustainable development*; *energy sustainable* dan *GreenMetrix*. Framework *sustainable development* digunakan sebagai landasan dalam strategi kebijakan pengelolaan organisasi, dalam hal ini adalah ITS Surabaya. Framework *energy sustainable* digunakan dalam rencana diversifikasi pengembangan *renewable energy* dengan menyesuaikan potensi dan karakteristik kampus ITS Surabaya. Framework *GreenMetrix* digunakan sebagai kerangka konsep *green campus* yang selama ini digunakan oleh kampus ITS Surabaya dalam menjalankan ITS *Smart Eco Campus* nya.

Dari 3 framework yang digunakan, maka pemilahan data dikerucutkan disesuaikan dengan potensi dan karakteristik yang ada pada kampus ITS Surabaya dengan menyesuaikan fokus penelitian pada masalah kebijakan diversifikasi *renewable energi* dalam kerangka sustainable. Adapun pemilahan data, baik data sekunder ataupun data primer dirangkum pada Tabel 4.129 sampai Tabel 4.30.

Tabel 4.28 Data sekunder yang digunakan dalam *framework sustainable development*

Dimensi	Data	Tujuan	Sumber
Ekonomi	Data penggunaan listrik; Data produksi solar PV	Efisiensi sumber daya	Bagian Sarana dan Prasarana
	Data biaya listrik; Data penjualan listrik	Efisiensi operasional	Gedung Research Center
	Harga listrik	Keterjangkauan	Bagian Sarana dan Prasarana
Sosial	Data populasi civitas akademik	Aksesibilitas	Bagian Kemahasiswaan
	Data matakuliah berkelanjutan; Data pendanaan riset berkelanjutan	Partisipasi	Bagian Kemahasiswaan
	Data produksi solar PV	Keselamatan	Gedung Research Center
Lingkungan	Data jumlah kendaraan bermotor; Data emisi	Pencegahan polusi udara	Penelitian sebelumnya
	Data lahan kampus	Pelestarian ruang terbuka	ITS Smart Eco Campus

Data diolah

Tabel 4.29 Data sekunder yang digunakan pada *framework energy sustainable*

Dimensi	Data	Sumber
Ekonomi	Data penggunaan listrik; Data produksi solar PV; Harga energi	Bagian Sarana dan Prasarana; Gedung Research Center
Sosial	Data populasi civitas akademik	Bagian Kemahasiswaan
Lingkungan	Data jumlah kendaraan bermotor; Data emisi; Data populasi civitas akademik	Bagian Kemahasiswaan; Penelitian sebelumnya

Data diolah

Tabel 4.30. Data sekunder yang digunakan pada framework *greenmetrix*

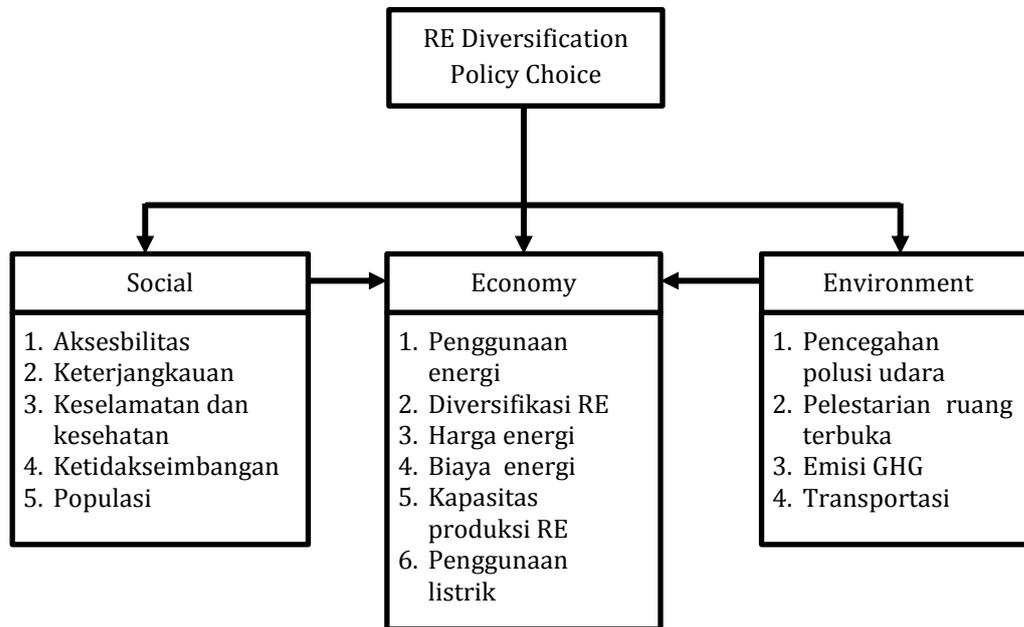
Kategori	Data	Sumber
Penataan dan Infrastruktur	Data lahan kampus; Data populasi civitas akademik	Bagian Sarana dan Prasarana; Bagian Kemahasiswaan
Energi dan Perubahan Iklim	Data penggunaan listrik; Data populasi civitas akademik; Data produksi solar PV; Data Emisi	Bagian Sarana dan Prasarana; Bagian Kemahasiswaan; penelitian sebelumnya
Transportasi	Data kendaraan; Data populasi civitas akademik;	Bagian Kemahasiswaan; penelitian sebelumnya
Pendidikan dan Penelitian	Data matakuliah berkelanjutan; Data dana riset berkelanjutan	Bagian Kemahasiswaan; penelitian sebelumnya

Data diolah

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

4.1.1 Key Performance Indicators Diversifikasi Energi

Berdasarkan data sekunder yang dirangkum dari 3 framework, maka jika melihat potensi dan karakteristik dari kampus ITS Surabaya, dapat dipilah beberapa indikator dalam rangkaian model pengembangan diversifikasi energi pada kampus ITS Surabaya, seperti terlihat pada Gambar 4.40 dibawah :



Gambar 4.40 KPI Kebijakan Pengembangan RE kampus ITS Surabaya

Menurut **Prof. Ontoseno**, dosen senior Departemen Teknik Elektro ITS Surabaya, pilihan *renewable solar energy* sebagai substitusi energi listrik untuk jenis komersial skala kampus, biasanya memiliki tiga pilihan teknologi, yaitu : *off-grid*, *on-grid* dan *hybrid*.

Pengembangan proyek *solar energy* sebagai konversi energi untuk skala universitas ini berfokus pada pemilihan teknologi *solar energy* dalam mensubstitusi beban kebutuhan listrik di kampus ITS Surabaya, sehingga dapat membantu para pengambil kebijakan dalam pengembangan *renewable energy* kampus dalam dimensi *sustainable*. Dengan mempertimbangkan keterlibatan stakeholder dan para pemangku kepentingan dalam mengidentifikasi hambatan, motivasi dan transisi pemilihan *renewable energy*, maka dimungkinkan mengidentifikasi serangkaian variable yang dapat mempengaruhi pillihan kebijakan pengembangan proyek *renewable energy*. Kebijakan pengembangannya dapat dievaluasi dengan mempertimbangkan tiga dimensi *sustainable*, yaitu: ekonomi, sosial dan lingkungan sehingga dapat disimpulkan

key performance indicator dan variabel yang mempengaruhi dapat dilihat pada Tabel 4.31. dibawah ini.

Tabel 4.31 Indikator (*key performance indicator*) Sistem Pengembangan *Renewable Energy* Kampus ITS Surabaya

Dimensi	Indikator	Variable	Referensi
Ekonomi	Penggunaan energi	Penggunaan listrik gardu rektorat; Penggunaan listrik gardu kampus	(IAEA, UNDESA, IEA, EUROSTAT, EEA 2005, pp.11-15) (GRI 2019) (GreenMetric, UI 2018) (Department of Economic and Social Affairs, UN 2019)
	Diversifikasi RE dalam listrik	Produksi RE	
	Harga energi	Harga jual RE	
	Biaya energi		
	Kapasitas produksi RE		
Sosial	Penggunaan listrik		
	Keterjangkauan	Harga listrik; Harga jual listrik	
	Aksesibilitas	Populasi kampus	
	Keselamatan dan kesehatan	Produksi RE	
Lingkungan	Ketidakseimbangan	Harga listrik; Harga jual listrik	
	Pencegahan polusi udara	Emisi GRK; Transportasi	
	Pelestarian ruang terbuka	Luas lahan terbuka; Total area	

Data diolah

4.1.2 Data Sekunder dalam Diversifikasi Energi

4.1.2.1 Data Penggunaan Listrik Kampus ITS Surabaya

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari bagian yang ada di ITS Surabaya, yaitu Bagian Sarana dan Prasarana.

Data yang digunakan antara lain: data Penggunaan Listrik Gardu Rektorat dan data Penggunaan Listrik Gardu Kampus. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.32 dibawah ini:

Tabel 4.32 Data Penggunaan Listrik Kampus ITS Surabaya

Tahun	Gardu Rektorat	Gardu Kampus	Total
2008	4983190.7	4575889	9559079
2009	4940496.7	4621108	9561605
2010	4599505.0	4778760	9378265
2011	4789540.0	4604180	9393720
2012	5027015.0	5068331	10095346
2013	5137340.0	5302200	10439540
2014	4973000.0	4656720	9629720
2015	5039920.0	4209320	9249240
2016	3357960.0	3911800	7269760
2017	4835310.0	5327440	10162750
2018	4783650.0	5766090	10549740
2019	5513556.7	5073301	9586858

Data diolah

4.1.2.2 Data Produksi Listrik PLTS Kampus ITS Surabaya

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari beberapa bagian yang ada di ITS Surabaya, antara lain Bagian Sarana dan Prasarana dan pihak pengelola PLTS yang ada pada Gedung Research Center.

Data yang digunakan antara lain: data Produksi Listrik dari PLTS. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.33 dibawah ini:

Tabel 4.33 Data Produksi Listrik PLTS Kampus ITS Surabaya

Tahun	Produksi PLTS
Januari	896.88
Pebruari	1818.66
Maret	2098.06
April	2326.99
Mei	2993.92
Juni	2755.43
Juli	2978.10
Agustus	2000.00
September	2061.80
Oktober	2176.48
Nopember	2064.24
Desember	2120.36

Data diolah

4.1.2.3 Data Populasi Civitas Akademik Kampus ITS Surabaya

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari bagian yang ada di ITS Surabaya, Yaitu Bagian Akademik Pengajaran dan Kemahasiswaan.

Data yang digunakan antara lain: data dosen; data Tenaga Pendidik dan Mahasiswa. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.34 dibawah ini:

Tabel 4.34 Data Populasi Civitas Akademik Kampus ITS Surabaya

Tahun	Dosen	Tendik	MAhasiswa
2010	933	707	17085
2011	917	701	17664
2012	911	683	18786
2013	897	651	20525
2014	902	703	21334
2015	933	703	20712
2016	982	672	20246
2017	964	627	19965
2018	941	618	20126

Data diolah

4.1.3 Data Primer dalam Diversifikasi Energi

4.1.3.1 Data Transportasi yang melintasi Kampus ITS Surabaya

Data yang dijadikan sub model berasal dari penelitian sebelumnya (Roshinta and Mangkoediharjo 2016). Sampling data yang digunakan sebagai acuan adalah **rata-rata jumlah kendaraan per hari** dari 2 moda transportasi, dengan range waktu observasi selama 5 hari aktif perkuliahan dan perkantoran yaitu hari Senin hingga Jumat pada tanggal 11 Maret hingga 17 Maret 2016. Data yang digunakan adalah: jumlah data kendaraan per hari dari jenis mobil dan motor dengan perkiraan panjang jalan yang ada di 8 zona wilayah Kampus ITS Surabaya. Dengan asumsi bahwa pengguna jalan melewati keseluruhan zona saat masuk dan keluar dari wilayah Kampus ITS Surabaya.

Pembagian 8 zona jalan dapat dilihat pada Tabel 4.35. dan peta pembagian zona jalan pada Gambar 4.841. dibawah ini:

Tabel 4.35 Panjang Jalan Tiap Zona di ITS Surabaya

Zona	Panjang (km)
1	0.65
2	0.51
3	0.7
4	1
5	1.2
6	1.14
7	0.65
8	0.8
Jumlah	6.65

Sumber : (Roshinta and Mangkoediharjo 2016), data diolah

8 zona jalan kawasan ITS Surabaya tersebut dengan pembagian masing-masing zona sebagai berikut :

- 1) Pos SKK Bundaran ITS sampai Bundaran Manarul.
- 2) Bundaran Manarul sampai Bundaran SCC.
- 3) Bundaran SCC sampai Jurusan Biologi.
- 4) Gor Bulutangkis sampai Pos SKK Jl. Arief Rachman Hakim.
- 5) Jurusan Biologi sampai Jl. Teknik Mesin berakhir.
- 6) Depan perumdos Blok U (Jl. Teknik Kimia).
- 7) Gedung Riset sampai Jurusan Teknik Informatika.
- 8) Jurusan Teknik Informatika sampai Pos SKK ITS Politeknik.



Gambar 4.41 8 Zona Jalan Kawasan ITS Surabaya

Sumber : Bagian Sarana dan Prasarana ITS Surabaya (Roshinta and Mangkoediharjo 2016)

4.2. **Pemodelan Sistem Berdasarkan Kondisi Saat Ini (*Existing Data*)**

Pemodelan sistem digunakan dalam menggambarkan keadaan sistem dengan bantuan *flow diagram* untuk memudahkan dalam memahami karakteristik dan potensi dari kondisi sistem saat ini. Penggambaran system dilakukan dengan menghubungkan keterkaitan antar indikator keberlanjutan yang telah diidentifikasi sebelumnya dengan data-data yang tersedia. Teknik-teknik perhitungan standar digunakan dalam mengukur potensi dan kinerja diversifikasi energi yang berasal dari berbagai sumber, baik literatur; sumber-sumber resmi dan penelitian sebelumnya.

ITS Surabaya merupakan salah satu kampus yang sudah menerapkan konsep *green campus* dalam pengelolaan kampus berkelanjutannya dengan nama

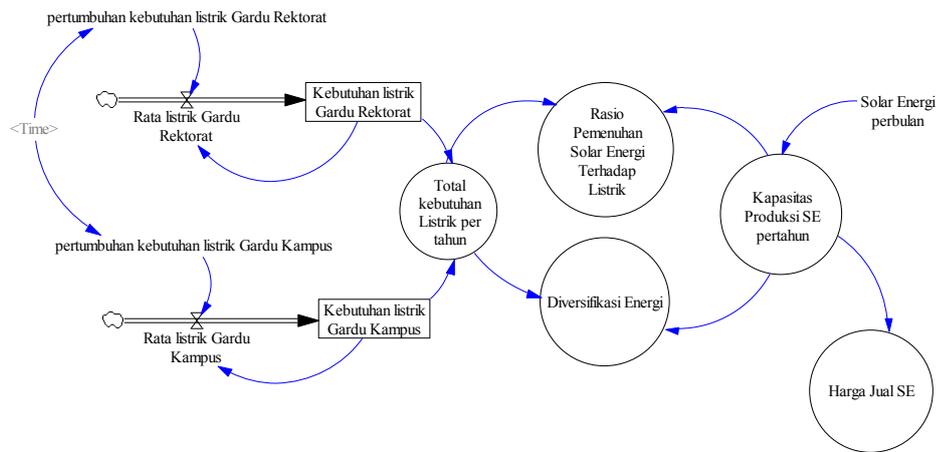
ITS Smart Eco-Campus. Penerapan *green energy* dalam kebijakan pengelolaan *green campus sustainable* pada kampus ITS Surabaya mengacu pada system penilaian framework GreenMetrix Universitas Indonesia sebagai pedoman penilaian green campus. Penggambaran sistem kelistrikan dan penggunaan energi terbarukan digambarkan dalam Model Diversifikasi Energi antara listrik konvensional dengan penerapan PLTS on-grid 16 kWp yang ada pada Gedung Research Center. Pertimbangan kebijakan pengelolaan kampus berkelanjutan terkait diversifikasi energi ini mempertimbangkan tiga aspek *sustainability*, yaitu *ekonomi*, *sosial* dan *lingkungan*, yang dipengaruhi beberapa hal, antara lain: penggunaan listrik, kapasitas produksi Solar PV *on-grid*, populasi, faktor emisi dari penggunaan energi dan kendaraan.

4.2.1 Model Diversifikasi Energi di Kampus ITS Surabaya

Diversifikasi Energi merupakan kegiatan penganekaragaman jenis energi, yang bertujuan mengurangi ketergantungan energi listrik konvensional terhadap suplai dari minyak bumi dengan kebijakan energi terbarukan di samping penghematan energi (efisiensi energi) yang dilakukan secara terstruktur. Penggunaan *renewable energy* dapat menjadi salah satu kebijakan suatu universitas dalam upaya mengelola energi dalam konsep *green campus* untuk tujuan keberlanjutan.

Berdasarkan data histori dari tahun 2008 sampai dengan 2019, total penggunaan listrik di kampus ITS Surabaya mengalami peningkatan rata-rata 0.02% per tahun. Yang terbagi menjadi penggunaan listrik dari meter Gardu Rektorat sebesar 0.82% per tahun dan meter Gardu Kampus sebesar 0,86% per bulan. Sedangkan berdasarkan data histori dari bulan Januari sampai dengan Desember 2019 untuk produksi listrik solar PV adalah 31.19% per bulan.

Pengembangan basis model untuk diversifikasi energi skala kampus beserta sub model nya dapat dilihat pada Gambar 4.42 berikut ini:



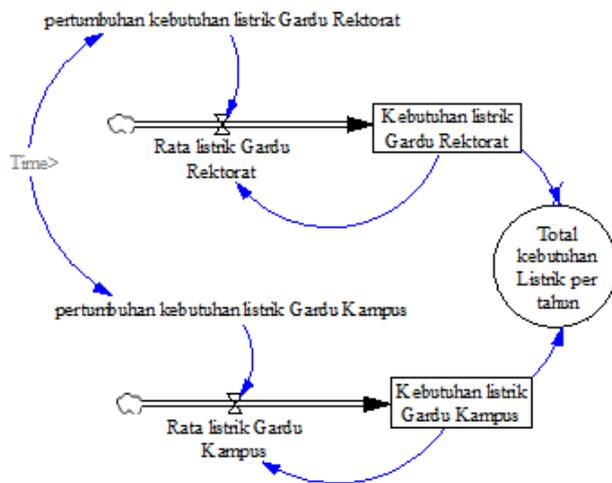
Gambar 4.42 Base Model Diversifikasi Energi di kampus ITS Surabaya

4.2.1.1 Sub Model Kebutuhan Listrik

Penggunaan listrik kampus ITS Surabaya dihitung berdasarkan catatan meter listrik yang ada pada Gardu Rektorat dan Gardu Kampus, yang berdampak pada total penggunaan listrik kampus secara keseluruhan. Sehingga Total kebutuhan listrik dapat dihitung sebagai berikut :

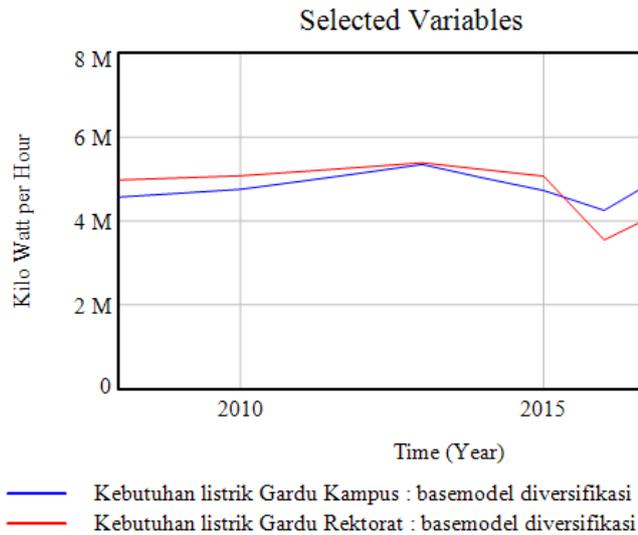
$$\text{Total Kebutuhan Listrik} = \text{Gardu Rektorat} + \text{Gardu Kampus} \dots\dots\dots(4.1)$$

Pengembangan sub model untuk menghitung total kebutuhan energi listrik per bulan selama 1 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.43. berikut ini:



Gambar 4.43 Sub Model Kebutuhan Energi Listrik

Dari hasil running model diketahui bahwa 49.3% dari total penggunaan listrik di kampus ITS Surabaya berasal dari catatan meter yang ada pada Gardu Rektorat, dan 50.7% penggunaan penggunaan listrik di kampus ITS Surabaya berasal dari catatan meter yang ada pada Gardu Kampus.



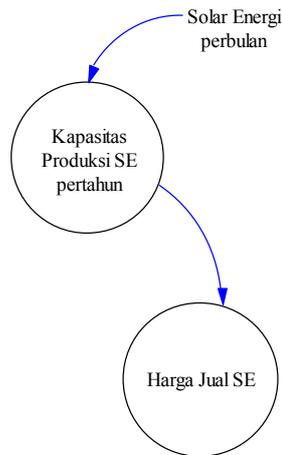
Gambar 4.44 Grafik Hasil Simulasi Kebutuhan Energi Listrik dari Gardu Rektorat dan Gardu Kampus

Dari grafik pada Gambar 4.45. diatas dapat dilihat untuk kebutuhan listrik pada 2 gardu ini tidak terlalu fluktuatif antara tahun 2008 sampai 2015, dan naik tajam pada tahun 2016 sampai 2019, dengan rata-rata penggunaan 4.831.707 kWh/tahun untuk Gardu Rektorat dan 4.847.204,56 kWh/tahun untuk Gardu Kampus.

4.2.1.2 Sub Model Kapasitas Produksi PLTS dari Solar PV on-grid

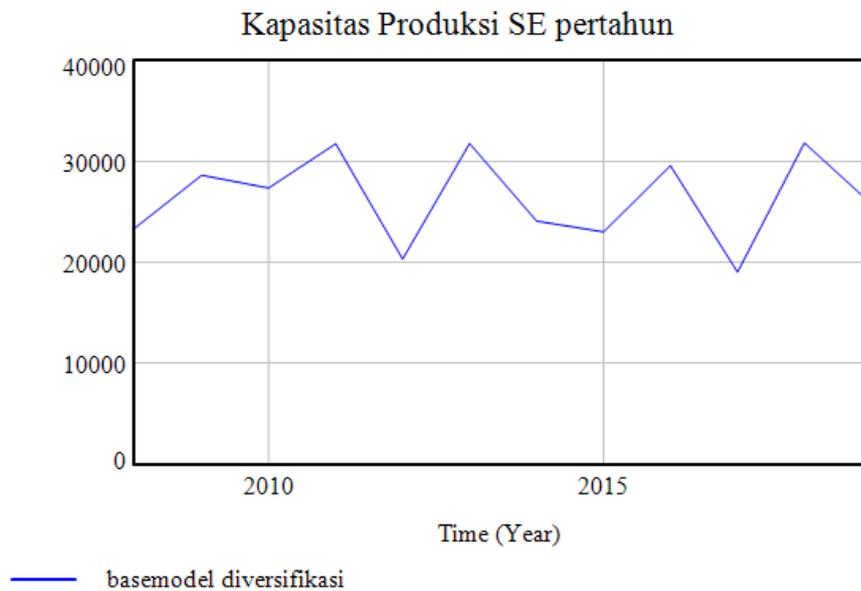
Sub model ini memberikan gambaran jumlah kapasitas produksi listrik yang mampu dihasilkan oleh PLTS On-Grid ITS 16 KWP yang terletak di Gedung Research Center, sebagai bentuk diversifikasi EBT dalam listrik.

Pengembangan sub model untuk menghitung produksi energi listrik yang mampu dihasilkan rata-rata per tahun, dapat dilihat pada Gambar 4.45. berikut ini:



Gambar 4.45 Sub Model Kapasitas Produksi Solar Energi

Dari hasil running model diketahui total kapasitas produksi listrik SE yang mampu dihasilkan adalah sekitar 2200,13 kWh per bulan atau 26.401,55 kWh per tahun. Grafik simulasi pertumbuhan produksi dapat dilihat pada Gambar 4.46. dibawah ini:



Gambar 4.46 Grafik Hasil Simulasi Kapasitas Produksi Solar Energi

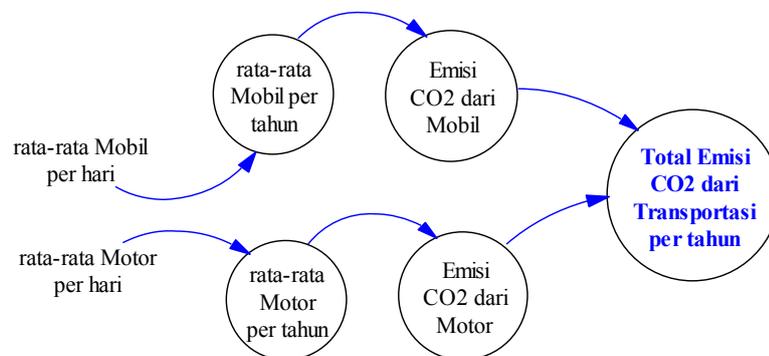
4.2.2 Model Dampak Penggunaan Energi secara Sosial dan Lingkungan

4.2.2.1 Sub Model Transportasi terhadap Emisi CO2

Sub model ini dipengaruhi oleh penggunaan moda transportasi berupa mobil dan sepeda motor. Moda transportasi ini nanti akan berpengaruh pada emisi dan penggunaan energi.

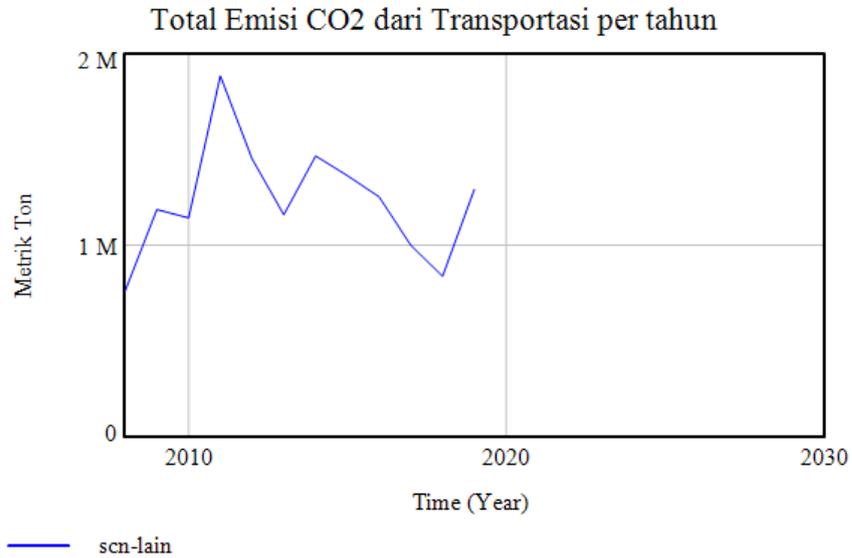
Dari data survey penelitian sebelumnya (Roshinta and Mangkoediharjo 2016), selama 5 hari kerja diatas dapat diketahui bahwa **rata-rata jumlah kendaraan per hari**, jika portal gate dibuka antara jam 05:00 sa,pai 22:00 atau sekitar 15 jam/hari, tanpa mempertimbangkan hari libur, maka rata-rata mobil dan motor yang melewati kawasan ITS Surabaya *per hari* adalah 22.655 unit/hari, terbagi 4.490 unit mobil dan 18.166 unit motor, untuk prediksi panjang jalan adalah 6,65 km. Sehingga dapat di prediksi rata-rata jumlah kendaraan *per tahun* adalah 5.437.275 unit/tahun, dengan jumlah mobil 1.077.525 unit/tahun dan jumlah motor 4.359750 unit/tahun.

Adapun sub model transportasi terhadap Emisi CO2 dapat dilihat pada Gambar 4.47. dibawah ini:



Gambar 4.47 Sub Model Transportasi di wilayah Kampus ITS Surabaya

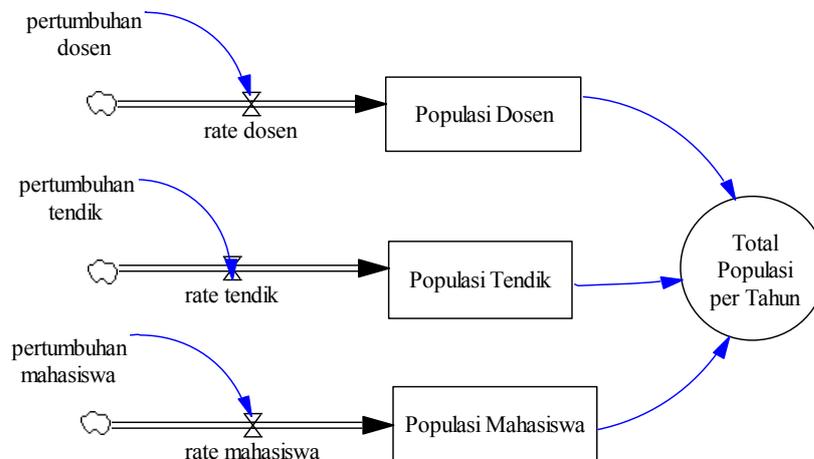
Dan hasil simulasi penggunaan mobil dan motor yang melewati kawasan Kampus ITS Surabaya terhadap emisi CO2 per tahunnya sebagai berikut ini :



Gambar 4.48 Hasil Simulasi Sub Model Transportasi

4.2.2.2 Sub Model Populasi terhadap Kebutuhan Ruang Terbuka

Dengan total luas wilayah kampus ITS Surabaya seluas kurang lebih 180 hektare, dan luas tanah yang digunakan untuk bangunan adalah 150.000 m², dan populasi kampus per tahun rata-rata sekitar 21.027 maka dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.49 Sub Model Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau terhadap Populasi

4.3. Validasi Model

Pengembangan model jumlah pelanggan yang digunakan dalam simulasi dapat dikatakan valid jika hasil perhitungannya telah memenuhi syarat untuk *mean comparison* dan *error variance*. Pada tahap validasi ini bertujuan untuk menguji secara statistic apakah hasil simulasi sudah mewakili kondisi nyata yang sebenarnya dalam sistem, dengan melakukan **perbandingan rata-rata (Mean Comparison)** dengan simbol **E1** dan **perbandingan variasi amplitude (Error Variance)** dengan simbol **E2**.

Menurut Barlas (1989), model dikatakan valid apabila hasil perhitungan menunjukkan $E1 \leq 5\%$ dan $E2 \leq 30\%$ terpenuhi. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E1 = \frac{|\text{Nilai rata-rata simulasi } (\bar{S}) - \text{Nilai rata-rata data } (\bar{A})|}{\text{Nilai rata-rata data } (\bar{A})} \dots\dots\dots(2.10)$$

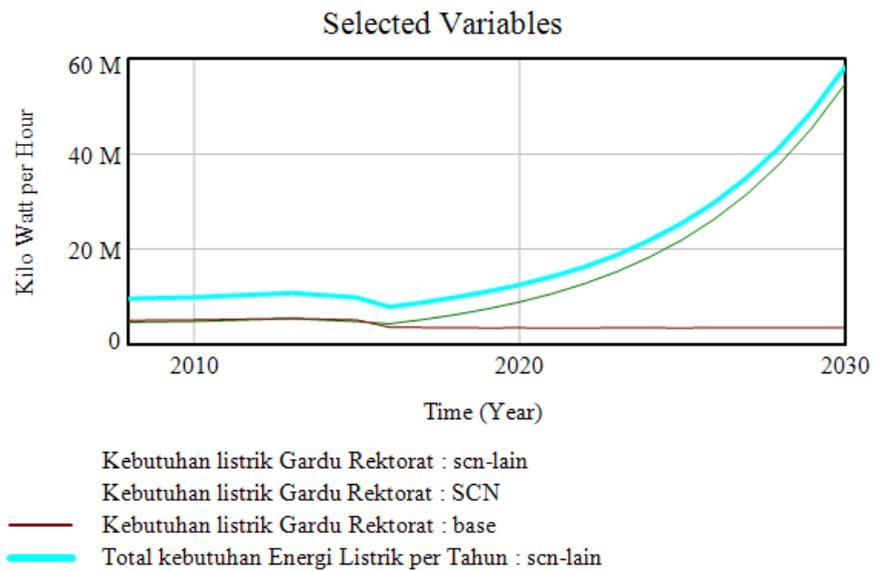
$$E2 = \frac{|\text{Standart deviasi simulasi } (\bar{S}_s) - \text{Standart deviasi data } (\bar{S}_a)|}{\text{Standart deviasi data } (\bar{S}_a)} \dots\dots\dots(2.11)$$

4.3.1. Validasi Model Penggunaan Listrik

Model Penggunaan Listrik yang telah diuji kembali untuk memastikan bahwa model tersebut dapat merepresentasikan kondisi nyata dalam sistem. Validasi model ini membandingkan antara penggunaan listrik dari 2 gardu dan produksi dari solar enegy. Adapun hasil validasi data dengan simulasi dari penggunaan listrik dirangkum dalam Tabel 4.36. sedangkan hasil validasi data dengan simulasi dari produksi PLTS pada Gambar 4.50. adalah sebagai berikut :

Tabel 4.36 Nilai Validasi dari Penggunaan Energi Listrik

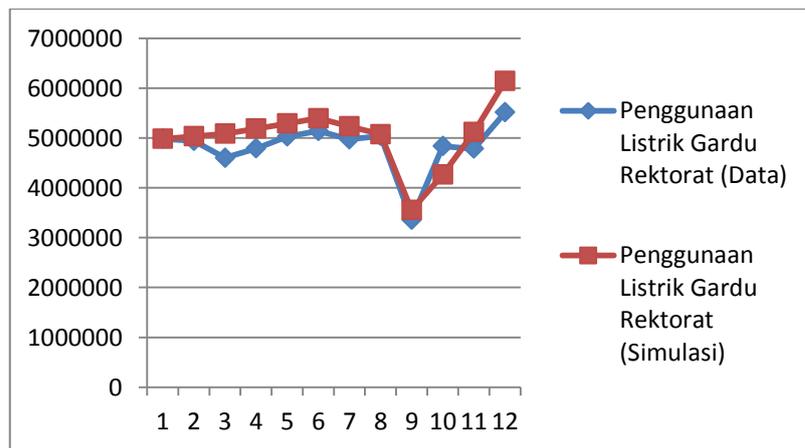
Penggunaan Listrik	Rata-rata		Mean Comparison	Standar Deviasi		Error Variance
	Data	Simulasi	E1 ≤ 5%	Data	Simulasi	E2 ≤ 30%
Gardu Rektorat	4831707.00	5029042.25	4%	515621.70	623739.35	21%
Gardu Kampus	4847204.56	4975180.86	3%	511905.51	490826.28	4%
Total Kebutuhan	9572968.57	9767354.83	2%	842566.10	854429.20	1%



Gambar 4.50 Grafik Perbandingan Kebutuhan Listrik dari Gardu Rektorat dan Gardu Kampus dan Total Kebutuhan Listrik

4.3.1.1. Validasi Sub Model Penggunaan Listrik Gardu Rektorat

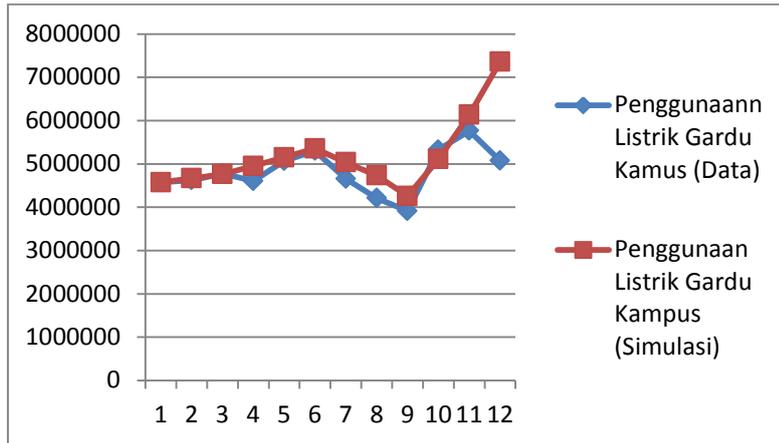
Dimana rata-rata penggunaan listrik per tahun pada Gardu Rektorat, berdasarkan data adalah 4.831.707 kWh/tahun dan hasil simulasi adalah 5029042 kWh/tahun, hasil perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 4.51 di bawah ini:



Gambar 4.51 Grafik Perbandingan Kebutuhan Data Listrik dari Gardu Rektorat dengan Hasil Simulasi

4.3.1.2. Validasi Sub Model Penggunaan Listrik Gardu Kampus

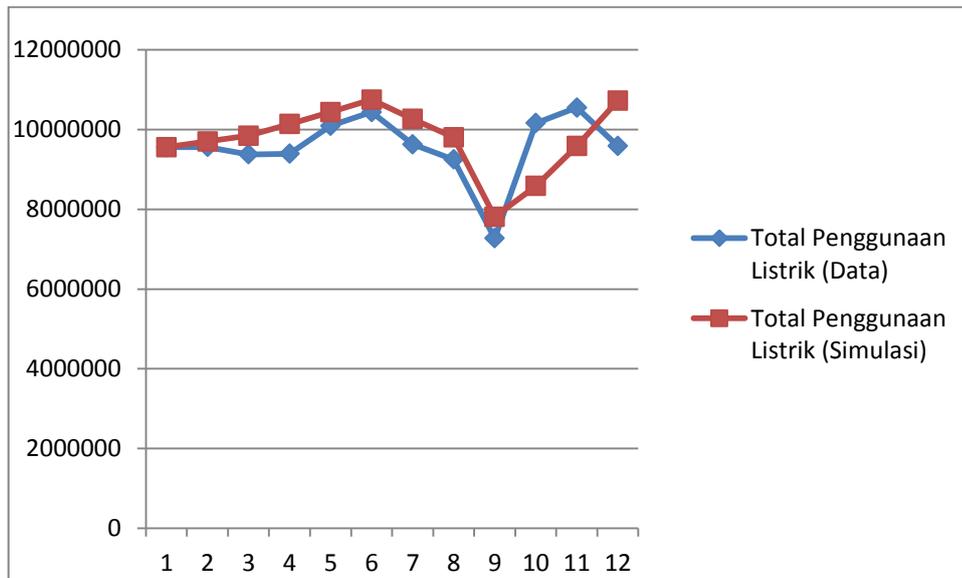
Sedangkan rata-rata penggunaan listrik per tahun pada Gardu Kampus, berdasarkan data adalah 4.847.204,56 kWh/tahun dan hasil simulasi adalah 4.975.180,86 kWh/tahun, hasil perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 4.52 di bawah ini:



Gambar 4.52 Grafik Perbandingan Kebutuhan Data Listrik dari Gardu Kampus dengan Hasil Simulasi

4.3.1.3. Validasi Model Total Penggunaan Listrik

Dan rata-rata total penggunaan listrik per tahun pada kampus ITS Surabaya, berdasarkan data adalah 9572968,57 kWh/tahun dan hasil simulasi adalah 9767354,83 kWh/tahun, hasil perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 4.53 di bawah ini:



Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Total Kebutuhan Listrik dengan Kebutuhan Gardu Rektorat dan Kebutuhan Gardu Kampus - Hasil Simulasi

4.4. Model Skenario

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

Skenario yang dikembangkan dalam penelitian adalah menggunakan skenario struktur, yaitu dengan memperhitungkan kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai alternatif substitusi listrik PLN di kampus ITS Surabaya, sebagai usaha dalam rasio pemenuhan listrik dengan memanfaatkan potensi sumber daya energi baru dan terbarukan, yaitu energi matahari.

4.4.1 Skenario Model Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pengembangan skenario model kapasitas produksi PLTS berdasarkan kebutuhan listrik di kampus ITS Surabaya biasanya dihitung melalui catatan meter yang terdapat pada Gardu Rektorat dan Gardu Kampus. Dimana rata-rata total kebutuhan listrik kampus ITS Surabaya per hari dari 2 gardu tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.37 di bawah ini:

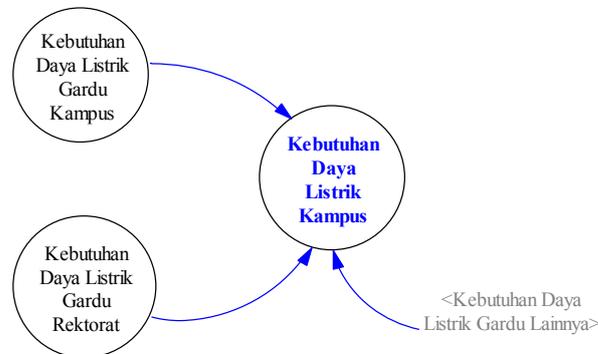
Tabel 4.37 Data Kebutuhan Listrik Harian Minimum untuk kampus ITS Surabaya

No.	Keterangan	Gardu Rektorat (kWh)	Gardu Kampus (kWh)	Total (kWh)
1	Waktu Operasional	12 jam	12 jam	12 jam
2	Kebutuhan Daya Minimal/hari	766,66	893,11	1659.76
3	Kebutuhan Daya Maksimal/hari	1172,91	1316,46	2408.62
4	Kebutuhan rata-rata /hari	1084,10	1101,51	2185.61

Menurut Solarex (1996), Indonesia sebagai Negara tropis memiliki potensi energi matahari dengan radiasi rata-rata $4,5 \text{ kWh}^2/\text{m}^2/\text{hari}$ - $5,0 \text{ kWh}^2/\text{m}^2/\text{hari}$, yang berarti 1 Kw photovoltaic (PV) dapat menghasilkan 4,5 kWh energi listrik setiap harinya.

4.4.1.1 Skenario Model Kebutuhan Daya Listrik PLTS

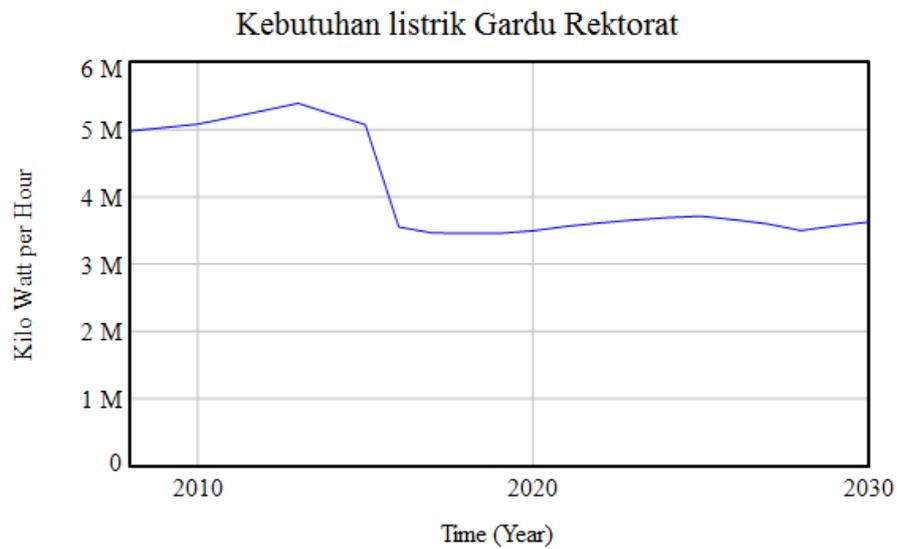
Pengembangan skenario model dalam menghitung kebutuhan listrik minimum di kampus ITS Surabaya dapat dihitung dengan menjumlahkan catatan meter dari Gardu Rektorat dan Gardu Kampus keduanya, dapat dilihat pada Gambar 4.54 di bawah ini:



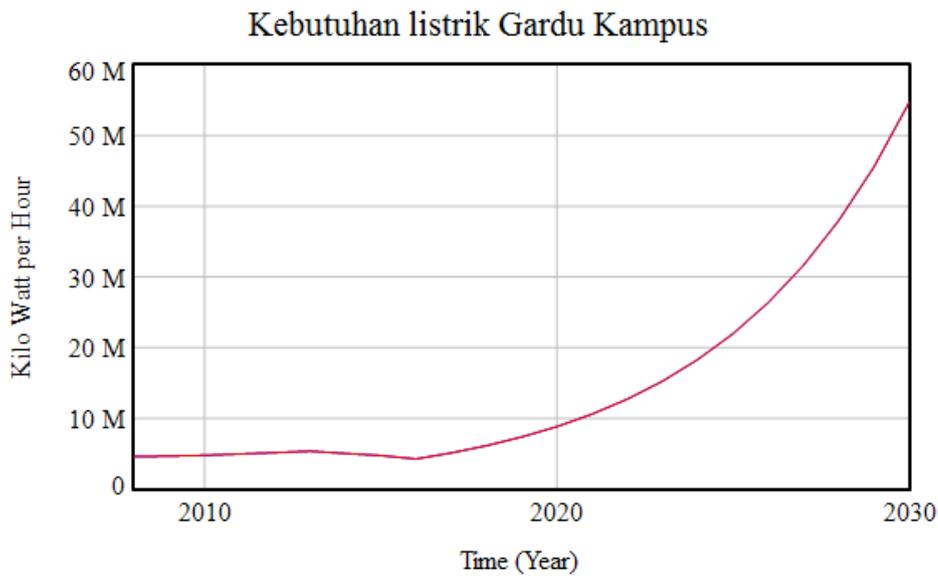
Gambar 4.54 Kebutuhan Daya Listrik kampus ITS Surabaya dari meter 2 gardu

Jika dilihat dari data sebelumnya, bahwa rata-rata total kebutuhan listrik ITS Surabaya dari catatan meter 2 gardu adalah sekitar 9.572.968,57 kWh/tahun atau sekitar 2185,61 kWh/hari, dengan minimum pemakaian sekitar 1659,76 kWh/hari dan maksimal pemakaian sekitar 2408,62 kWh/hari.

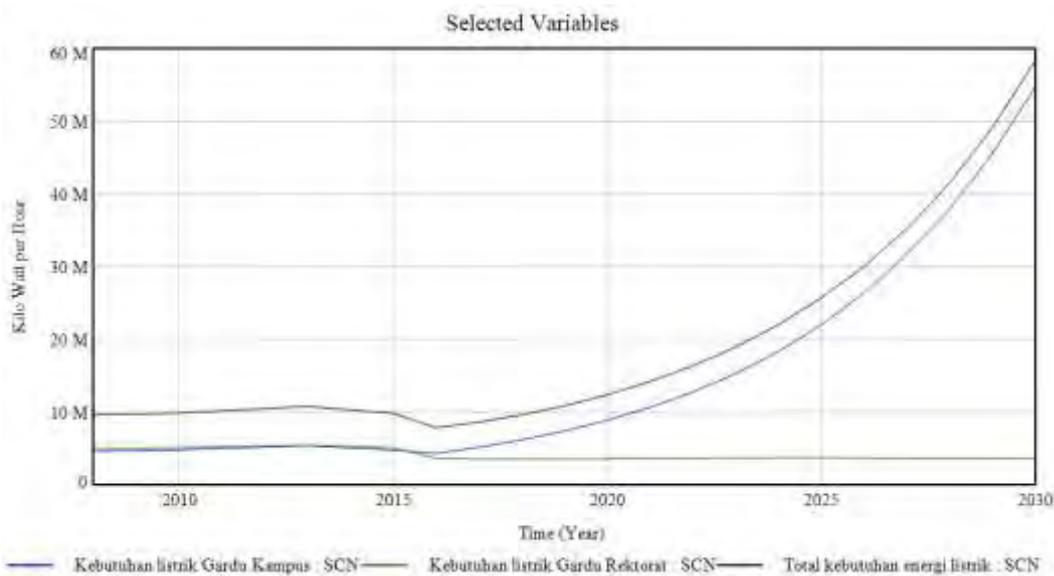
Hasil simulasi skenario model memperlihatkan total kebutuhan listrik untuk Gardu Rektorat sebesar 94739355 kWh; Gardu Kampus sebesar 345999300 kWh dan Total kebutuhan listrik sebesar 440738659 kWh, yang grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.55 sampai Gambar 4.57 di bawah ini :



Gambar 4.55 Kebutuhan Listrik Gardu Rektorat



Gambar 4.56 Kebutuhan Listrik Gardu Kampus



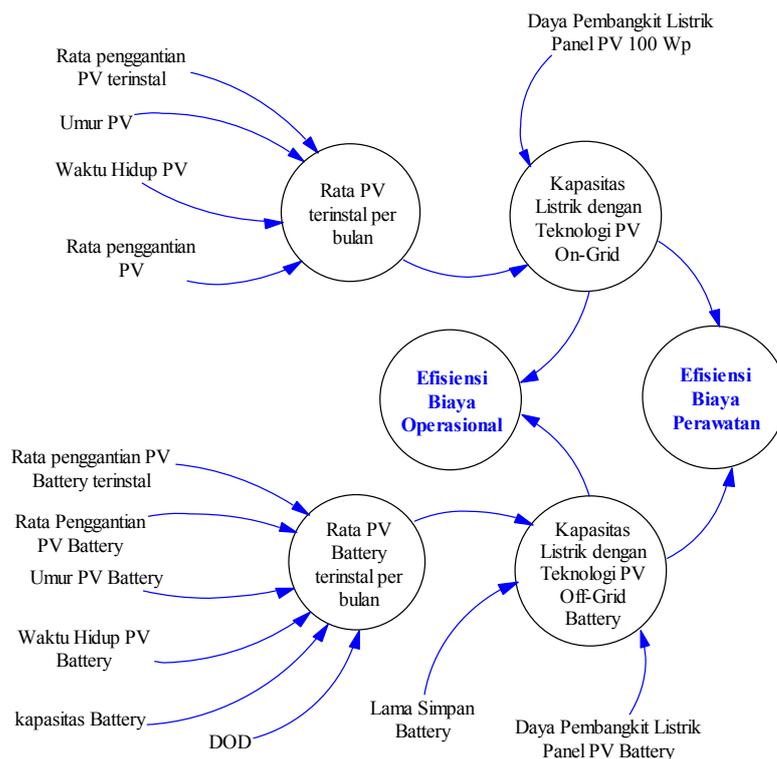
Gambar 4.57 Total Kebutuhan Listrik Kampus ITS Surabaya

4.4.1.2 Skenario Model Perencanaan Kapasitas PLTS

Perencanaan pengembangan PLTS di kampus ITS Surabaya akan dibedakan menjadi 2 alternatif pilihan teknologi yang digunakan, dengan menyesuaikan investasi, kapasitas produksi dan efisiensi biaya operasional dan efisiensi biaya perawatan, yaitu :

1. PLTS On-Grid dengan menggunakan PV
2. PLTS Off-Grid dengan menggunakan baterai

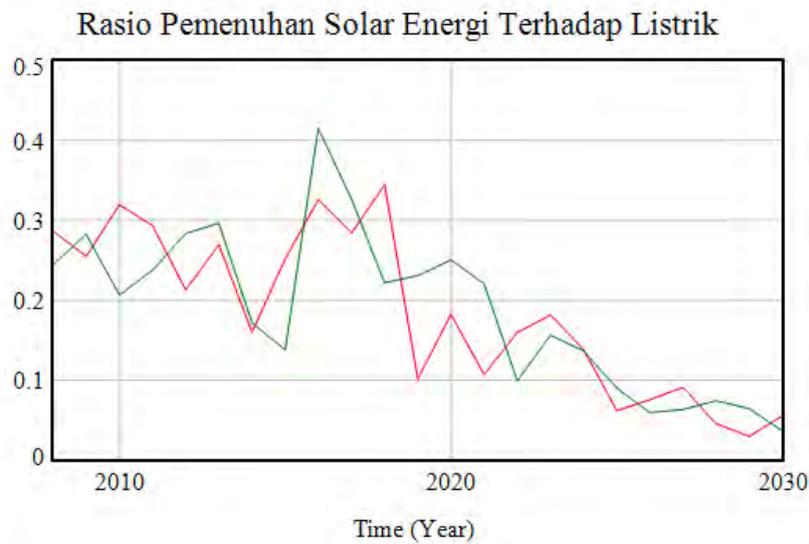
Pengembangan skenario model rasio pemenuhan kebutuhan listrik kampus dengan memperhitungkan sumber pembangkit listrik solar energi dapat dilihat pada Gambar 4.48 di bawah ini :



Gambar 4.58 Total Kebutuhan Daya PLTS kampus ITS Surabaya

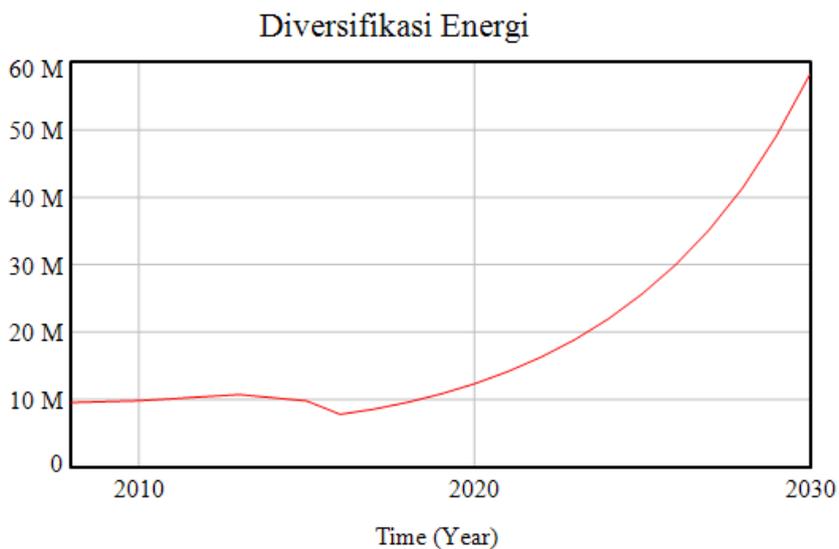
Adapun rata-rata total kebutuhan daya listrik kampus ITS Surabaya adalah 9.767.354,83 kWh/tahun. Dan untuk rata-rata kapasitas produksi PLTS adalah 2.200,13 kWh/tahun.

Sehingga untuk Rasio Pemenuhan antara PLTS dengan total kebutuhan listrik kampus ITS Surabaya selama ini, dapat dihitung dengan perbandingan dari total kapasitas produksi PLTS dibagi dengan total kebutuhan listrik, yaitu sekitar 0,023%. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada Gambar 4.59 berikut ini:



Gambar 4.59 Rasio Pemenuhan Kapasitas Produksi PLTS dengan Total Kebutuhan Listrik

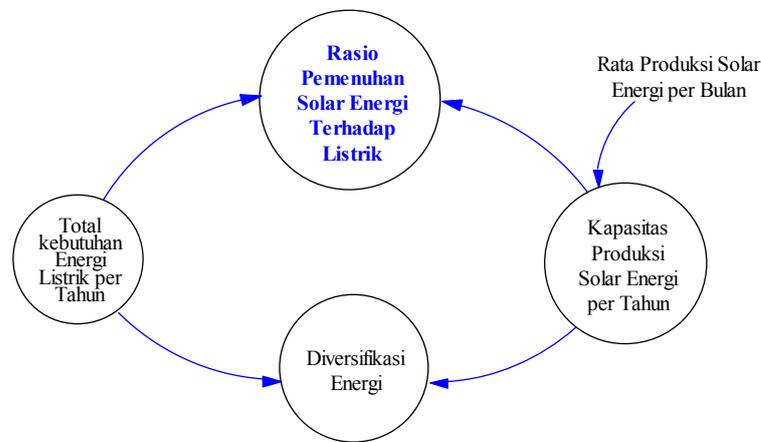
Dan diversifikasi PLTS terhadap total kebutuhan listrik kampus ITS Surabaya selama ini, hanya mampu mengurangi penggunaan listrik sebesar 9765154.70 kWh per tahun. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada Gambar 4.60 berikut ini :



Gambar 4.60 Diversifikasi Energi dari PLTS terhadap Listrik

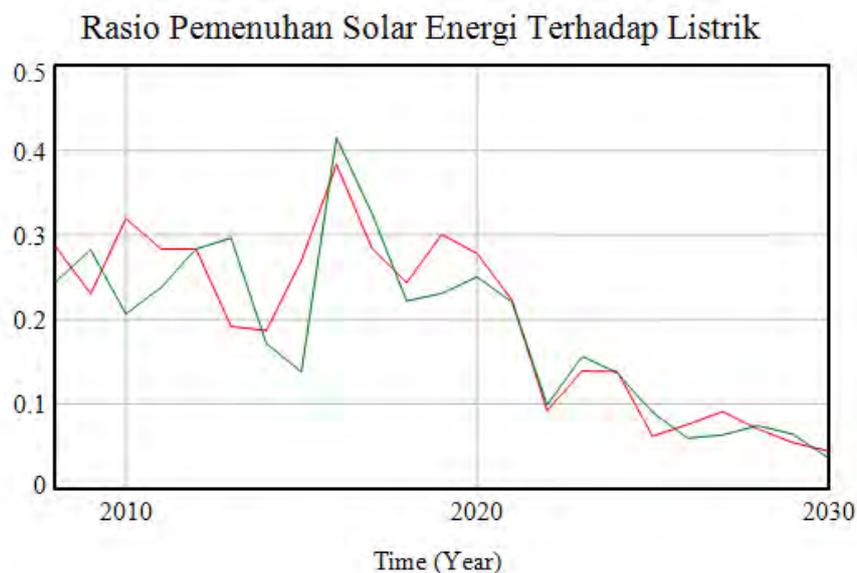
4.4.1.3 Skenario Model Pemenuhan Kapasitas Listrik PLTS dibanding Listrik Konvensional

Pengembangan skenario model rasio pemenuhan kebutuhan listrik PLN, dengan memperhitungkan kapasitas produksi PLTS terhadap kebutuhan listrik kampus ITS Surabaya dapat dilihat pada Gambar 4.61 di bawah, dimana rasio pemenuhan PLTS ini dihitung dengan membandingkan antara kapasitas produksi PLTS dengan total kebutuhan listrik PLN.



Gambar 4.61 Rasio Pemenuhan PLTS terhadap Listrik

Total kebutuhan listrik kampus dari 2 gardu adalah Hasil simulasi skenario model memperlihatkan rasio pemenuhan PLTS terhadap kebutuhan listrik PLN pada tahun 2030 adalah sekitar 4% dari kebutuhan listrik yang ada, grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.62 di bawah ini :



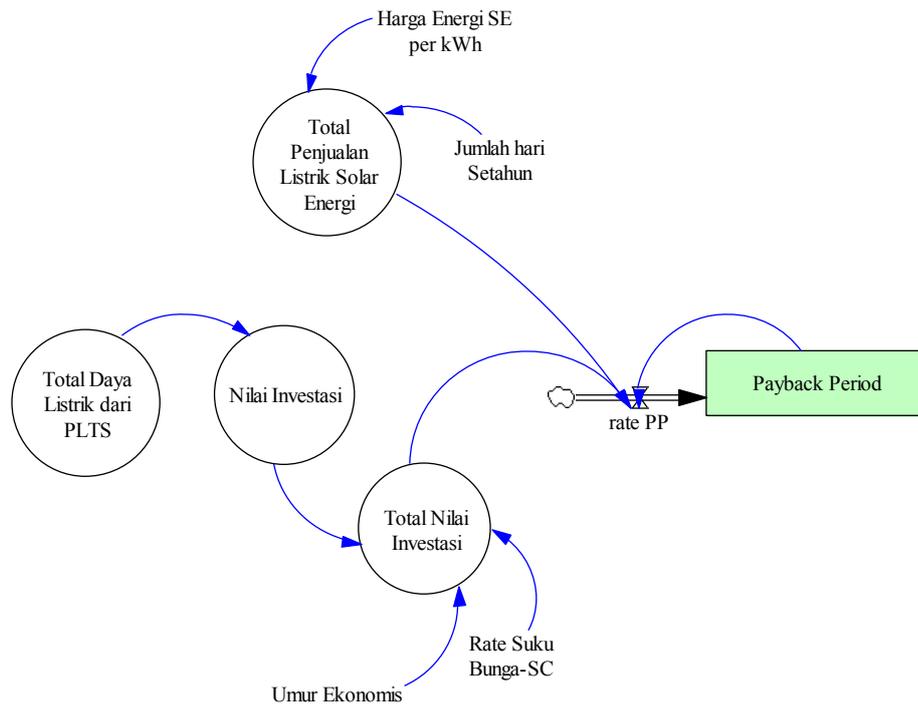
Gambar 4.62. Rasio Pemenuhan PLTS terhadap Listrik

4.5. Pertimbangan Kelayakan secara Teknis-Ekonomis

Pertimbangan kelayakan dalam pengembangan PLTS perlu diperhatikan, karena terkait investasi yang dikelola mampu menghasilkan nilai tambah bagi organisasi. Analisis investasi dilakukan untuk mengetahui apakah sebuah proyek layak untuk dijalankan atau bahkan dikembangkan atau tidak. Ada 2 metode yang dapat digunakan untuk mengukur kelayakan investasi sebuah PLTS untuk skala kampus ini, yaitu : *Payback Period* dan *Net Present Value*.

4.5.1.1 Perhitungan Nilai Investasi PLTS

Metode *Payback Period* digunakan untuk menghitung lamanya waktu yang dibutuhkan dalam pengembalian modal yang telah diinvestasikan di awal. Sehingga keuntungan dari biaya yang dikeluarkan dalam proses pengembangan PLTS dengan hasil dari penjualan energi yang didapat dari kapasitas produksi yang dihasilkan, dapat menjadi penilaian kelayakan sebuah proyek renewable energy dapat direalisasikan ataupun diproyeksikan nilai balik modalnya.



Gambar 4.63 Skenario Model Perhitungan Payback Period (PP) Investasi PLTS

Rumus yang digunakan dalam menghitung Payback Period adalah sebagai berikut:

$$Payback\ Period\ (PP) = \frac{Investasi\ Kas\ Bersih}{Pendapatan\ Kas\ Bersih} \times 1\ tahun \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Pertimbangan analisis secara ekonomis digunakan dalam perhitungan secara finansial dari sebuah investasi pengembangan PLTS untuk mengetahui kelayakan secara aspek ekonomi. Beberapa asumsi digunakan untuk dapat menghitung sebuah kelayakan ekonomis, dijelaskan pada Tabel 4.38 dengan scenario yang digunakan pada Tabel 4.39 :

Tabel 4.38 Asumsi kelayakan tekno-ekonomi

1	Biaya investasi 16 Wp PLTS	Rp. 500.000.000,-
2	Investasi Panel Surya PV	75% dari Total Investasi
3	Investasi Komponen	25% dari Total Investasi

Tabel 4.39 Skenario Model Perhitungan Payback Period

No.	SKENARIO	KETERANGAN
1	Optimis	<ul style="list-style-type: none"> Investasi tidak memperhitungkan suku bunga bank Tarif dasar listrik PLTS Rp. 735 per kWh sesuai catatan Bagian Sarana dan Prasarana
2	Most Likely	<ul style="list-style-type: none"> Investasi tidak memperhitungkan suku bunga bank Tarif dasar listrik PLTS Rp. 1467 per kWh sesuai Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018, tanpa adanya ketentuan ekspor harga ke PLN 65%
3	Pesimis	<ul style="list-style-type: none"> Investasi memperhitungkan suku bunga bank 7% per tahun (<i>flat</i>) Ada kenaikan tariff dasar listrik setelah 15 tahun

4.5.1.2 Perhitungan Susut Investasi Teknologi PLTS

Perhitungan nilai penyusutan biasanya dikaitkan dengan umur ekonomi dari komponen-komponen yang digunakan dalam membangun sebuah teknologi PLTS dan investasinya.

Umur ekonomis system PLTS terbagi dalam 2 hal, yaitu: panel surya maksimal 25 tahun, dan komponen peralatannya selama 5 tahun. Sehingga untuk *lifetime* tersebut kemungkinan adanya kerusakan dan penggantian komponen akan terjadi untuk menjaga pasokan energi listrik yang di produksi oleh sebuah PLTS. Perkiraan biaya yang terjadi dapat diperinci pada perhitungan di bawah ini:

Tabel 4.40 Skenario Perhitungan Susut Investasi

Investasi Awal 16 Wp PLTS		Rp. 500.000.000,-	...(1)
Investasi Komponen	25%xRp. 500.000.000,-	Rp.125.000.000,-	
Penyusutan Umur Ekonomis per tahun	Rp. 125.000.000,- : 5= Rp. 25.000.000,-/tahun	Rp. 25.000.000,-	
Biaya Operasional per bulan	Rp. 25.000.000,- : 12	Rp. 2.083.333,-	

Dari perhitungan diatas, maka dapat diketahui biaya operasional untuk pergantian komponen, berupa: baterai; inverter dan komponen lainnya dapat diperkirakan sebesar **Rp. 2.083.333,-** tiap bulannya.

4.5.1.3 Perhitungan Nilai Payback Period Investasi PLTS

Dengan mempertimbangkan nilai investasi awal PLTS On-grid 16 Wp sebesar Rp. 500.000.000,- dengan umur ekonomis 25 tahun, dan suku Bunga bank diperkirakan 7% per tahun, maka dapat dilakukan perhitungan nilai pendapatan dari penjualan energi listrik yang dihasilkan dari PLTS, dimana jumlah pemasukan tahunan didapat dari penjualan harga energi listrik ke PLN selama tahun berjalan. Dengan asumsi harga energi listrik adalah Rp. 735,- per kWh.

Rincian pemasukan dan hasil penjualan energi listrik PLTS dalam periode waktu setahun adalah sebagai berikut :

Tabel 4.41 Skenario Perhitungan Payback Period

Penjualan energi listrik	26.290,92 kw x Rp.735,- = Rp. 19.323.826,2,-	Rp. 19.323.825,-	...(2)
Biaya Bunga Bank (7% per tahun)	0,07 x 25 tahun x Rp. 500.000.000,-	Rp. 875.000.000,-	...(3)
Total Investasi	Rp. 500.000.000,- + Rp. 875.000.000,-	Rp.1.375.000.000,-	...(4)

Maka dengan menggunakan rumus 2.1., maka dapat dihitung nilai Payback Period untuk masing-masing skenario seperti dibawah ini :

(1). ***Skenario Optimis,***

Dengan investasi sebesar **Rp 500.000.000,00,-**
Pemasukan penjualan EBT per tahun **Rp 19.323.826,2,-**
Maka lamanya pengembalian modal yang dibutuhkan adalah **25,87 tahun.**

(2). ***Skenario Most Likely,***

Dengan investasi sebesar **Rp 500.000.000,00,-**
Pemasukan penjualan EBT per tahun **Rp 38.568.779,64,-**
Maka lamanya pengembalian modal yang dibutuhkan adalah **12,96 tahun.**

(3). ***Skenario Pesimis,***

Dengan investasi sebesar **Rp 535.000.000,00,-**
Pemasukan penjualan EBT per tahun **Rp 19.323.826,2,-**
Maka lamanya pengembalian modal yang dibutuhkan adalah **27,69 tahun.**

BAB 5

KESIMPULAN dan SARAN

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

5.1 KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan metode Sistem Dinamis dengan program aplikasi **Ventana Simulation** (Vensim) digunakan untuk membantu analisa pengolahan data dalam mengembangkan model yang dapat mewakili sistem nyata operasional listrik dan emisi yang mampu dihasilkan oleh ITS Surabaya dalam operasional manajemennya.

Dengan kerangka *konsep sustainable energy* dan *sustainable university*, akan lebih mudah dalam melakukan identifikasi dengan menyesuaikan karakteristik dan potensi dari setiap kampus maupun organisasi. Indikator yang dapat diidentifikasi dalam study kelayakan dan proyek pengembangan PLTS skala kampus sebagai strategi diversifikasi energi listrik ini memperhatikan 3 faktor utama keberlanjutan sebagai kunci strategi kebijakan, yaitu : *ekonomi; lingkungan dan social*. Sehingga akan lebih mudah untuk mencari solusi yang tepat sasaran dari permasalahan yang bersifat teknis dan non teknis yang ditemukan dalam penelitian.

Untuk rasio pemenuhan sebagai strategi diversifikasi energi, maka PLTS skala kampus yang terletak di Gedung Research Center ITS Surabaya, dengan rata-rata total kebutuhan listrik ITS Surabaya sebesar 9.572.968,57 kWh/tahun dan kapasitas produksi PLTS yang telah oprasional selama satu tahun ini sebesar 26.290,92 kWh/tahun, maka hanya mampu mensubsidi energi listrik kurang lebih 0.3% per tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan dan skenario yang di uji coba, maka dapat disimpulkan, bahwa dalam melakukan rencana pembangunan dan pengembangan sistem PLTS skala kampus ini diperlukan kebijakan dan pertimbangan matang. Sehingga untuk skala kampus seperti ITS Surabaya, dengan pemakaian listrik per tahun rata-rata adalah 9.572.968,57 kwh/tahun maka pilihan PLTS akan lebih tepat jika disesuaikan dengan investasi dana yang dialokasikan menyesuaikan kebutuhan di tiap gedung, dengan pertimbangan segi ekonomis.

Dengan memperhitungkan beberapa hal, antara lain: suku bunga bank; kebijakan tarif energi dan harga jual listrik EBT per kWh dari pemerintah, maka investasi awal ITS Surabaya untuk membangun PLTS ini belum dapat mengembalikan modal investasi kampus hingga tahun 2030. Namun jika kebijakan pemerintah mengenai harga energi solar ini tidak dinilai 65% dari harga normal energi listrik yang diberlakukan oleh PLN yaitu sebesar Rp. 1.467,- per kWh, maka harga listrik PLTS yang dibangun ITS Surabaya ini, mampu mengembalikan modal kurang dari 15 tahun.

5.2 SARAN

Membangun sebuah sumber pembangkit listrik baru harus berdasarkan perencanaan yang baik karena investasi di industri kelistrikan dituntut manfaatnya untuk jangka panjang. Hal ini seharusnya menjadi pertimbangan utama pihak kampus dalam merencanakan pengembangan sebuah proyek ketenagalistrikan guna mendukung green energy campus.

Untuk strategi kebijakan organisasi dalam pengembangan kampus yang berkelanjutan, khususnya dalam pertimbangan pembangunan dan pengembangan EBT sebagai langkah diversifikasi energi, maka organisasi perlu mempertimbangkan 3 pilar sustainable, yaitu secara ekonomi, sosial dan lingkungan. Dengan mempertimbangkan besarnya nilai investasi dan kebijakan pemerintah, serta dampak lainnya, maka tujuan sustainable university dapat dicapai.

Pada dasarnya permasalahan teknis, ekonomis dan infrastruktur yang menjadi kendala dalam sistem operasional listrik yang ada di bangunan komersial

dan perkantoran adalah lokasi untuk skala kampus ; arah atap gedung atau arah hadap panel; luas lahan yang tersedia dan bisa digunakan; kebutuhan daya tiap gedung; system solar panel daya yang dibutuhkan; investasi yang dimiliki. Sehingga fungsi diversifikasi energi yang diterapkan dapat menghemat atau mendukung daya listrik PLN secara optimal, baik dalam mengurangi kebutuhan listrik konvensional maupun secara mandiri dapat mensupport kebutuhan listrik internal kampus.

DAFTAR PUSTAKA

- Sekretariat SDGs Indonesia-Bappenas. *Apa itu SDGs ?* 2019. <http://sdgs.bappenas.go.id/> (accessed April 2019).
- AccountAbility AA1000. *Stakeholder Engagement Standard 2011: Final Exposure Draft*. London: AccountAbility, 2011.
- AccountAbility and United Nations Environment Programme Stakeholder Research Approach . *The Stakeholder Engagement Manual. Volume 1: The Guide to Practitioners' Perspective on Stakeholder Engagement*. Cobourg: Ontario: Stakeholder Research Associates Canada Inc, 2005a.
- Aditya, Addin. "Tesis." In *Model Driven Decision Support Systems (MD-DSS) Untuk Strategi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Yang Ramah Lingkungan Dalam Rangka Menjamin Keberlanjutan Supply dan Demand Energi Listrik di Keulauan (Case Study: Pulau Madura)*. ITS Surabaya, 2016.
- Akbar, L. "Tugas Akhir." In *Estimasi Potensi dan Biaya Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Skala Residensial Berbasis Lokasi dan Konstruksi Bangunan*. Surabaya: ITS Surabaya, 2018.
- Alhamri, Rinanza Zulmy. *Kajian Potensi Energi Panas Bumi Sebagai Alternatif Pembangkit Energi Listrik Terbarukan: Sebuah Framework Sistem Dinamik*. Surabaya: ITS Surabaya, 2015.
- "American Inventor Uses Egypt's Sun for Power; Appliance Concentrates the Heat Rays and Produces Steam, Which Can Be Used to Drive Irrigation Pumps in Hot Climates." n.d.
- Aslani, Alireza, Petri Helo, and Marja Naaranoja. "Role of Renewable Energy Policies in Energy Dependenci y in Finland: System Dynamics Approach." *Applied Energy*, 2014: 758-765.
- Axella, O, and E Suryani. "Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus: Jawa Timur)." *Jurnal Teknik ITS Vol 1*, 2012.
- Axella, O, and E Suryani. "Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri." *Jurnal Teknik ITS Vol 1*, 2012.
- Badan Pusat Statistik. "Penjelasan Teknis." In *Statistik Captive Power 2016*, by S.ST Intan Nafisah, & S.ST Nesti Dwiningrum, 16. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2016.

- Bloomberg Businessweek. *IES Says Solar May Provide a Third of Global Energy by 2060*. December 1, 2011.
- Ca' Foscari University of Venice (2011a). *Ca' Foscari: primi in Italia ad approvare il nuovo decreto [Ca' Foscari: first in Italy to approve the new law]*. March 2013. www.unive.it/nqcontent.cfm?a_id=87535.
- Ca' Foscari University of Venice. *Sustainability step by step*. 2013c. www.unive.it/nqcontent.cfm?a_id=134324 (accessed March 2013).
- Teaching & Research*. 2013e. www.unive.it/nqcontent.cfm?a_id=132909 (accessed April 2013).
- CRUI Foundation. *CAF Università. Il modello europeo di autovalutazione delle performance per le università [The European self-assessment model for university performance]*. 2012. www.fondazionecrui.it/pubblicazioni/Documents/CAF/caf_uni_2012.pdf (accessed Januari 2013).
- CAF Università. Migliorare un'organizzazione universitaria attraverso l'autovalutazione*. 2010. www.fondazionecrui.it/pubblicazioni/Documents/CAF_Universit%C3%A0.pdf (accessed 2013).
- databoks.co.id. *2050, Bauran Energi Terbarukan Ditargetkan Mencapai 31%*. Februari 19, 2019. <https://databoks.katadata.co.id/> (accessed Mei 2019).
- Dharmawan, Khataman Insan Putra. "Tugas Akhir." In *Studi Kelayakan Pemasangan Photovoltaic pada Gedung di Institut Teknologi Sepuluh Nopember berdasarkan data Clear Sky Irradiance*. Surabaya: ITS Surabaya, 2019.
- Energy.gov. *Office of Energy Efficiency & Renewable*. n.d. <https://energy.gov/> (accessed 2019).
- energytoday.com. *Distribusi PLN Terkendala Penyebaran Pemukiman dan Kondisi Geografi*. April 25, 2014. (accessed March 10, 2015).
- GreenMetric, UI. "UI GreenMetric Guideline 2018." In *"Universities, Impacts, and Sustainable Development Goals (SDGs), by* <http://www.greenmetric.ui.ac.id/>, 5. Jakarta, Indonesia: Universitas Indonesia, 2018.
- GRI Empowering Sustainable Decisions. *GRI STANDARDS*. 2019. <https://www.globalreporting.org/>.
- GRI. "Reporting Initiative." *Sustainability reporting guidelines G3.1*. 2011. <https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/G3.1-Guidelines-Incl-Technical-Protocol.pdf> (accessed April 2013).

- https://id.wikipedia.org/wiki/Efisiensi_energi. n.d.
https://id.wikipedia.org/wiki/Efisiensi_energi.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_surya#cite_note-77. n.d. (accessed April 2019).
- Indrawati, Sri Mulyani. *Energi dan Pembangunan Berkelanjutan: Berikutnya Apa?* Juni 10, 2015. <http://www.worldbank.org> (accessed 2019).
- International Energy Agency. "Solar Energy Perspectives: Executive Summary." Executive Summary, 2011.
- International Sustainable Campus Network. *ISCN*. 2013. www.international-sustainable-campus-network.org (accessed April 2013).
- ITS Smart Eco Campus*. n.d. https://www.its.ac.id/id/inisiatif/its-kampus-smart-eco_trashed/smart-eco-campus-selaras-teknologi-dan-alam/ (accessed april 16, 2018).
- itsmis. *Wujudkan ITS Smart Eco Campus Lewat Pengurangan Emisi Karbon*. Oktober 12, 2018. <https://www.its.ac.id/news/2018/10/12/wujudkan-its-smart-eco-campus-lewat-pengurangan-emisi-karbon/> (accessed Pebruari 27, 2019).
- Jusron, Dadang, and Slamet Rona Ircham. "Fasilitas Fiskal untuk Mendukung Percepatan Pembangunan Infrastruktur." *Buletin Info Risiko Fiskal Edisi IV*, 2012.
- Kementerian ESDM. "Ringkasa Eksekutif." In *Prakiraan Penyediaan dan Pemanfaatan Energi Skenario Optimalisasi EBT Daerah*, v. Jakarta: Pusat Data dan Informasi ESDM Indonesia, 2016.
- Kurniawan, Rudy Chandra. "Tugas Akhir." In *Rancang Bangun Vertical Axis Wind Turbin dan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Penerangan Lampu Jalan*. ITS Surabaya, 2015.
- Masters, G. M. In *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, 676. n.d.
- Matsumoto, Mitsutaka, Kejiro Masui, and Shinichi Fukushige. *Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design*. Edited by Shinsuke Kondoh. Japan: Springer Nature, 2017.
- Mio, Chiara. In *Towards a Sustainable University: The Ca' Foscari Experience*. Italy: PALGRAVE MACMILLAN, 2013.
- Nugroho, Nanda Puji. "Tugas Akhir." In *Analisis Ketersediaan Energi Biogas Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif Menggunakan Metode Sistem Dinamik (Studi Kasus: Provinsi Jawa Timur)*. ITS Surabaya, 2017.

- "PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL."
Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. n.d.
<http://jdih.esdm.go.id/view/download.php?page=peraturan&id=1561>.
- Pertambangan, Direktorat Sumber Daya Energi Mineral dan. *Kajian Pengembangan LEAP Dalam Mendukung Perencanaan Energi.* Jakarta: Kementerian PPN-Bappenas, 2014.
- Popular Science. "*Magic Plates, Tap Sun For Power*", 1931.
- "Energ Berkelanjutan Untuk Transportasi Darat." In *Outlook Energi Indonesia 2018*, by PPIPE, & BPPT, 3-4. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi; Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018.
- Quentara, Lilia Trisyathia. "Tesis." In *Model Driven-Decision Support Systems (MD-DSS) untuk Strategi Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Alternatif Energi untuk Kebutuhan Listrik*, 9. ITS Surabaya, 2016.
- Raharjo, N. B., interview by Nanda Puji Nugroho. *Pembangkit Listrik Tenaga Biogas* (April 5, 2017).
- Reporting Initiative, GRI (2011), Sustainability reporting guidelines G3.1.* 2011.
<https://www.globalreporting.org/>.
- Richardson, George P. "System Dynamics." *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 2013: 1519-1522.
- Richardson, George P. "System Dynamics." Edited by Saul I. Gass, & Michael C. Fu. *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 2013: 1519-1522.
- "S. Nag; S. Kundu; D. Sinha." In *A comparative-techno economic feasibility study between roof-top and building integrated photovoltaic technology for development of green campus.* IEEE 7th UEMCON 2016, 2016.
- Saptadji, Neny. *Sekilas tentang Panas Bumi.* Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2013.
- Setiawan, Sigit. "Energi Panas Bumi dalam Kerangka MP3EI: Analisis terhadap Prospek, Kendala, dan Dukungan Kebijakan." *Ekonomi dan Pembangunan*, 2012.
- Solar Fuels and Artificial Photosynthesis.* Royal Society of Chemistry . 2012 .
<http://www.rsc.org/ScienceAndTechnology/Policy/Documents/solar-fuels.asp> (accessed 2019).

- Solar Surya Indonesia . *Sistem Off Grid, On Grid PLTS*. November 21, 2012. <http://solarsuryaindonesia.com/info/sistem-off-grid-on-grid-tie> (accessed 2019).
- Sopacua, Juliaty , and Tomi Soetjipto. *Indonesian universities and research centers set up a national platform on SDGS*. January 20, 2019. <https://www.id.undp.org/> (accessed April 2019).
- Stakeholder Forum and CIVICUS, with the financial support of the European Union. *The Brundtland Report 'Our Common Future'*. 2015. <https://www.sustainabledevelopment2015.org/AdvocacyToolkit/index.php/earth-summit-history/historical-documents/92-our-common-future> (accessed 2019).
- Sumule, Mauren Natali. "Tesis." In *Pengembangan Model dan Skenario Untuk Konservasi Energi Listrik Dengan Menggunakan Sistem Dinamik (Studi Kasus: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya)*. ITS Surabaya, 2018.
- Sumule, Mauren Natali. "Tesis." In *Pengembangan Model Dan Skenario Untuk Konservasi Energi Listrik Dengan Menggunakan Sistem Dinamik (Studi Kasus: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya)*. ITS Surabaya, 2018.
- Tietenberg, T, and L Lewis. "Environmental and Natural Resource Economics." New Jersey, USA: Pearson Education, 2011.
- UI Green Matric . *Guidelines*. 2018. (accessed 2019).
- UI Greenmetric; Integrated Laboratory and Research Center. "Petunjuk UI GreenMetric World University Ranking 2018." In *Universities, Impacts and Sustainable Development Goals (SDGs)*, 3. Jakarta: Universitas Indonesia, 2018.
- Ullah, Hasan Qudrat. "Understanding the Dynamics of Electricity Generation Capacity in Canada A System Dynamics Approach." *Energy*, 2013: 285-294.
- UN Documents. *Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development*. n.d. <http://www.un-documents.net/> (accessed 2019).
- United Nations Development Programme. *Sustainable Development Goals*. 2019. <https://www.id.undp.org/> (accessed April 2019).
- SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS*. 2019. <https://www.id.undp.org/> (accessed 2019).
- Universitas Indonesia, UI, Green Metric. *UII GreenMetric World University Ranking*. 2013. <http://greenmetric.ui.ac.id> (accessed 2013).

- Vaudreuil, Guerin, Arnold, and Timms. *System Dynamics Computer Simulation Modeling to Forecast the Energy Demands for the Montachest Region Under a Variety of Siumulations and Scenarios*. 2011.
- Wikipedia. *Sumber energi*. Desember 5, 2018. <https://id.wikipedia.org/> (accessed 2019).
- "Will we exceed 50% efficiency in photovoltaics." n.d.
- www.esdm.go.id. n.d.
- www.its.ac.id. *ITS Smart Eco Campus: Selaras Teknologi dan Alam*. n.d. https://www.its.ac.id/id/inisiatif/its-kampus-smart-eco__trashed/smart-eco-campus-selaras-teknologi-dan-alam/ (accessed Pebruari 23, 2019).
- Yudiartono, Anindhita, Agus Sugiyono, Laode M.A. Wahid, and Adiarso. *Outlook Energi Indonesia 2018*. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi; Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018.
- Yuslinda, Nabilla. "Tesis." In *Kajian CO2 Berdasarkan Emisi dari Transportasi dan Penyerapan RTH Eksisting dan Masterplan ITS 2015 dengan Menggunakan Box Model*. ITS Surabaya, 2018.
- Zubaidah N., and Angelina D. *Menciptakan Konsep Green Campus yang Efektif*. Maret 23, 2015. (accessed Nopember 2018).