



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

Studi Kelayakan Pemasangan *Photovoltaic* pada Gedung di Institut Teknologi Sepuluh Nopember berdasarkan data *Clear Sky Irradiance*.

Khataman Insan Putra Dharmawan
NRP 0711154000062

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

Studi Kelayakan Pemasangan *Photovoltaic* pada Gedung di Institut Teknologi Sepuluh Nopember berdasarkan data *Clear Sky Irradiance*.

Khataman Insan Putra Dharmawan
NRP 0711154000062

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**Feasibility Study of Photovoltaic Installation in
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Building based on Clear Sky Irradiance**

Khataman Insan Putra Dharmawan
NRP 0711154000062

Supervisors

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

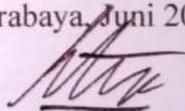
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“STUDI KELAYAKAN PEMASANGAN PHOTOVOLTAIC PADA GEDUNG DI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER BERDASARKAN DATA CLEAR SKY IRRADIANCE”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019



Khataman Insan Putra Dharmawan

07111540000062

**STUDI KELAYAKAN PEMASANGAN
PHOTOVOLTAIC PADA GEDUNG DI INSTITUT
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
BERDASARKAN DATA *CLEAR SKY IRRADIANCE*.**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

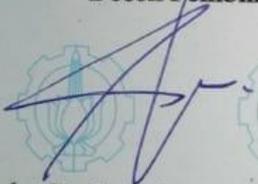
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. 
NIP. 19731119 2000031 001 NIP. 19651012 199003 1 003



Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI KELAYAKAN PEMASANGAN *PHOTOVOLTAIC* PADA GEDUNG DI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER BERDASARKAN DATA *CLEAR SKY IRRADIANCE*

Nama mahasiswa : Khataman Insan Putra Dharmawan
Dosen Pembimbing I : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.

Abstrak:

Potensi energi terbarukan dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi-teknologi yang dapat mengoptimalkan pemasangan pembangkit energi terbarukan, khususnya *Photovoltaic* sebagai sumber energi terbarukan tenaga surya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember merupakan kampus institut yang telah berdiri sejak tahun 1960. Seiring dengan perkembangan institut, maka bangunan-bangunan di lingkungan ITS semakin bertambah dari tahun ke tahun. Lokasi kampus ITS yang terletak pada kota Surabaya yang memiliki tingkat kecerahan matahari yang tinggi membuat kampus ITS sangat berpotensi untuk dapat menggunakan *Photovoltaic* sebagai sumber tenaga listrik mandiri dan dalam rangka mewujudkan ITS *Green Campus*. Namun sebelum adanya pemasangan *Photovoltaic* pada bangunan-bangunan di area kampus ITS, dibutuhkan penelitian lebih lanjut terhadap investasi yang dapat dihasilkan terhadap rencana tersebut. Studi kelayakan ini akan membahas tentang analisis potensi dari pemasangan sistem PLTS *rooftop* pada bangunan-bangunan di kampus ITS dengan melihat tingkat iradiansi matahari pada kampus ITS sepanjang tahun yang disesuaikan dengan keadaan luasan atap dan arah hadap bangunan di kampus ITS. Setelah menentukan kelayakan bangunan-bangunan di kampus ITS, studi ini akan membahas lebih lanjut terhadap biaya investasi pemasangan sistem, beserta analisis keluaran daya yang dapat dihasilkan, harga jual listrik serta menganalisis dari aspek ekonomi terhadap pemasangan sistem PLTS *rooftop* di bangunan kampus ITS.

Key Word: ITS, PLTS, *rooftop*, studi kelayakan, tenaga surya

Halaman ini sengaja dikosongkan

Feasibility Study of Photovoltaic Installation in Sepuluh Nopember Institute of Technology Building based on Clear Sky Irradiance

Student Name : Khataman Insan Putra Dharmawan
Supervisor I : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Supervisor II : : Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng.

Abstract:

The potential of renewable energy is increasing year by year along with the development of technologies that can optimize the installation of renewable energy plants, especially Photovoltaic as the source of solar energy. Sepuluh Nopember Institute of Technology is an institute that has been established since 1960. Along with its development, the buildings in the campus area are increasing from year to year. ITS campus also located in the city of Surabaya which has a high level of sunshine which makes its very potential to enable Photovoltaic as a source of independent electricity and in order to achieve the ITS Green Campus. However, before the installation of Photovoltaic on ITS campus buildings, further research is needed on the investment that could be schemed on the plan. This study will discuss the potential analysis of the rooftop Photovoltaic system on ITS campus buildings by calculating the solar irradiance throughout the year which is adjusted to the roof area and buildings direction at the ITS campus. After determining the potential, this study will further discuss the investment costs of system installation, along with the analysis of power output that can be generated, electricity selling prices and the economic aspects of installing rooftop Photovoltaic systems on ITS campus buildings.

Key Words: feasibility study, ITS, Photovoltaic, rooftop, solar power

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“JUDUL TUGAS AKHIR”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu Nanik Rachmaniyah dan Bapak Vippy Dharmawan, selaku orang tua penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
3. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. dan Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Andi Mapajaya selaku Kepala SIMRI Sarana Prasarana ITS yang telah berkenan membantu penulis dalam pengumpulan data selama pelaksanaan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
6. Teman-teman seperjuangan e55 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	v
TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi.....	5
BAB 2 POTENSI ENERGI DARI SISTEM PLTS <i>ROOF-TOP</i>	7
2.1 Kajian Penelitian Terkait	7
2.1.1 Estimasi Energi pada sistem PLTS <i>roof-top</i>	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 PLTS TERHUBUNG GRID	8
2.2.2 <i>Rooftop</i> Panel Surya.....	8
2.2.2 Komponen Instalasi PLTS <i>grid connected</i>	9
2.2.3 Balance of System PLTS rooftop	9
2.2.4 Posisi Matahari	11
2.3 Sudut Panel Surya.....	14
2.3.1 <i>Hour angle</i>	15
2.3.2 <i>Solar time</i> dan <i>Civil time</i>	16
2.2.4 Iradiansi Panel Surya	17
2.2.5 Biaya Instalasi.....	20

2.2.6 Energi keluaran dari PV <i>array</i>	20
2.2.9 Ekonomi Energi.....	21
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Posisi matahari selama setahun terhadap lokasi kampus ITS	31
4.2 Estimasi Iradiansi Matahari sistem PLTS <i>rooftop</i>	34
4.3 Keluaran daya sistem PLTS <i>rooftop kampus</i> ITS.....	36
4.4 Pendapatan per tahun sistem PLTS <i>rooftop</i> kampus ITS.....	41
4.5 Skema ekonomi pemasangan PLTS <i>rooftop</i> kampus ITS.....	42
4.6 <i>Payback analysis</i> pemasangan PLTS <i>rooftop</i> kampus ITS...	44
BAB 5 KESIMPULAN	47
4.7 Kesimpulan.....	47
4.8 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	51
BIODATA PENULIS.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Pembangkit Listrik Tenaga Surya</i>	8
Gambar 2.2	<i>Rooftop Panel Surya</i>	9
Gambar 2.3	<i>Perbandingan BoS sistem PLTS</i>	11
Gambar 2.4	<i>Sudut Latitude pengamat di sebelah utara</i>	12
Gambar 2.5	<i>Sudut Azimut matahari</i>	12
Gambar 2.6	<i>Sudut Deklinasi</i>	13
Gambar 2.7	<i>Hour Angle</i>	13
Gambar 2.8	<i>Sudut kolektor</i>	14
Gambar 2.9	<i>Sudut Azimut Kolektor</i>	15
Gambar 2.10	<i>Hour angle (ω), sudut antara meridian</i>	15
Gambar 2.11	<i>Equation of Time berubah ubah selama satu tahun</i>	17
Gambar 2.12	<i>Iradiansi Langsung</i>	18
Gambar 2.13	<i>Iradiansi Tersebar</i>	19
Gambar 2.14	<i>Iradiansi Pantulan</i>	20
Gambar 3.1	<i>Diagram alir penelitian</i>	23
Gambar 3.2	<i>Tampilan 3D sun Path</i>	24
Gambar 3.3	<i>Data bangunan kampus ITS</i>	25
Gambar 4.1	<i>Sudut deklinasi selama setahun</i>	31
Gambar 4.2	<i>Sudut Altitude 1 Januari</i>	32
Gambar 4.3	<i>Sudut Altitude dan Azimuth selama setahun</i>	33
Gambar 4.4	<i>Grafik iradiansi horizontal selama setahun</i>	37
Gambar 4.5	<i>Iradiansi Kolektor gedung B arah hadap utara</i>	37
Gambar 4.6	<i>Output PV gedung B T. Elektro ITS arah hadap utara</i>	38
Gambar 4.7	<i>Output PV x Area gedung B T. arah hadap utara</i>	39
Gambar 4.8	<i>Iradiansi Kolektor Gedung B arah hadap selatan</i>	40
Gambar 4.9	<i>Output PV Gedung B arah hadap selatan</i>	40
Gambar 4.10	<i>Output PV x Area Gedung B arah hadap selatan</i>	41

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Local Time Meredian Indonesia</i>	16
Tabel 3.1 <i>Data gedung B dan J kampus ITS</i>	26
Tabel 3.2 <i>Spesifikasi PV</i>	28
Tabel 3.3 <i>Baseline assumptions biaya pemasangan PLTS</i>	29
Tabel 3.4 <i>Biaya listrik ITS</i>	29
Tabel 3.5 <i>Kenaikan tarif listrik PLN</i>	30
Tabel 4.1 <i>Perbandingan hasil simulasi excel dengan 3D Sun Path</i>	34
Tabel 4.2 <i>Skema Investasi</i>	44
Tabel 4.3 <i>Payback analysis gedung B T. Elektro ITS</i>	45
Tabel 4.4 <i>Payback analysis gedung B T. Elektro ITS lanjutan</i>	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini penelitian dan penggunaan sel surya marak digalakkan. Panel surya menjadi pusat perhatian dikarenakan dipercaya panel surya merupakan sumber energi yang bersih dan melimpah. Dengan mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik, sel surya merupakan sumber energi terbarukan dan rendah emisi. Sel surya dapat mengurangi emisi gas buang kendaraan konvensional sebesar 92% [1]. Berdasarkan letak geografis yang strategis, hampir seluruh daerah di Indonesia berpotensi untuk dikembangkan PLTS dengan daya rata-rata mencapai 4kWh/m². Kawasan barat Indonesia memiliki distribusi penyinaran sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan 10% sementara kawasan timur Indonesia berpotensi penyinaran sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Hal ini perlu dimanfaatkan dengan baik dengan percepatan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya di berbagai daerah yang berpotensi di seluruh kawasan Indonesia [2].

Dengan adanya revisi Permen ESDM 17 Tahun 2013 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, menambah daya tarik investor serta badan usaha untuk semakin meningkatkan pengembangan energi terbarukan, khususnya energi surya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember dalam rangka mewujudkan World Class University dan mencapai tujuan Smart-Eco Campus menjadi salah satu instansi yang sangat berpotensi dalam investasi teknologi Photovoltaic, dimana Institut Teknologi Sepuluh Nopember memiliki luas bangunan dengan skala yang cukup besar. Rencana pemasangan Photovoltaic pada bangun kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember ini juga dapat menjadi investasi yang sangat berpotensi dalam beberapa tahun ke depan. Namun sebelum adanya pemasangan Photovoltaic pada bangunan-bangunan di area kampus ITS, dibutuhkan penelitian lebih lanjut terhadap investasi yang dapat dihasilkan rencana tersebut.

Oleh karena itulah dibutuhkan penelitian lebih lanjut terkait pemasangan photovoltaic pada bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang meliputi analisis terhadap potensi tenaga surya melalui iradiansi matahari pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

biaya insvestasi pemasangan photovoltaic beserta penentuan ROI (Return of Investment) terhadap rencana pemasangan photovoltaic pada bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

1.2 Permasalahan

Nilai iradiansi matahari bervariasi dari waktu ke waktu dikarenakan berbagai faktor posisi matahari yang selalu bergeser hingga indeks kecerahan cuaca, sehingga daya yang dihasilkan oleh *photoltaic* juga dapat berubah dari waktu ke waktu. Selain itu perlu adanya penyesuaian terhadap kondisi *real* bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk dapat dilakukan pemasangan *photovoltaic*. Terlebih lagi, perlu adanya analisis terhadap biaya investasi pemasangan *photovoltaic*, beserta keuntungan yang didapat melalui investasi tersebut agar dapat mengetahui *Return of Investment* (ROI) terhadap rencana tersebut.

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis potensi daya yang dapat dihasilkan oleh tenaga surya di bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember berdasarkan pemodelan iradiansi matahari.
2. Menentukan standar instalasi on-grid dari pemasangan photovoltaic pada bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Mengetahui biaya investasi beserta keuntungan yang didapat dari rencana pemasangan photovoltaic pada bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Mendapatkan nilai *Simple Payback Period*, *Net Present Value* (NPV), beserta *Return of Investment* (ROI) dari rencana pemasangan photovoltaic pada bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemasangan PV di sistem PLTS *roof-top* penelitian kali ini mengikuti sudut kemiringan atap dari gedung terkait.

2. Analisa *shading* dari pohon ataupun objek lain pada penelitian ini belum dijadikan bahan pertimbangan.
3. Keluaran daya pada penelitian kali ini berupa estimasi potensi secara keseluruhan pada gedung kampus ITS.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
Studi literatur yang dilakukan yaitu mengenai penghitungan posisi matahari dan iradiansi matahari dalam analisis potensi tenaga surya, serta spesifikasi dari instalasi *on-grid* sistem pembangkit *photovoltaic*. Prinsip penentuan *Simple Payback Period*, *Net Present Value* (NPV), beserta *Return of Investment* (ROI) juga perlu untuk dipelajari lebih lanjut.
2. Pengumpulan data
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data berdasarkan kebutuhan dari penelitian yang akan dilakukan. Data yang akan dikumpulkan meliputi potensi tenaga surya dari penghitungan posisi serta iradiansi matahari dalam waktu setahun, denah beserta model pada bangunan-bangunan yang terdapat di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, serta rancangan biaya yang dibutuhkan dalam instalasi *photovoltaic* pada bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Pengolahan data
Pada tahap ini akan dilakukan penghitungan potensi daya dari sistem kelistrikan PV berdasarkan data yang telah didapat, selain itu juga akan menentukan berapa besar luasan atap dari bangunan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang memiliki potensi untuk dapat dilakukan pemasangan *photovoltaic*. Selain itu pada tahap ini juga akan menentukan spesifikasi *photovoltaic* sistem PLTS rooftop pada bangunan kampus Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Analisis dan interpretasi data
Setelah pengolahan data telah selesai dilakukan maka akan dilakukan analisis terhadap data data yang telah didapat. Akan dianalisis output daya dari instalasi *photovoltaic*, beserta luasan total bangunan kampus yang berpotensi dalam pemasangan *photovoltaic* untuk menentukan potensi dari energi tenaga surya pada bangunan kampus Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Setelah itu akan dilakukan analisis

investasi melalui biaya pemasangan dan perawatan sistem PLTS *rooftop* per tahun berdasarkan spesifikasi instalasi *on grid* yang telah ditentukan, dan mengetahui harga jual dari energi listrik yang dihasilkan untuk dapat *Simple Payback Period*, *Net Present Value* (NPV), beserta *Return of Investment* (ROI).

5. Kesimpulan

Pada akhir penelitian akan ditarik kesimpulan berupa saran dan juga rekomendasi berdasarkan analisis dan interpretasi data yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), *rooftop* panel surya, potensi daya panel surya, dan estimasi kebutuhan biaya instalasi beserta analisis dari aspek ekonomi untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.

Bab 3 : Metodologi Penelitian

Bab ini membahas mengenai metode beserta acuan awal terkait estimasi posisi matahari, output daya inverter, harga jual listrik, biaya pemasangan dan perawatan dari pemasangan sistem PLTS *rooftop*.

Bab 4 : Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas hasil perhitungan analisis serta simulasi posisi matahari terhadap kampus ITS, output daya inverter, beserta skema investasi dari aspek ekonomi yang akan dilakukan pada tugas akhir ini.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

- [1] Menjadi referensi yang dapat menunjang menunjang kelistrikan terutama yang berhubungan dengan bidang energi terbarukan.
- [2] Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik energi terbarukan.
- [3] Menjadi referensi dalam pembuatan rencana jangka panjang kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember khususnya dalam bidang pengembangan energi.

BAB 2

POTENSI ENERGI DARI SISTEM PLTS *ROOF-TOP*

2.1 Kajian Penelitian Terkait

2.1.1 Estimasi Energi pada sistem PLTS *roof-top*

Mengacu kepada referensi [3], percobaan perhitungan iradiansi pada sistem PLTS *roof-top* dilakukan pada sudut latitude -7.27° dan sudut longitude $112,7521^\circ$ dimana bertepatan letak geografis Kota Surabaya. Percobaan dilakukan pada sebuah bangunan rumah tangga yang berada di Jl. Keputih 1 no 43 Surabaya. Kemudian pada kedua sisi atap rumah ini diberikan panel surya dengan kemiringan atap kedua sisinya sebesar 30° .

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.**

2.1.2 Optimum Tilt Angle Fixed Collector untuk kota Surabaya

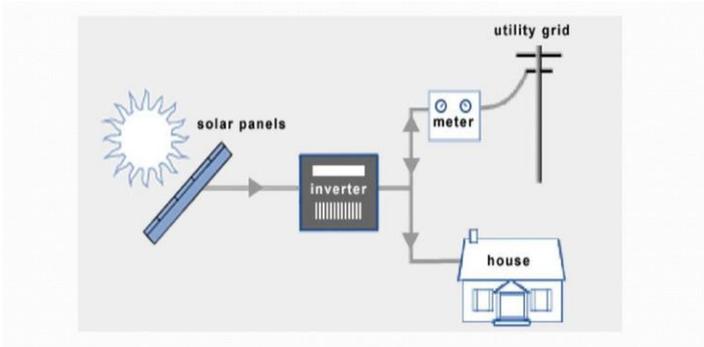
Mengacu kepada referensi [4], dilakukan percobaan untuk menentukan orientasi dan sudut kemiringan optimal dari kolektor yang dipasang di kota Surabaya, Indonesia dengan menentukan sudut datang matahari terhadap bidang. Sudut kemiringan optimal didapatkan untuk memaksimalkan iradiansi matahari yang diterima kolektor. Parameter yang dibutuhkan antara lain sudut *latitude*, jam, hari dan orientasi permukaan. Setelah itu akan diobservasi data iradiansi matahari menggunakan *pyranometer* selama setahun dengan orientasi serta sudut kemiringan yang berbeda-beda.

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan hasil untuk kolektor yang dipasang di Surabaya, Indonesia, sudut kemiringan optimal pada 12 Maret – 30 September bervariasi antara $0 - 40^\circ$ (menghadap utara) dan pada 1 Oktober – 11 Maret antara $0 - 30^\circ$ (menghadap selatan). Pilihan alternatif adalah dengan memasang dua kolektor menghadap timur untuk digunakan pada pagi hari dan menghadap barat untuk digunakan pada siang hari. **Sudut kemiringan optimal adalah $36 - 39,4^\circ$.**

2.2 Dasar Teori

2.2.1 PLTS TERHUBUNG GRID

Pembangkit listrik tenaga surya atau sering disingkat PLTS merupakan pembangkit yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik[6]. Energi yang dihasilkan dari panel surya kemudian dialirkan ke inverter untuk menjadikan listrik DC. Setelah itu langsung dihubungkan ke jaringan milik PT.PLN dengan di monitoring oleh exim meter.

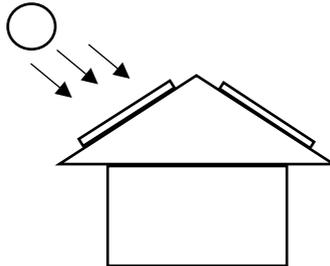


Gambar 2.1 *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*

2.2.2 Rooftop Panel Surya

Pada bangunan konvensional, atap berfungsi untuk penutup atas suatu bangunan. Masyarakat masih sedikit sekali yang memanfaatkan atap bangunannya untuk menghasilkan energi. Sistem rooftop fotovoltaik merupakan solusi alternatif sebagai penghasil energi tanpa emisi yang memanfaatkan energi sinar matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik. Fotovoltaik diletakkan diatas atap bangunan dengan sudut kemiringan tertentu agar menghasilkan potensi energi yang maksimal[7]. Selain berguna untuk menghasilkan energi listrik, hal ini juga berpotensi menjadi sumber keuntungan anda apabila energi yang

dihasilkan justru berlebih dari kebutuhan sehingga terbeli oleh pihak PT.PLN.



Gambar 2.2 *Rooftop Panel Surya*

Penggunaan panel surya pada atap rumah bisa menjadikan keuntungan tersendiri bagi pemilik rumah, selain di Indonesia memiliki intensitas pencahayaan matahari yang tinggi. Pemanfaatan PLTS pada atap rumah saat ini banyak menggunakan sistem *Grid Connected* yang salah satu karakteristiknya adalah sistem PLTS harus memiliki *kemampuan anti islanding* yaitu kemampuan otomatis sistem untuk terputus ketika sumber koneksi jaringan PT.PLN terputus.

2.2.3 *Komponen Instalasi PLTS grid connected*

Dalam pembuatan PLTS skala besar dibutuhkan peralatan pokok yang harus disediakan agar bisa menghasilkan sumber energi listrik yang layak pakai dan aman bagi pengguna maupun lingkungan sekitarnya serta semua spesifikasi peralatan yang dibutuhkan harus disesuaikan dengan kondisi penempatan PLTS[11]. Pada penelitian ini PLTS yang dibuat berbasis *grid connected* atau terhubung langsung dengan jala-jala jaringan milik PT.PLN tanpa disimpan oleh baterai.

2.2.4 *Balance of System PLTS rooftop*

Biaya modal awal dari sistem PLTS terdiri dari biaya *PV module* dan biaya *balance of system* (BoS). Biaya BoS meliputi benda di luar komponen PLTS seperti biaya struktural sistem (instalasi struktur, persiapan situs, dan peralatan tambahan lainnya), biaya sistem elektrik (inverter, transformer, *wiring*, dan instalasi elektrik lainnya) dan sistem catu daya apabila sistem yang dibuat adalah *off-grid*.

Biaya *balance of system* (Bos) meliputi sisa dari biaya modal awal untuk sistem PLTS. Secara garis besar biaya BoS bergantung kepada keadaan dari instalasi PLTS. Untuk skala utilitas, biaya BoS dapat menjadi sebesar 20% dari total (untuk PLTS *grid connected* sederhana) atau sebesar 70% dari total (untuk PLTS *off grid*), dengan 40% dari total menjadi standar untuk skala utilitas [(IEA PVPS, 2009)].

Panel Surya Modul

Panel surya modul adalah alat yang diperlukan pada PLTS sebagai media untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Hasil daya yang dikeluarkan merupakan listrik DC.

Inverter

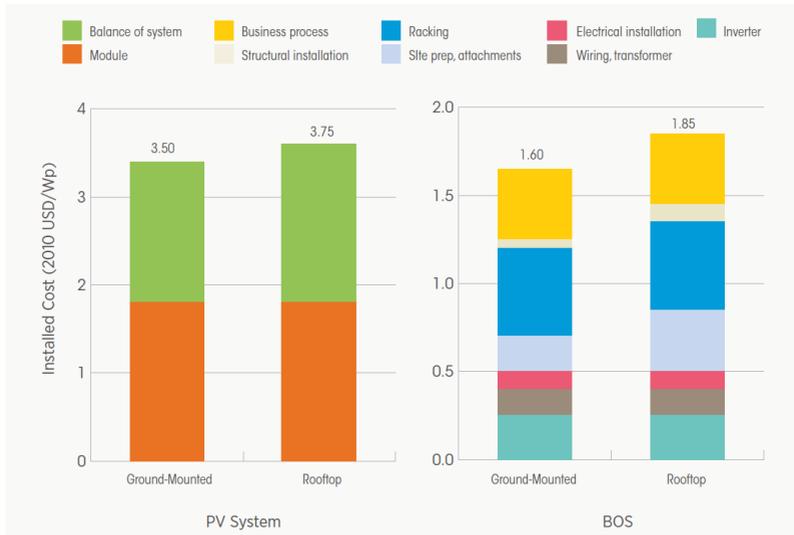
Inverter adalah peralatan elektronika daya yang berfungsi melakukan konversi atau mengubah tegangan DC yang dihasilkan panel surya modul menjadi listrik tegangan AC.

Mounting System

Mounting system pada atap rumah berfungsi sebagai penyangga panel surya. Biasanya terdiri dari bahan rangka aluminium yang bentuknya menyesuaikan atap bentuk rumah.

Selain itu, dalam instalasi PLTS dibutuhkan teknisi yang bertugas untuk memasang seluruh peralatan dalam pembuatan PLTS. Keberlangsungan teknisi ditunjang oleh kebutuhan operasional yang memadai. Maka dari itu aspek teknisi dan operasional perlu diperhitungkan[12].

Berikut merupakan perbandingan BoS pada sistem *mounted* terhadap *rooftop* PLTS:



Gambar 2.3 Perbandingan BoS sistem PLTS
(Sumber: Bony, 2010)

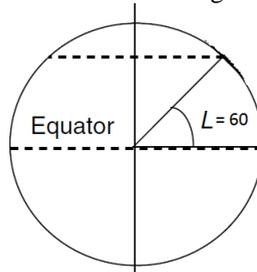
2.2.5 Posisi Matahari

Kinerja panel surya juga dipengaruhi oleh arah datangnya sinar matahari yang dapat diterima oleh panel surya. Posisi matahari memberikan efek tersendiri terhadap daya keluaran(*output*) panel surya. Seringkali panel surya tidak menghasilkan daya keluaran dengan baik karena penempatannya tidak sesuai terhadap arah datangnya sinar matahari. Tata letak panel surya agar menghasilkan daya keluaran yang maksimal adalah senantiasa dipasang tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Penghitungan potensi daya panel surya dengan tahap utama adalah menghitung sudut azimut dan altitude matahari untuk menentukan posisi matahari yang berubah-ubah setiap jam[8].

Sudut Latitude

Sudut latitude (garis lintang) adalah sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari khatulistiwa, utara positif ; $-90^{\circ} \leq L \leq 90^{\circ}$ dimana sudut yang diukur dari pusat bumi , antara posisi pengamat dan ekuator. Nilai latitit

bervariasi antara 0° sampai 90° bernilai positif untuk wilayah di utara garis ekuator dan negatif untuk daerah di selatan garis ekuator.



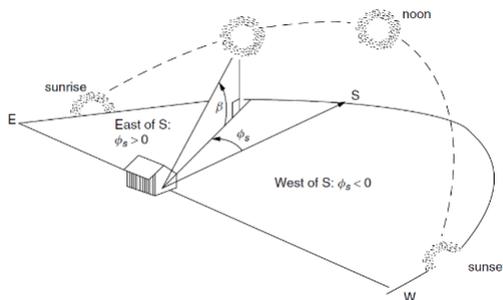
Gambar 2.4 Sudut Latitude pengamat di sebelah utara

Sudut Longitude

Sudut longitude adalah sudut bujur suatu tempat terhadap garis horizon. Dimana daerah Indonesia paling barat atau paling dekat dengan garis horizon berada pada di daerah Aceh dengan sudut longitude 105° . Indonesia yang terbagi menjadi 3 wilayah yaitu Indonesia bagian barat, tengah dan timur menyebabkan perbedaan waktu sebanyak 1 jam. Dimana waktu wilayah timur memiliki nilai waktu 1 jam lebih awal daripada nilai wilayah tengah. Dan wilayah tengah memiliki selisih waktu 1 jam lebih dulu daripada wilayah barat.

Sudut Azimut

Sudut azimut adalah penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horizontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif.



Gambar 2.5 Sudut Azimut matahari

Sudut Azimut dapat diperoleh melalui persamaan:

$$\phi_s = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta} \right) \quad (2.1)$$

Dengan :

δ = sudut deklinasi (derajat)

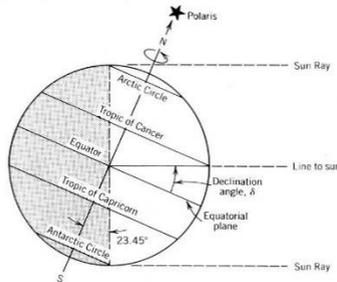
H = sudut jam (derajat)

β = sudut altitude (derajat)

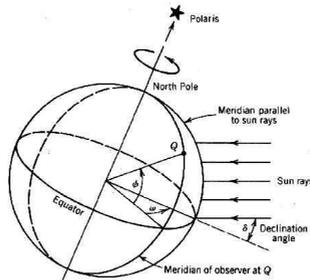
Dalam menentukan sudut azimut, ada saat azimut lebih besar atau kurang dari 90° . Dan untuk menentukan hal tersebut perlu persyaratan tambahan untuk menentukan azimut yang benar. Berikut syarat dalam penentuan sudut azimut:

$$\cos \omega \geq \frac{\tan \delta}{\tan L}, \text{ maka } |\phi_s| \leq 90^\circ, \text{ lainnya } |\phi_s| \geq 90^\circ$$

Namun dalam perhitungan sudut azimut matahari diperlukan parameter sudut deklinasi dan sudut jam matahari (*hour angle*).



Gambar 2.6 Sudut Deklinasi



Gambar 2.7 Hour Angle

Dua parameter tersebut dapat diperoleh dengan persamaan :

$$H = (ST - 12) \times 15^\circ \quad (2.2)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{(n-81)}{365} \cdot 360 \right] \quad (2.3)$$

Dimana :

ST = Solar Time

n = hari ke

Sudut Altitude

Sudut altitude adalah ketinggian suatu objek yang diukur dari garis horizon. Sudut altitude sebagai penanda bahwa panel surya tersebut berada dimana terhadap matahari. Hal ini dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \quad (2.4)$$

Dengan :

β = sudut altitude (derajat)

L = sudut latitude (derajat)

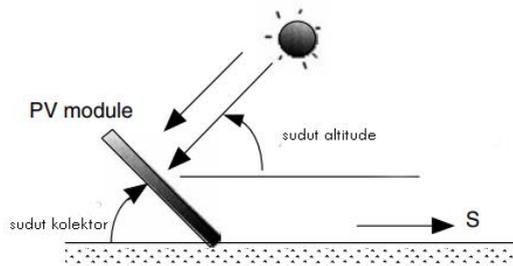
H = sudut jam matahari (derajat)

δ = sudut deklinasi (derajat)

Sudut Panel Surya

Sudut Kolektor (Σ)

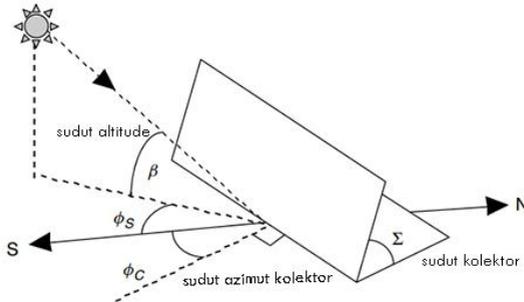
Sudut kolektor adalah sudut penempatan panel surya terhadap posisi horizontal. Sudut ini ditentukan sesuai kebutuhan.



Gambar 2.8 Sudut kolektor

Sudut Azimut Kolektor (θ_c)

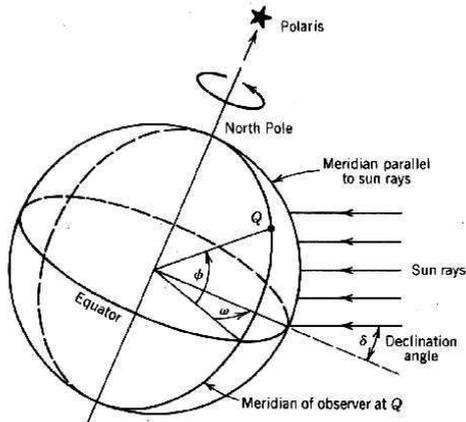
Sudut azimut kolektor adalah sudut azimut yang terbentuk pada penempatan panel surya. Sudut ini ditentukan sesuai kebutuhan.



Gambar 2.9 Sudut Azimut Kolektor

2.2.6 Hour angle

Hour angle (ω) digunakan untuk menggambarkan rotasi bumi pada porosnya. *Hour angle* merupakan perbedaan angular antara meridian pengamat dan meridian matahari, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. *Hour angle* bernilai nol saat matahari pada deklinasi tertingginya (siang hari) [4].



Gambar 2.10 Hour angle (ω), sudut antara meridian pengamat (Q) dan meridian yang tegak lurus dengan matahari

Hour angle dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\omega = 15^\circ \cdot (\text{SolarTime} - 12) \quad (2.5)$$

dimana, $-180^\circ \leq \omega \leq 180^\circ$, bernilai negatif sebelum siang tengah hari.

2.2.7 Solar time dan Civil time

Waktu lokal yang biasa disebut *civil time* atau *clock time* merupakan standard pembagian waktu berdasarkan bujur yang dihitung dari prime meridian di Greenwich (GMT, *Greenwich Mean Time*). Setiap 15° perbedaan sudut bujur dari prime meridian mewakili perbedaan 1 jam. Untuk daerah disebelah timur prime meridian bernilai positif dan berlaku sebaliknya.

Dalam merubah *civil time* menjadi *solar time* perlu ada beberapa penyesuaian mulai dari penyesuaian longtude dan penambahan koefisien waktu lainnya. *Civil time* dihitung berdasarkan pembagian zona dimana *Local Time Meredian* berada. *Local time meredian* untuk Indonesia ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Zona Waktu	LT Meridian	Zona Waktu
Waktu Indonesia Barat	105°	+7
Waktu Indonesia Tengah	120°	+8
Waktu Indonesia Timur	135°	+9

Tabel 2.1 *Local Time Meredian Indonesia*

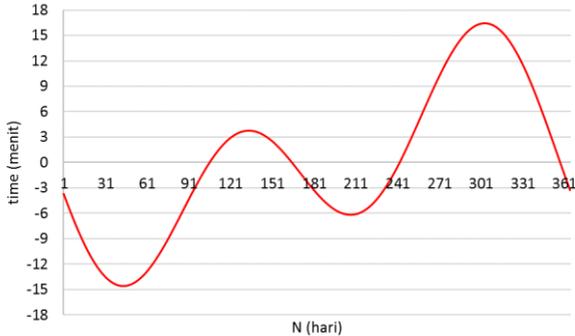
Untuk daerah yang tidak tepat pada *local time meredian* atau terletak di antara dua *local time meredian* perlu dilakukan penyesuaian waktu. Penyesuaian waktu dilakukan dengan mencari selisih *longitude* antara pengamat dan lintang meridian sebelumnya kemudian dikali empat, karena setiap perbedaan 1° *longitude* terdapat perbedaan waktu sebesar 4 menit.

Akibat dari bentuk orbit bumi tidak bulat atau berbentuk elips membuat panjang hari berubah-ubah selama satu tahun maka perlu penyesuaian kedua untuk merubah *civil time* menjadi *solar time*. Perubahan panjang hari ini dikenal dengan *Equation of Time (E)*.

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (2.7)$$

dimana,

$$B = \frac{(n-81)}{365} \cdot 360 \quad (2.8)$$



Gambar 2.11 Equation of Time berubah ubah selama satu tahun antara -15 sampai 17 menit

Dari dua penyesuaian di atas didapat hubungan *civil time* dan *solar time* sebagai berikut:

$$ST = CT + EoT + 4(LOD - LTM) \quad (2.9)$$

dimana,

- ST : *solar time*
- CT : *civil time* atau *clock time*
- LTM : *local time meridian*
- LOD : *Longitude*

2.2.8 Iradiansi Panel Surya

Iradiansi merupakan radiasi matahari yang dapat dijadikan energi per luas area (meter persegi). Dalam pemodelan estimasi iradiansi matahari atau bisa disebut *solar insolation* adalah intensitas radiasi matahari yang bisa

dimanfaatkan oleh panel surya. *Solar Insolation* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti atmosfer, sudut matahari dan jarak. Semakin sedikit lapisan atmosfer yang dilewati maka semakin banyak nilai *solar insolation* yang diperoleh [9].

Iradiansi Langsung

Iradiansi langsung atau sering disebut *direct-beam radiation* adalah intensitas sinar matahari yang langsung mengenai permukaan panel surya. Hal ini dapat diperoleh melalui persamaan :

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (2.10)$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (2.11)$$

$$m = \frac{1}{\sin \beta} \quad (2.12)$$

$$I_b = A e^{-km} \quad (2.13)$$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos(\theta_s - \theta_c) \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma \quad (2.14)$$

$$I_{bc} = I_b \cos \theta \quad (2.15)$$

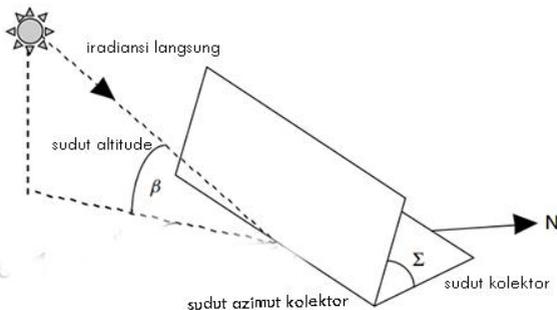
Dengan :

A= Apparent Extraterrestrial Flux (Watt/m²)

k= Optical depth

I_b= Irradiansi Sinar matahari saat cerah (Watt/m²)

I_{bc}= Irradiansi yang ditangkap panel surya (Watt/m²)



Gambar 2.12 *Iradiansi Langsung*

Iradiansi Tersebar

Iradiansi tersebar adalah intensitas sinar matahari yang tersebar akibat benturan atau gesekan oleh awan, atmosfer bumi atau bidang lain

kemudian mengenai panel surya. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$C = 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (2.16)$$

$$I_{dh} = C \times I_b \quad (2.17)$$

$$I_{dc} = I_{dh} \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) \quad (2.18)$$

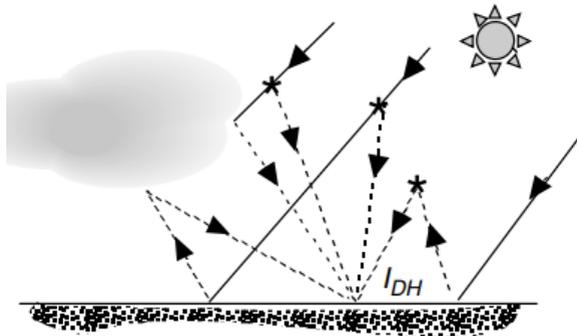
Dengan :

C = Faktor difusi langit

I_{dh} = Iradiansi ketika difusi (Watt/m²)

I_{dc} = Iradiansi yang dihasilkan panel surya (Watt/m²)

Σ = Sudut Panel surya (derajat)



Gambar 2.13 Iradiansi Tersebar

Iradiansi Pantulan

Iradiansi pantulan adalah intensitas sinar matahari yang dipantulkan oleh sungai, laut atau bidang lain kemudian mengenai panel surya. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_{rc} = \rho I_b (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \quad (2.19)$$

Dengan :

I_{rc} = Iradiansi pantul yang diterima panel surya (Watt/m²)

ρ = koefisien pantul permukaan panel surya

Iradiansi Total

Iradiansi total yang diterima oleh panel surya dalam keadaan langit cerah adalah hasil dari penjumlahan iradiansi keseluruhan yaitu iradiansi

langsung ditambah dengan iradiansi tersebar dan iradiansi pantul. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc} \quad (2.20)$$

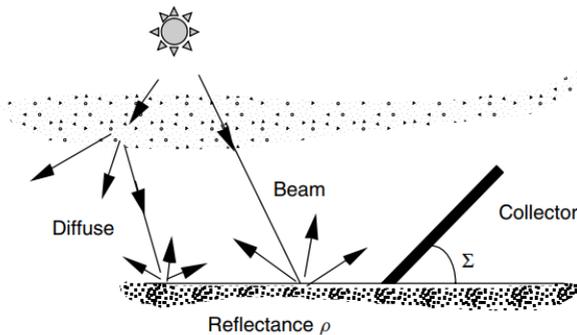
$$P_{in} = I_c \times A \quad (2.21)$$

Dengan :

I_c = Iradiansi Total (Watt/m²)

P_{in} = Daya Input akibat iradiansi matahari (Watt)

A = Luas permukaan panel surya (m²)



Gambar 2.14 Iradiansi Pantulan

2.2.9 Biaya Instalasi

Dalam membuat sebuah PLTS diperlukan estimasi instalasi agar tidak menimbulkan kerugian bagi calon pemakai atau setidaknya agar PLTS bisa berjalan dengan baik serta menghasilkan energi sesuai perhitungan[10].

2.2.10 Energi keluaran dari PV array

Daya keluaran yang dihasilkan oleh PV (E_p) dapat dihitung sebagai berikut[15]:

$$E_p = A_p \eta_p H_t \quad (2.22)$$

A_p = area total modul (m²)

η_p = efisiensi dari modul PV

H_t = Iradiansi total pada bidang

2.2.11 Ekonomi Energi

Pada prinsipnya terdapat banyak cara untuk dapat menghitung kelayakan ekonomi dari proyek distribusi pembangkitan dan efisiensi energi. Modal awal peralatan, operasi dan biaya pemeliharaan, serta biaya bahan bakar perlu dikombinasikan dengan metode tertentu agar dapat menentukan perbandingan dalam menentukan kelayakan sebuah proyek atau tidak. Metode penghitungan ekonomi energi digunakan agar dapat menyediakan awalan evaluasi finansial secara rasional, atau setidaknya cukup untuk menentukan apakah sebuah proyek layak untuk dianalisis secara lebih jauh dan mendalam[13].

Simple Payback Period

Simple Payback Period merupakan salah satu cara paling umum dalam mengevaluasi kelayakan ekonomi suatu proyek. Nilai *Simple Payback Period* didapatkan dari perbandingan antara pengeluaran biaya pertama dengan pendapatan per tahun.

$$\text{Simple Payback} = \frac{\text{Extra first cost } \Delta P(\$)}{\text{Annual savings } S(\$/\text{yr})} \quad (2.23)$$

Return on Investment

Return on Investment (ROI) adalah rasio profit yang diperoleh atau hilang pada suatu investasi, relatif terhadap jumlah yang diinvestasikan. Jumlah profit yang diperoleh atau hilang tersebut dapat disebut sebagai bunga atau laba/rugi. Investasi uang dapat dirujuk sebagai aset, modal, pokok, basis biaya investasi.

$$\text{ROI} = \frac{(\text{Gain from investment} - \text{Cost from investment})}{\text{Cost from investment}} \times 100\% \quad (2.24)$$

Net Present Value

Net Present Value (NPV) adalah perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas yang masuk dan nilai sekarang dari arus kas keluar pada sebuah waktu periode. NPV biasanya digunakan untuk alokasi modal untuk menganalisa keuntungan dalam sebuah proyek yang akan dilaksanakan. Net Present Value yang positif menandakan bahwa proyeksi pendapatan yang dihasilkan oleh sebuah proyek atau investasi melebihi dari proyeksi biaya yang dikeluarkan. Pada umumnya nilai NPV yang positif akan menjadi menguntungkan dan proyek yang memiliki NPV negatif akan menghasilkan kerugian.

$$NPV = C - \sum_{t=1}^N \frac{Rt}{(1+i)^t} \quad (2.25)$$

C = Biaya awal (*Capital Cost*)

N = Jumlah periode

t = Waktu arus kas yang diukur

Rt = Arus kas pada waktu t

Present Worth

Present Worth dari sebuah komponen dapat didefinisikan sebagai jumlah uang yang perlu diinvestasikan pada waktu sekarang dengan return 100d% agar komponen tersebut bisa dibeli pada masa depan, dengan asumsi tingkat inflasi 100i%.

$$PW = \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^n Co \quad (2.26)$$

i = tingkat inflasi

d = *discount rate*

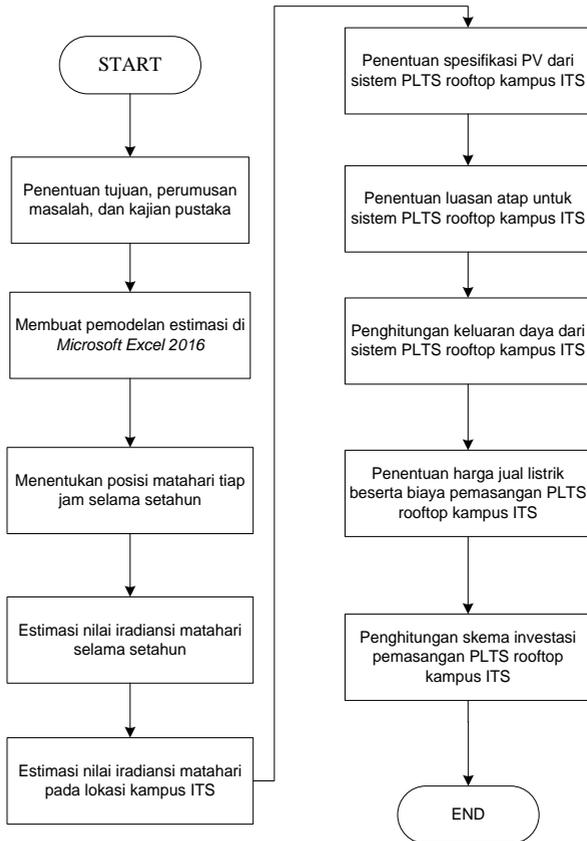
Co = jumlah pinjaman yang harus dibayar

Life Cycle Cost

Life Cycle Cost dapat didefinisikan sebagai jumlah *present worth* dari semua komponen yang ada di sebuah sistem dalam melakukan investasi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

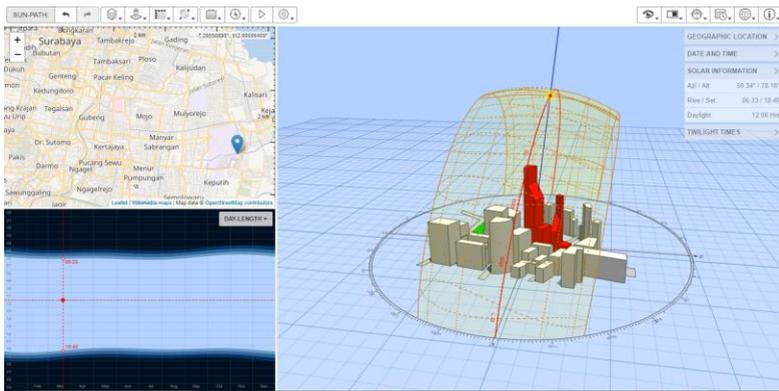
Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan mulai dari studi literatur, pengumpulan data, pemodelan dan simulasi sistem, pengolahan data yang telah diperoleh sehingga pada akhir penelitian ini dapat ditarik kesimpulan. Tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 3.1 *Diagram alir penelitian*

I. Posisi matahari terhadap kampus ITS

Pada tahap ini dilakukan penghitungan terkait posisi matahari pada suatu lokasi tertentu. Pada kasus ini lokasi yang dijadikan objek penelitian adalah lokasi kampus ITS, yang berada pada latitude -7.285499 dan longitude 112.79608 . Akan dilakukan simulasi menggunakan *Microsoft Excel 2016*. Setelah simulasi, hasil akan disesuaikan dengan *open source web-app 3D Sun Path* untuk membandingkan hasil simulasi dengan keadaan real.



Gambar 3.2 Tampilan 3D sun Path

Terdapat dua macam sudut yang digunakan dalam menentukan posisi matahari terhadap suatu lokasi di bumi, yakni sudut altitude atau ketinggian, serta sudut azimuth atau sudut putar (sudut kompas). Untuk posisi matahari yang berubah-ubah setiap waktu dalam satu hari, diperlukan waktu matahari (*solar time*) mulai dari jam 1 hingga 24. Setelah itu diperlukan sudut jam matahari (*hour angle*) atau sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur local dengan rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam. Selain itu, nilai “n” pada sudut jam merupakan hari terkait yang akan disimulasikan. Setelah menentukan *hour angle*, selanjutnya adalah sudut deklinasi atau sudut ketinggian antara ekuator bumi terhadap matahari yang tiap hari berubah-ubah selama setahun.

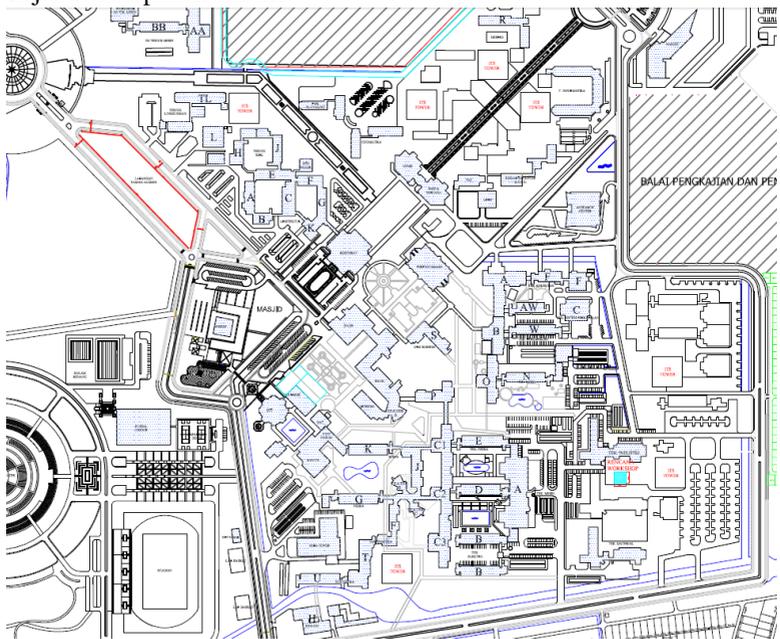
Setelah itu akan dihitung nilai altitude dengan menggunakan parameter *hour angle* dan sudut deklinasi. Setelah diperoleh sudut altitude selama satu tahun, dapat dilakukan penghitungan azimuth selama satu tahun.

Sudut altitude dan sudut azimuth yang digabungkan akan membentuk pola lintasan matahari terhadap suatu lokasi di bumi selama satu tahun. Untuk mengecek hasil simulasi dengan keadaan *real*, maka akan dilakukan pengecekan dengan *open source web-app 3D Sun Path*.

II. Gedung kampus ITS

Setiap gedung di kampus ITS memiliki luasan atap beserta arah hadap bangunan terhadap matahari yang berbeda-beda, sehingga diperlukan penentuan luasan atap beserta arah hadap bangun terhadap matahari untuk dapat menentukan potensi daya PLTS *rooftop*.

Berikut merupakan denah bangunan kampus ITS yang akan dijadikan objek dalam penelitian ini:



Gambar 3.3 Data bangunan kampus ITS
(Sumber: Master Plan ITS 2015)

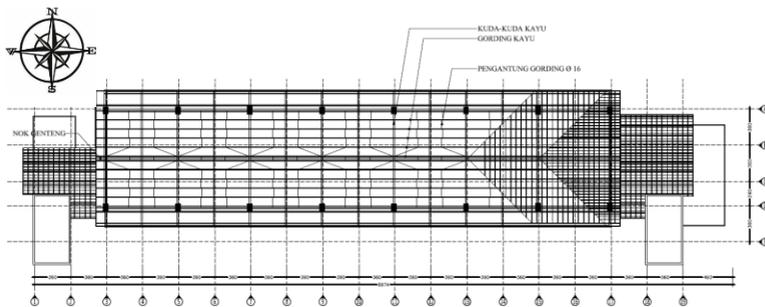
Untuk gedung kampus ITS yang memiliki *rooftop* dengan kemiringan tertentu yang akan dijadikan objek pada penelitian ini, terdapat dua macam tipe gedung dengan arah hadap berbeda. Pertama gedung dengan arah hadap atap menuju utara dan selatan, serta gedung dengan arah hadap barat dan timur.

Pada penghitungan untuk penelitian ini, diambil dua sampel dari dua tipe gedung berbeda. Untuk gedung dengan arah hadap utara dan selatan diambil gedung B Departemen T. Elektro ITS.

Berikut merupakan data gedung B pada kampus ITS:

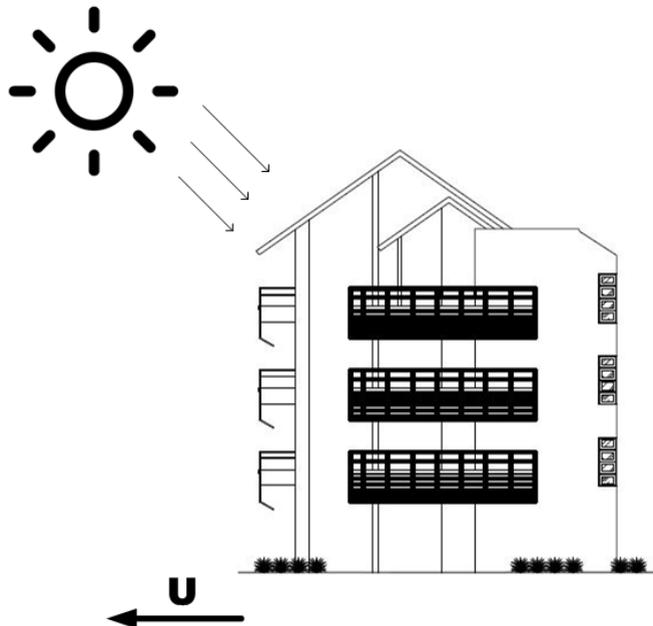
Gedung	Arah hadap		Luasan 1 sisi atap (m^2)	Kemiringan
	Utara	Selatan		
B	Utara	Selatan	292.75	35°

Tabel 3.1 Data gedung B kampus ITS



Gedung B Laboratorium Elektro
Denah Penutup Atap
Skala 1:100

Gambar 3.4 Denah atap gedung B kampus ITS



Gedung B Laboratorium Elektro
Tampak 2
Skala 1:100

Gambar 3.5 Tampak potongan gedung B kampus ITS

Mempertimbangkan faktor *mounting* dalam pemasangan sistem PLTS *rooftop*, pada penelitian kali ini ditentukan luasan atap yang berpotensi untuk dipasang PLTS adalah 75 persen dari luasan atap bangunan. Sehingga untuk gedung B luasan area yang potensial sebesar 219.56 m^2 dan untuk gedung J luasan area yang potensial sebesar 254.72 m^2 .

III. Output photovoltaic pada pemasangan di gedung kampus ITS

Pada tahap ini ditentukan spesifikasi panel surya yang akan digunakan sebagai *base assumption*. Setelah itu dihitung luasan panel surya yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 KWp pada panel surya.

Setelah itu ditentukan output panel surya yang dapat dihasilkan terhadap bangunan di kampus ITS.

Potensi tenaga surya pada skema pemasangan *photovoltaic* dihitung dengan menjumlahkan iradiasi matahari pada panel surya (I_c) dikalikan dengan luas permukaan panel surya. Sebelumnya ditentukan terlebih dahulu spesifikasi panel surya yang akan dipasang, untuk mendapatkan output dari keluaran inverter *photovoltaic*.

Spesifikasi PV	
Jenis	Polycrystalline PV
KWp	0.05
Dimension (m^2)	0.4355
PR	0.75
Pin (W)	330
PR	0.75
Voc (V)	21.6
Isc (A)	3.23
Vmp (V)	17.5
Imp (A)	2.86

Tabel 3.2 Spesifikasi PV

Sehingga ditentukan untuk menghasilkan daya sebesar 1 Kwh pada panel surya dibutuhkan luasan sebesar 8.71 m^2 .

IV. Penentuan biaya pemasangan sistem PLTS rooftop

Pada tahap ini akan ditentukan biaya pemasangan sistem PLTS rooftop pada bangunan kampus ITS. Biaya pemasangan PLTS rooftop negara-negara di asia tenggara, khususnya negara Thailand yang dijadikan acuan pada penelitian ini, memiliki *baseline assumptions* terhadap biaya pemasangan sistem panel surya sebagai berikut[5] :

Baseline Assumptions				
Customer Class	RES	SGS	MGS	LGS

Peak Load (Kw)	5	5	200	2000
System Size (Kw)	5	5	100	1000
System Cost (IDR/w)	IDR 22,167	IDR 22,167	IDR 19,950	IDR 15,517
Operating Cost (IDR/yr)	IDR 2,216,675	IDR 2,660,010.00	IDR 4,433,350	IDR 22,166,750

Tabel 3.3 *Baseline assumptions biaya pemasangan PLTS*

(Sumber: IEA Journal, Partner Country Series, Thailand)

V. Penentuan harga jual listrik dari sistem PLTS rooftop

Pada tahap ini akan ditentukan harga jual dari daya listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS rooftop kampus ITS. Acuan yang digunakan merupakan harga beli listrik dari kampus ITS ke PLN. Kampus ITS merupakan pelanggan PLN dengan golongan Sosial-3 yang memiliki 2 jenis harga yaitu harga listrik waktu beban puncak (WBP) dan harga listrik lewat waktu beban puncak (LBWP). Berikut merupakan biaya yang dibayarkan kampus ITS kepada PLN perihal pemakaian daya listrik, beserta presentasi pemakaiannya dalam waktu setahun:

Jenis	Presentase	Harga
Waktu beban puncak	12,5%	Rp 1.102,5
Lewat beban puncak	87,5%	Rp 735

Tabel 3.4 *Biaya listrik ITS*

(Sumber: Sarana Prasarana ITS)

Selain itu, untuk menentukan skema investasi terkait kenaikan harga listrik PLN, diperlukan analisis terkait kenaikan harga tarif listrik PLN selama beberapa tahun kedepan. Berikut merupakan kenaikan biaya dan rata-rata tarif listrik PLN selama tahun 2012 sampai dengan tahun 2017[14]:

Year	Average Cost (IDR/kWh)	Average Tariff (IDR/kWh)	Subsidy (IDR Trillion)
2012	1374	728	103.3
2013	1399	818	101.2
2014	1420	940	99.3
2015	1300	1035	56.6
2016	1265	991	60.4
2017	1318	1105	45.7

Tabel 3.5 Kenaikan tarif listrik PLN
(Sumber: Statistika PLN 2017)

Dengan menggunakan regresi linier maka didapatkan persamaan sebagai berikut terkait kenaikan biaya listrik PLN

$$Y = 71X + 686.26666667 \quad (3.1)$$

Dengan Y merupakan biaya listrik PLN dan X merupakan n tahun. menggunakan persamaan tersebut, ditentukan rata-rata kenaikan biaya listrik tiap tahun adalah 2,5%.

VI. Analisis ekonomi terhadap pemasangan sistem PLTS rooftop

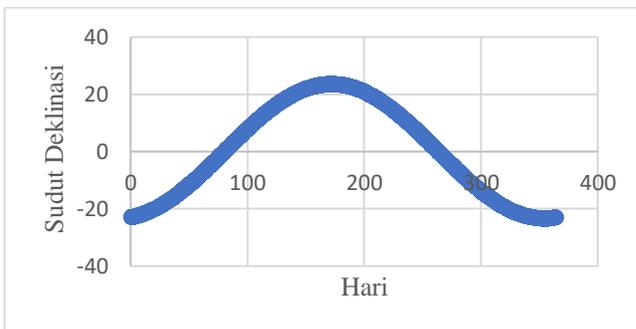
Setelah mengetahui potensi dari pemasangan panel surya pada bangunan kampus ITS, akan ditentukan harga beli per KWh ITS terhadap PLN. Setelah itu, ditentukan untuk biaya pemasangan panel surya pada atap Gedung beserta biaya pengoperasian serta pemeliharaan. Setelah itu akan ditentukan skema investasi terkait *payback analysis* untuk pemasangan PLTS rooftop kampus ITS.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Posisi matahari selama setahun terhadap lokasi kampus ITS

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai simulasi dan juga terkait posisi matahari dalam jangka waktu satu tahun setiap jamnya. Posisi matahari terhadap lokasi kampus ITS ditentukan melalui sudut altitude dan sudut azimuth matahari untuk menentukan posisi matahari yang berubah-ubah setiap jam selama setahun. Simulasi dilakukan dengan memasukkan dalam *spreadsheet* di dalam *software Microsoft excel 2016*. Langkah pertama yang dilakukan untuk menentukan sudut ketinggian β (sudut altitude) dan sudut azimuth θ_s dalam menentukan posisi matahari yang berubah-ubah setiap waktu diperlukan waktu matahari (*solar time*) yang terdiri dari jam 1 hingga jam 24. Setelah itu diperlukan sudut jam matahari, dimana sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam. Sebelum jam 12.00 bernilai negatif, setelah jam 12.00 bernilai positif. Nilai “n” pada sudut jam adalah hari ke berapa yang akan dihitung. Misal, menghitung pada tanggal 1 januari, maka nilai n yang dipakai adalah 1 karena 1 januari adalah hari pertama dan 31 Desember adalah hari ke 365.

Setelah diperoleh nilai *hour angle*, selanjutnya mencari nilai sudut deklinasi. Dimana sudut deklinasi menentukan seberapa jauh posisi bumi terhadap matahari yang setiap hari berubah-ubah. Perhitungan sudut deklinasi selama satu tahun menggunakan persamaan (2.11)



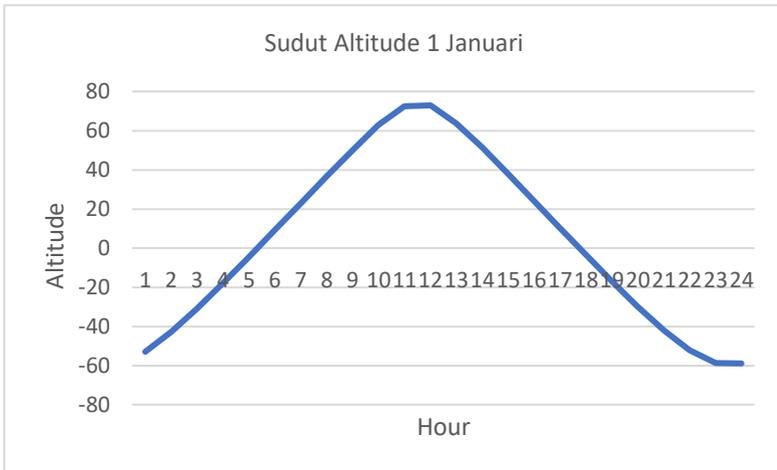
Gambar 4.1 Sudut deklinasi selama setahun

Pada gambar (4.1) menunjukkan bahwa posisi terjauh matahari berada saat tanggal 21 Juni atau hari ke 172 dan pada tanggal 21 Desember atau hari ke 355. Hal ini dikarenakan pada tanggal 21 Juni serta 21 Desember merupakan posisi titik balik matahari terhadap bumi.

Selanjutnya nilai sudut Altitude dapat dihitung menggunakan parameter sudut jam dan sudut deklinasi. Hal ini diperoleh menggunakan persamaan (2.12) sebagai contoh untuk sudut altitude pada hari pertama yaitu pada tanggal 1 Januari pukul 11 siang.

$$\begin{aligned} \beta &= \sin^{-1}[(\cos(Lad) \times \cos \delta \times \cos H) + (\sin(Lad) \times \sin \delta)] \\ &= \sin^{-1}[(\cos(-7.285) \times \cos(-23.16) \times \cos(-8.13)) + \\ &\quad (\sin(-7.285) \times \sin(-23.16))] \\ &= 72.44^\circ \end{aligned}$$

Untuk nilai sudut altitude selama sehari dalam contoh tanggal 1 Januari atau hari ke 1 dapat dilihat seperti berikut:



Gambar 4.2 *Sudut Altitude 1 Januari*

Dari gambar (4.2) dapat dilihat bahwa nilai sudut altitude tertinggi pada suatu hari terdapat pada pukul 12 siang, sedangkan pada sudut altitude terendah terdapat pada pukul 12 malam. Hal ini dikarenakan pada puncak

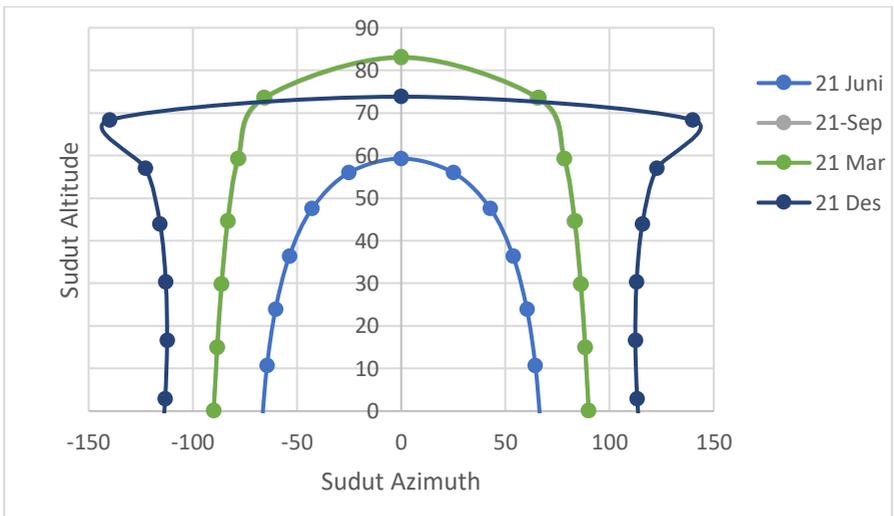
siang dan juga malam, posisi matahari berada hampir tepat di atas terhadap pengamat pada permukaan bumi.

Kemudian setelah diperoleh besar sudut altitude selama satu tahun, maka dapat dihitung sudut azimuth selama satu tahun dengan persamaan (2.9) sebagai contoh untuk sudut azimuth pada hari pertama yaitu pada tanggal 1 januari pukul 11 siang.

$$\theta_s = \sin^{-1} \frac{\cos L \sin H}{\cos \beta}$$

$$= \frac{\cos(-7,285^\circ) \sin(-8.13^\circ)}{\cos 72,44^\circ}$$

$$\theta_s = 154,43^\circ$$



Gambar 4.3 Sudut Altitude dan Azimuth selama setahun

Untuk posisi kampus ITS dengan sudut latitude sebesar $-7,285^\circ$ dan sudut longitude sebesar $112,796^\circ$, diperoleh hasil sudut azimuth dan altitude matahari seperti pada gambar 4.3.

Dari hasil simulasi *excel* yang telah dilakukan pengecekan dengan hasil *sun path 3D* didapatkan hasil pada pukul 12 siang dengan 4 tanggal penting selama setahun sebagai berikut :

Lokasi Kampus ITS (-7.285499,112.79608)				
GMT +7	3D Marsh Sun Path		Simulasi Excel	
12:00	Altitude	Azimuth	Altitude	Azimuth
21-Mar	80.19	-37.56	80.98796	-40.4698
21-Jun	58.47	-12.88	58.41765	-13.0999
21-Sep	77.67	-51.7	77.99113	-54.2718
21-Dec	72.02	-154.79	72.04432	-155.074

Tabel 4.1 Perbandingan hasil simulasi *excel* dengan *3D Sun Path*

4.2 Estimasi Iradiansi Matahari sistem PLTS *rooftop* kampus ITS

Pada sub bab ini akan dilakukan penghitungan iradiansi matahari pada sistem PLTS *rooftop* kampus ITS, yang terdiri dari iradiansi matahari langsung, iradiansi matahari tersebar, dan juga iradiansi matahari pantulan.

Langkah pertama yaitu dengan menentukan rasio udara dengan menggunakan persamaan (2.15) diambil contoh pada tanggal 1 Januari pukul 11 siang.

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{1}{\sin \beta} \\
 &= \frac{1}{\sin 72,44^\circ} \\
 &= 1,048 \\
 k &= 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \\
 &= 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (1 - 100) \right] \\
 &= 0,139
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menentukan iradiansi matahari langsung yang ditangkap kolektor. Dengan persamaan (2.13) dan (2.16) diambil contoh pada

tanggal 1 Januari pada pukul 11 siang dengan sudut panel sebesar 35° dan arah hadap utara.

$$Ib = Ae^{-km}$$

$$Ib = 1.234,9e^{-(0,139 \times 1,048)}$$

$$= 1.067 \frac{W}{m^2}$$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos(\theta_s - \theta_c) \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma$$

$$= \cos(72,44^\circ) \cos(154,43^\circ - 35^\circ) \sin 35^\circ + \sin(72,44^\circ) \cos 35^\circ$$

$$\cos \theta = 0.855635134$$

$$Ibc = Ib \cos \theta$$

$$= 1.067 \times 0,8556$$

$$= 0,913 \text{ kW}/m^2$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung irradiansi matahari tersebar. Pada irradiansi matahari tersebar yang dapat diserap oleh panel surya dipengaruhi oleh faktor difusi (C). Faktor difusi akan berubah-ubah setaip hari selama setahun. Dengan menggunakan persamaan (2.19) dan (2.21) faktor difusi beserta nilai irradiansi tersebar yang diserap kolektor pada tanggal 1 Januari pukul 11 siang dapat dilihat sebagai berikut.

$$C = 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right]$$

$$= 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (1 - 100) \right]$$

$$= 0,0553$$

$$Idc = Idh \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right)$$

$$= (1.067 \times 0,055) \left(\frac{1 + \cos 35^\circ}{2} \right)$$

$$= 0,0534 \text{ kW}/m^2$$

Iradiansi terakhir yang dapat diserap oleh panel surya adalah iradiansi pantulan. Iradiansi pantulan dipengaruhi besar oleh sudut kemiringan panel surya dan koefisien pantul permukaan bidang. Pada penelitian kali ini ditentukan nilai koefisien pantul sebesar 0,10. Dengan menggunakan persamaan (2.22) dihitung iradiansi pantulan dengan kemiringan 35° pada tanggal 1 januari pada pukul 11 siang.

$$\begin{aligned}
 I_{rc} &= \rho I_b (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \\
 &= 0,1 \times 1.067 (\sin 72,44^\circ + 0,0553) \left(\frac{1 - \cos 35^\circ}{2} \right) \\
 &= 0,0097 \text{ kW/m}^2
 \end{aligned}$$

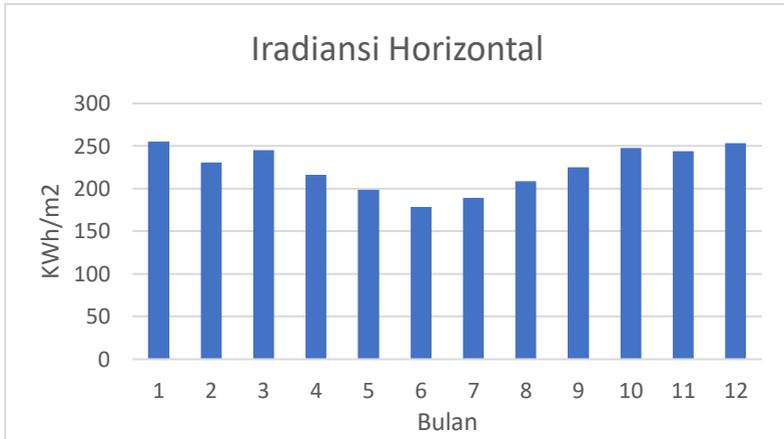
Sehingga iradiansi total pada kolektor yang diserap pada tanggal 1 januari pukul 11 siang dapat dihitung dengan persamaan (2.23)

$$\begin{aligned}
 I_c &= I_{bc} + I_{dc} + I_{rc} \\
 &= 0,913 + 0,0534 + 0,0097 \\
 &= 0,9761 \text{ kW/m}^2
 \end{aligned}$$

Dari gambar 4.4 Untuk arah hadap panel surya menghadap selatan. Nilai terbesar iradiansi kolektor didapatkan pada bulan Maret sedangkan nilai terendah pada bulan Juni. Dikarenakan posisi matahari pada bulan September sampai Maret berada lebih lama di langit.

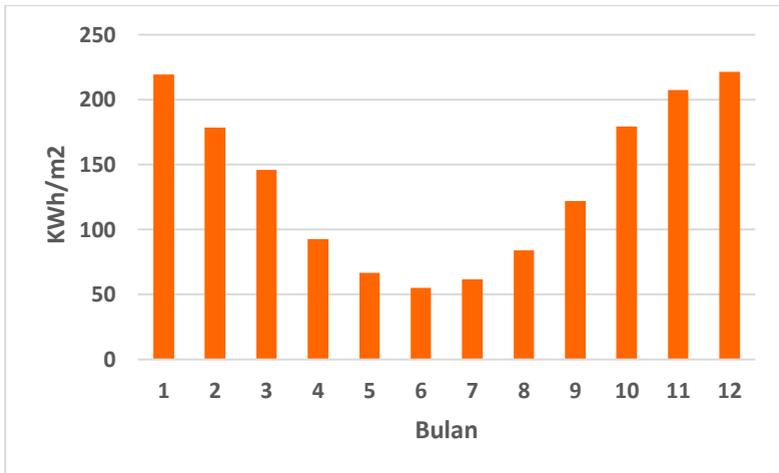
4.3 Keluaran daya sistem PLTS rooftop kampus ITS

Dengan menggunakan spreadsheet excel, didapatkan iradiansi total horizontal yang diperoleh pada lokasi kampus ITS selama setahun dapat dilihat pada grafik berikut:



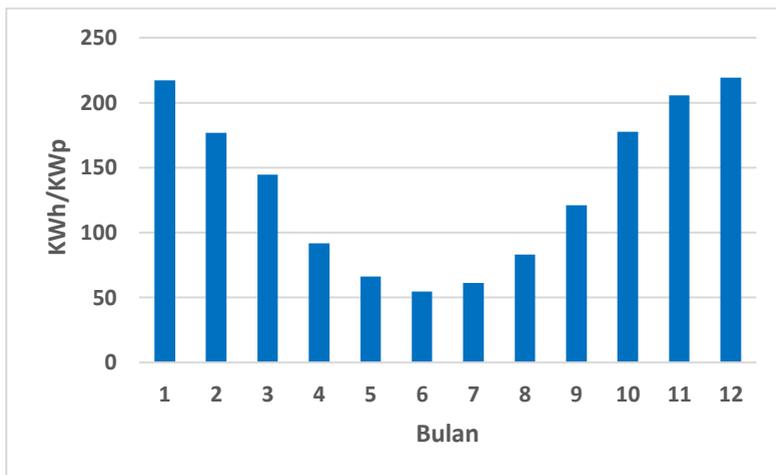
Gambar 4.4 Grafik iradiansi horizontal setahun pada kampus ITS

Selanjutnya untuk iradiansi pada kolektor selama setahun untuk sampel bangunan di sisi atap gedung B Teknik elektro ITS dengan kemiringan 35° didapatkan hasil sebagai berikut:



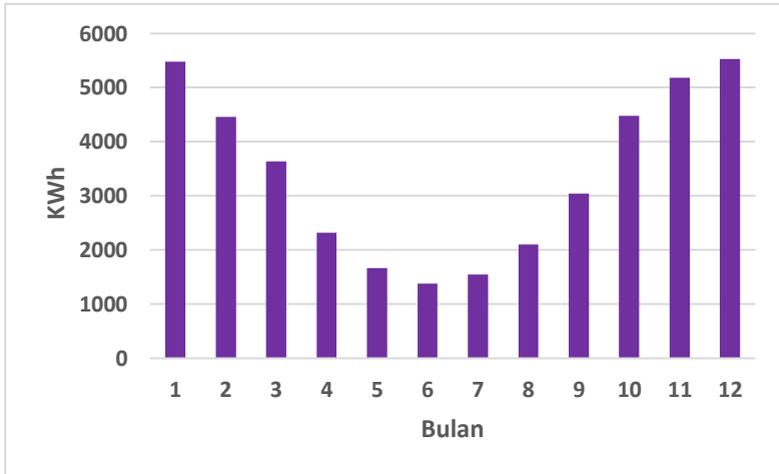
Gambar 4.5 Iradiansi Kolektor gedung B arah hadap utara

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (2.25), didapatkan hasil keluaran daya inverter untuk sampel bangunan di sisi atap gedung B Teknik elektro ITS sebagai berikut:



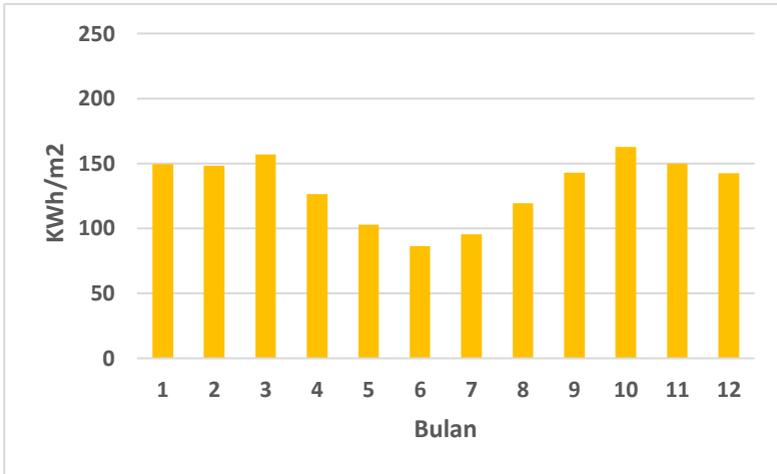
Gambar 4.6 Output PV gedung B T. Elektro ITS arah hadap utara

Setelah itu, didapatkan hasil untuk keluaran daya inverter total untuk sisi atap gedung B Teknik Elektro ITS sebagai berikut:

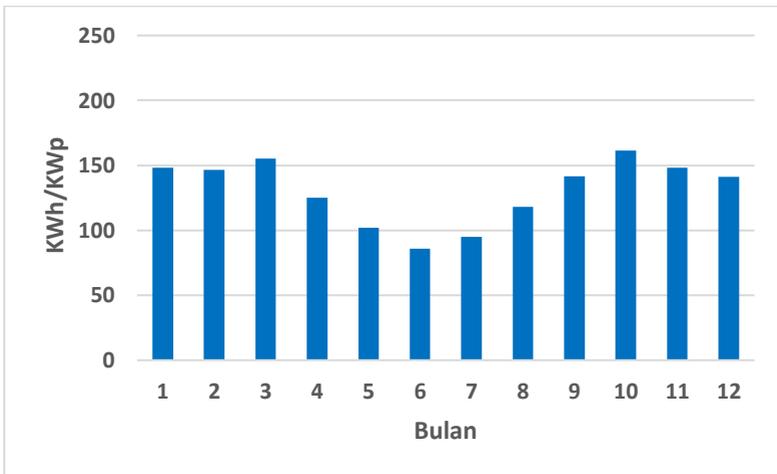


Gambar 4.7 *Output PV x Area gedung B T. arah hadap utara*

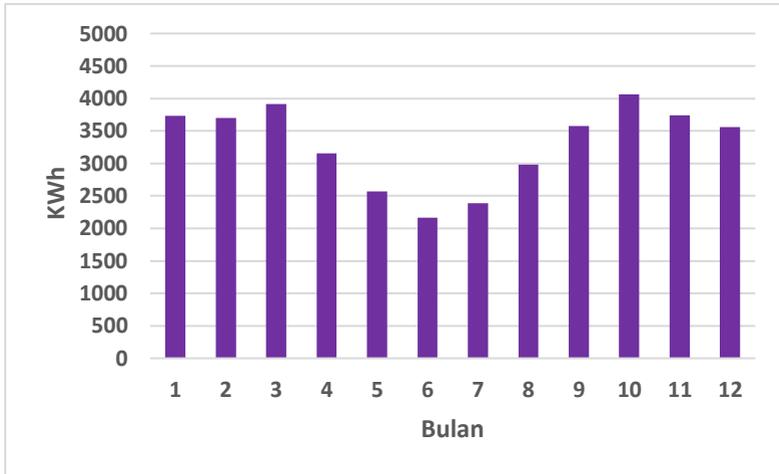
Pada sampel gedung B Departemen T. Elektro ITS, sisi atap yang menghadap ke utara, didapatkan hasil iradiansi horizontal, iradiansi kolektor dan juga keluaran daya inverter pada setiap bulannya selama setahun seperti gambar 4.2. Didapatkan keluaran daya inverter selama 38900.42 kWh/tahun. Untuk sisi atap gedung B Teknik Elektro ITS yang menghadap ke arah selatan, memiliki keluaran daya inverter sebesar 37546.58 kWh/tahun, lebih kecil dibandingkan dengan sisi atap yang menghadap ke arah utara dikarenakan posisi Indonesia terhadap khatulistiwa berada di bawah garis, sehingga matahari akan berada di sisi utara lebih lama dalam waktu setahun.



Gambar 4.8 *Iradiansi Kolektor Gedung B arah hadap selatan*



Gambar 4.9 *Output PV Gedung B arah hadap selatan*



Gambar 4.10 Output PV x Area Gedung B arah hadap selatan

Pada sistem PLTS *rooftop* kampus ITS, keluaran daya inverter terhadap sisi atap gedung yang menghadap ke arah utara memiliki keluaran daya inverter setahun paling besar dibandingkan dengan arah hadap atap gedung yang lain, sedangkan untuk sisi atap gedung yang menghadap ke arah selatan memiliki keluaran daya inverter paling kecil. Untuk gedung kampus ITS yang memiliki arah hadap ke arah timur dan barat memiliki keluaran daya inverter yang tidak berbeda jauh antara kedua sisi atap.

4.4 Pendapatan per tahun sistem PLTS *rooftop* kampus ITS

Dengan menggunakan asumsi harga listrik dari PLN sebesar Rp 735,00/Kwh pada saat lewat waktu beban puncak dan Rp 1.102,50/Kwh, berikut merupakan pendapatan per tahun dari pemasangan sistem PLTS pada bangunan kampus ITS gedung B arah hadap utara :

$$\begin{aligned}
 \text{Income} &= E \times (\text{WBP} \times \text{priceWBP} + \text{LWBP} \times \text{priceLWBP}) \\
 &= 38900.42 \times (0.875 \times 735 + 0.125 \times 1102.5) \\
 &= \text{Rp } 30,378,797
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk pendapatan per tahun dari PLTS gedung B kampus ITS arah hadap selatan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Income} &= E \times (\text{WBP} \times \text{priceWBP} + \text{LWBP} \times \text{priceLWBP}) \\
 &= 37,546.58 \times (0.875 \times 735 + 0.125 \times 1102.5) \\
 &= \text{Rp } 29,321,535
 \end{aligned}$$

4.5 Skema ekonomi pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS

Pada gedung kampus ITS, kebutuhan kWp yang digunakan akan menyesuaikan dengan luasan atap yang tersedia untuk pemasangan sistem PLTS *rooftop*. Pada sampel gedung B kampus ITS, dengan luasan 1 sisi atap potensial sebesar $219,56\text{m}^2$ maka dapat dipasang sistem PLTS *rooftop* sebesar 25,21 kWp. Dengan menggunakan tabel (3.3) sebagai acuan awal pemasangan sistem PLTS *rooftop* bangunan kampus ITS, berikut merupakan biaya pemasangan sistem PLTS *rooftop* ITS pada kampus ITS gedung B untuk 1 sisi atap:

$$\begin{aligned}
 \text{Capital} &= Wp \times \text{system cost} \\
 &= 25,210 \times 19,950 \\
 &= \text{IDR } 502,898,406.28
 \end{aligned}$$

Biaya pengoperasian dan juga pemeliharaan yang digunakan juga akan menyesuaikan terhadap kebutuhan kWp pada setiap gedung. Pada sampel gedung B kampus ITS, dengan pemasangan kWp sebesar 25,21 kWp. Dengan menggunakan tabel (3.3), biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS *rooftop* pada gedung B kampus ITS sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{OM Cost} &= \frac{\text{kWp}}{100} \times \text{OM Cost } 100\text{kWp} \\
 &= \frac{25,21}{100} \times 4,433,350 \\
 &= \text{IDR } 1,117,556
 \end{aligned}$$

Setelah itu akan dibahas mengenai skema investasi dari pemasangan sistem PLTS *rooftop* kampus ITS. Skema investasi yang akan dibahas meliputi *simple payback period*, *net present value*, dan juga *return on investment* untuk gedung pada kampus ITS. Dengan menggunakan persamaan (2.26), berikut merupakan analisis dari *simple payback period* pemasangan sistem PLTS *rooftop* kampus ITS pada sampel gedung B kampus ITS 1 sisi atap arah hadap utara:

$$\begin{aligned} \text{simple payback period} &= \frac{\text{Capital Cost}}{\text{yearly income} - \text{OM Cost}} \\ &= \frac{\text{IDR } 502,898,406}{\text{IDR } 30,378,796 - \text{IDR } 1,117,556} \\ &= 17,2 \text{ year} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk sisi atap arah hadap selatan memiliki *simple payback period* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{IDR } 502,898,406}{\text{IDR } 29,321,535 - \text{IDR } 1,117,556} \\ &= 17,8 \text{ year} \end{aligned}$$

Dari penghitungan *simple payback period* pemasangan PLTS pada *rooftop* kampus ITS, rata-rata memiliki SPP dengan kurun waktu 17 tahun. Untuk gedung kampus ITS yang memiliki arah hadap utara dan selatan, pemasangan PLTS *rooftop* pada satu sisi yang menghadap utara memiliki SPP yang lebih kecil dibandingkan pemasangan pada satu sisi yang menghadap ke arah selatan.

Selanjutnya akan ditentukan *Net Present Value* (NPV) serta *Return on Investment* (ROI) pada sampel gedung B kampus ITS. Pada penghitungan NPV ditentukan *discount rate* sebesar 2,57% dan kenaikan tarif dasar listrik per tahun sebesar 2,5%. Sehingga untuk penghitungan NPV pada 1 sisi atap arah hadap utara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= -\text{Capital Cost} + \sum_{t=1}^{20} \frac{(\text{yearly income} - \text{OM cost}) \times (1 + i)^t}{(1 + d)^t} \\ &= -502,898,406 + \sum_{t=1}^{20} \frac{(29,261,24) \times (1 + 0,025)^t}{(1 + 0,0257)^t} \\ &= \text{IDR } 78,150,845 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk ROI 20 tahun adalah sebagai berikut:

$$\text{ROI} = \frac{(\text{Gain in 20 years} - \text{Capital Cost})}{\text{Capital Cost}} \times 100\%$$

$$ROI = \frac{(20 \times 29,261,24 - 502,898,406)}{502,898,406} \times 100\%$$

$$ROI = 16,4\%$$

Pada penghitungan NPV dan ROI dari pemasangan sistem PLTS *rooftop* kampus ITS untuk satu sisi atap yang memiliki keuntungan paling besar, semakin besar sistem daya PLTS yang terpasang maka NPV yang didapatkan juga akan semakin besar. Selain itu, untuk ROI pada pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS memiliki rata-rata ROI 15-17% selama 20 tahun dari *life-time* komponen panel surya.

4.6 Payback analysis pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS

Dengan menggunakan acuan awal tingkat inflasi sebesar 2,5% setiap tahun. Dilakukan *payback analysis* untuk mengetahui skema investasi pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS apabila biaya yang digunakan berasal dari pinjaman bank. Berikut skema *payback analysis* pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS dengan acuan pinjaman dari Bank sebesar 50% dari total biaya pemasangan, bunga tahunan sebesar 10% dan pinjaman akan dilunasi dalam waktu 10 tahun.

Berikut *payback analysis* untuk sampel gedung B Departemen T. Elektro ITS:

Capital Cost	IDR 502,898,406.28
Inflation rate (%)	2.50%
OM Cost Per Year	IDR 1,117,556.22
Revenue Per Year	IDR 30,378,796.55
Credits from Bank (50%)	IDR 251,449,203.14
Bank Interest	10%
Payment Period (year)	10
Annual Payment	IDR 40,922,199.86

Tabel 4.2 Skema Investasi

Item	Year				
	1	2	3	4	5
Capital Cost	IDR 251,449,203				
Annual Credit Payment	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200
Electricity Cost (Cash Flow)	IDR 30,378,797	IDR 31,138,266	IDR 31,916,723	IDR 32,714,641	IDR 33,532,507
OM Cost		IDR 1,117,556	IDR 1,145,495	IDR 1,174,132	IDR 1,203,486
	6	7	8	9	10
Capital Cost					
Annual Credit Payment	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200	IDR 40,922,200
Electricity Cost (Cash Flow)	IDR 34,370,820	IDR 35,230,090	IDR 36,110,843	IDR 37,013,614	IDR 37,938,954
OM Cost	IDR 1,233,573	IDR 1,264,412	IDR 1,296,023	IDR 1,328,423	IDR 1,361,634
	11	12	13	14	15
Capital Cost					
Annual Credit Payment					
Electricity Cost (Cash Flow)	IDR 38,887,428	IDR 39,859,614	IDR 40,856,104	IDR 41,877,507	IDR 42,924,444
OM Cost	IDR 1,395,675	IDR 1,430,566	IDR 1,466,331	IDR 1,502,989	IDR 1,540,564

Tabel 4.3 Payback analysis gedung B T. Elektro ITS

	16	17	18	19	20
Capital Cost					
Annual Credit Payment					
Electricity Cost (Cash Flow)	IDR 43,997,555	IDR 45,097,494	IDR 46,224,932	IDR 47,380,555	IDR 48,565,069
OM Cost	IDR 1,579,078	IDR 1,618,555	IDR 1,659,018	IDR 1,700,494	IDR 1,743,006
Present Worth (PW)	NET VALUE				
Capital Cost	IDR 251,449,203	IDR 88,583,745			
Annual Credit Payment	IDR 409,221,999				
Electricity Cost (Cash Flow)	IDR 776,015,957				
OM Cost	IDR 26,761,009				

Tabel 4.4 *Payback analysis gedung B T. Elektro ITS lanjutan*

Pada penghitungan *payback analysis* pemasangan sistem PLTS *rooftop* kampus ITS, dengan skema pinjaman bank yang sama seperti pada tabel (4.3) dan (4.8) setiap pemasangan pada *rooftop* gedung kampus ITS akan memberikan *payback analysis* yang positif. Semakin besar sistem yang dipasang maka *present worth* sebagai nilai investasi dari sistem juga akan semakin besar.

BAB 5

KESIMPULAN

4.7 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kampus ITS memiliki potensi luasan atap untuk instalasi sistem PLTS total sebesar **27.027,4 m²**.
2. Kapasitas PLTS yang dapat dipasang pada sistem PLTS *rooftop* kampus ITS sebesar **3.103,4 KWp**.
3. Potensi PLTS *rooftop* kampus ITS paling besar terletak pada sisi atap gedung dengan **arah hadap menuju ke utara**.
4. Jumlah biaya investasi yang diperlukan dalam pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS sebesar **Rp 61.905.567.204**.
5. Penghematan yang dapat dilakukan dari pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS sebesar **Rp 3.558.965.060** per tahun.
6. Pemasangan sistem PLTS *rooftop* pada kampus ITS memiliki *simple payback period* dengan **sebesar 17,4 tahun**.
7. Dari pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS, *Net Present Value* yang akan didapatkan sebesar **IDR 9,508,654,964** dalam waktu 20 tahun.
8. *Return on Investment* pada pemasangan sistem PLTS *rooftop* kampus ITS memiliki nilai **sebesar 16,2%** selama 20 tahun *lifetime PV*.

4.8 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait spesifikasi sistem PLTS yang akan dipasang pada gedung kampus ITS.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait pengaruh parameter *shading* dalam pemasangan sistem PLTS pada gedung kampus ITS.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Luque, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2E," hlm. 1168.
- [2] V. R. Yandri, "Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik di Indonesia," vol. 4, no. 1, hlm. 6, 2012
- [3] L. Akbar, "Estimasi Potensi dan Biaya Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Skala Residensial Berbasis Lokasi dan Konstruksi Bangunan," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018
- [4] E. Handoyo, "The optimal tilt angle of a solar collector", International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, 2012
- [5] IEA, Thailand Renewable Grid Integration Assessment, IEA, Oct-2018
- [6] G. M. Masters, "Renewable and Efficient Electric Power Systems," hlm. 676.
- [7] S. Nag, "A Comparative-Techno Economic Feasibility Study between Roof-Top and Building Integrated Photovoltaic Technology for Development of Green Campus", IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), 2016.

- [8] D. M. Kharseh, "Solar Radiation Calculation," hlm. 49
- [9] X. Zhang, B. Jiang, X. Zhang, F. Fang, Z. Gao, dan T. Feng, "Solar photovoltaic power prediction based on similar day approach," 2017, hlm. 10634–10639.
- [10] IRENA, "technologies cost analysis solar photovoltaic." IRENA, Jun-2012
- [11] PWC, "Power in Indonesia, Investment and Taxation Guide, 6E." PWC, Nov-2018
- [12] N. Benti, " Feasibility Study of Solar Photovoltaic (PV) Energy Systems for Rural Villages of Ethiopian Somali Region", American Journal of Science, Engineering and Technology, 2016

LAMPIRAN

1. Invoice pembayaran listrik dari kampus ITS ke PLN

	PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUTUSI JAWA TIMUR AREA SURABAYA SELATAN RAYON NGAGEL	INFORMASI TAGIHAN LISTRIK PT PLN (Persero) Kantor Pusat Jl Tunjoojo Blok M I / 135, Melawai Kebayoran Baru - Jakarta Selatan NPWP : 01.001.629.3-051.000				
Kepada Yth INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH JL KPS ITS KPT AR HKM 0 RW. 0 KEPUTIH NPWP : 00.000.000.0-000.000 No Invoice : 511422914429-0618	Id Pelanggan : 511422914429 Rekening Bulan : 06-2018 Tarif / Daya : S3 / 2,180,000 VA Tarif / Daya Lama : / 0 VA FKM kWh/kVarh/FRT : 3,000 / 3,000 / 1 FKM kWh/kVarh/FRT LM : 3,000 / 3,000 / 1 Jam Nyala / Fak K : 196					
Catatan Meter	Tanggal	LWBP	WBP	TOTAL	KVARH	
St Akhir	01-06-2018	1,244,240	179,590	434,800		
St Awal	01-05-2018	1,119,410	161,690	395,930		
Selish Stand (st akhir - st awal) * FKM * FRT		374,490.000	53,700.000	116,610.000		
Pemakaian kWh Total		374,490.000	53,700.000	428,190.000	116,610.000	
I Penyerahan Listrik						
1. Pendapatan Biaya Beban				Rp	0	
2. Pendapatan Biaya Pemakaian				Rp	334,454,400	
LWBP		WBP		kVarh		
Pemek kWh	Biaya Pemek	Sub Total	Pemek kWh	Biaya Pemek	Sub Total	
A	374,490	735	275,250,150	53,700	1,102,50	
B						
C						
D						
3. Rupiah PTL Bruto (1+2)				Rp	334,454,400	
4. Rupiah Kompensasi TMP				Rp	0	
5. Jumlah PTL Netto (3-4)				Rp	334,454,400	
6. Jumlah Rupiah Pemakaian Tenaga Listrik (PTL) yang ditagihkan				Rp	334,454,400	
7. Tagihan Lainnya				Rp	0	
8. Jumlah Rupiah Pemakaian Tenaga Listrik (PTL) (6+7)				Rp	334,454,400	
9. PPN				Rp	33,445,440	
Total Penyerahan Listrik				Rp	334,454,400	
PPN DIBEBASKAN SESUAI PP NOMOR 81 TAHUN 2015						
II Pajak Penerangan Jalan (PEMDA) (...% X PTL Netto)				Rp	0	
PTL (%) x 334,454,400				Rp	0	
III Penyerahan Non Listrik						
1. Sewa Trafo / Pemakaian Trafo / Sewa Kapasitor, dll				Rp	0	
2. PPN				Rp	0	
Total Penyerahan Non Listrik				Rp	0	
IV Jumlah Tagihan (I + II + III)				Rp	334,454,400	
TERBILANG						
Tiga Ratus Tiga Puluh Empat Juta Empat Ratus Lima Puluh Empat Ribu Empat Ratus Rupiah						
Batas Akhir Masa Bayar 22 Juni 2018 Status : BELUM LUNAS (11) Tanggal Bayar : // Biaya Keterlambatan (BK) : Rp. 0 Tagihan belum termasuk Bea Meterai sebesar Rp. 6.000						
				SURABAYA, 07-06-2018		
				MANAJER		
Keterangan : A = Tarif/Daya Baru TTL Baru B = Tarif/Daya Lama TTL Baru C = Tarif/Daya Baru TTL Lama D = Tarif/Daya Lama TTL Lama				NOVITA SARI HANDAYAN		

1. Informasi Tagihan Listrik ini berlaku sebagai dokumen tertentu yang kedudukannya dipersamakan dengan Faktur Pajak sesuai dengan Peraturan Direktur Jenderal Pajak No. PER-10/PJ/2010 sebagaimana telah diubah terakhir dengan Peraturan Direktur Jenderal Pajak No. PER-33/PJ/2014.

2. Tabel Bangunan Kampus ITS

Nama Bangunan	Keterangan	Arah hadap 1	Arah hadap 2	Luas 1 sisi atap (m2)	Kemiringan
TL	T. Lingkungan	90	270	330.5934	35
L	T. Lingkungan	90	270	342.9754	35
H	T. Sipil	0	180	169.2368	35
I	T. Sipil	0	180	127.1126	35
J	T. Sipil	0	180	158.0899	35
A	T. Sipil	0	180	260.3835	35
B	T. Sipil	90	270	83.86848	35
C	T. Sipil	0	180	221.2874	35
E	T. Sipil	90	270	238.3776	35
F	Arsitektur	90	270	212.0375	35
G	Arsitektur	0	180	154.9206	35
K	Arsitektur	45	225	80.35507	35
BAAK	BAAK-1	45	225	260.5535	35
BAAK	BAAK-2	45	225	191.7098	35
BAUK	BAUK-1	135	315	245.1736	35
BAUK	BAUK-2	45	225	197.4008	35
S	UPM Soshum-1	134	314	106.2472	35
S	UPM Soshum-2	45	225	147.4337	35
P	T. Fisika	90	270	283.2973	35
C1	T. Fisika	0	180	113.7525	35
C2	T. Mesin	0	180	286.0816	35

Nama Bangunan	Keterangan	Arah hadap 1	Arah hadap 2	Luas 1 sisi atap (m2)	Kemiringan
C3	T. Elektro	0	180	229.9515	35
C3-2	T. Elektro	0	180	122.2046	35
J	Kimia	0	180	254.7223	35
K	Kimia	90	270	352.0744	35
G	Fisika	90	270	276.9064	35
F	Matematika	0	180	120.9291	35
T	Statistika	0	180	281.0006	35
U	Statistika	90	270	196.9851	35
H-1	Biologi	8	188	253.4462	35
H-2	Biologi	9	189	237.1206	35
B	T. Elektro	90	270	219.5612	35
AJ	T. Elektro	90	270	219.5612	35
D	T. Mesin	90	270	296.2313	35
E	T. Fisika	90	270	310.0683	35
Teknik Industri-1	T. Industri	90	270	503.5971	35
Teknik Industri-2	T. Industri	0	180	176.3446	35
Material-1	T. Material	90	270	420.7945	35
Material-2	T. Material	0	180	272.7793	35
O	T. Kimia	0	180	363.416	35
N-1	T. Kimia	90	270	277.4358	35
N-2	T. Kimia	0	180	114.4423	35
N-3	T. Kimia	90	270	157.0841	35

Nama Bangunan	Keterangan	Arah hadap 1	Arah hadap 2	Luas 1 sisi atap (m2)	Kemiringan
B (FTK)	T. Perkapalan	0	180	340.9346	35
A-B(FTK)		0	180	283.2846	35
A (FTK)	T. Kelautan	90	270	395.5688	35
AW	T. Transportasi Laut	90	270	206.6205	35
W	T. Perkapalan	90	270	278.4088	35
F (FTK)	T. Kelautan	90	270	190.3989	35
Geomatika	T. Geomatika	90	270	216.8759	35
Geomatika-2	T. Geomatika	0	180	184.0495	35
Planologi	PWK	90	270	176.4364	35
Planologi-2	PWK	0	180	147.4536	35
T. Informatika-1	T. Informatika	90	270	305.6683	35
T. Informatika-2	T. Informatika	0	180	305.6683	35
T. Informatika-3	T. Informatika	90	270	215.2605	35
R	Desain	0	180	167.0643	35
R-2	Desain	90	270	232.4837	35

3. Tabel Keluaran Daya PLTS *rooftop* Kampus ITS

Nama	Keterangan	PV Output 1 (Kwh)	PV Output 2 (Kwh)	Total PV Output 2 sisi
TL	T. Lingkungan	58,572.39	56,533.92	115,106.31
L	T. Lingkungan	60,766.16	58,651.34	119,417.49
H	T. Sipil	29,867.98	29,869.70	59,737.68
I	T. Sipil	22,433.63	22,434.93	44,868.56
J	T. Sipil	27,900.70	27,902.31	55,803.01
A	T. Sipil	45,954.12	45,956.76	91,910.88
B	T. Sipil	14,859.27	14,342.13	29,201.40
C	T. Sipil	39,054.19	39,056.44	78,110.62
E	T. Sipil	42,234.20	40,764.34	82,998.54
F	Arsitektur	37,567.43	36,259.99	73,827.41
G	Arsitektur	27,341.37	27,342.94	54,684.31
K	Arsitektur	14,231.60	13,918.27	28,149.88
BAAK	BAAK-1	46,146.37	45,130.38	91,276.75
BAAK	BAAK-2	33,953.53	33,205.99	67,159.52
BAUK	BAUK-1	43,420.38	42,465.48	85,885.86
BAUK	BAUK-2	34,961.45	34,191.72	69,153.17
S	UPM Soshum-1	18,816.16	18,393.69	37,209.84
S	UPM Soshum-2	26,111.83	25,536.94	51,648.77
P	T. Fisika	50,192.77	48,445.93	98,638.71
C1	T. Fisika	20,075.75	20,076.91	40,152.66
C2	T. Mesin	50,489.48	50,492.39	100,981.87
C3	T. Elektro	40,583.28	40,585.62	81,168.90
C3-2	T. Elektro	21,567.44	21,568.68	43,136.11
J	Kimia	44,954.98	44,957.57	89,912.56

Nama	Keterangan	PV Output 1 (Kwh)	PV Output 2 (Kwh)	Total PV Output 2 sisi
K	Kimia	62,378.25	60,207.32	122,585.57
G	Fisika	49,060.49	47,353.05	96,413.54
F	Matematika	21,342.33	21,343.56	42,685.90
T	Statistika	49,592.74	49,595.60	99,188.34
U	Statistika	34,900.54	33,685.91	68,586.45
H-1	Biologi	44,808.62	44,632.49	89,441.11
H-2	Biologi	41,930.11	41,744.52	83,674.63
B	T. Elektro	38,900.42	37,546.58	76,447.00
AJ	T. Elektro	38,900.42	37,546.58	76,447.00
D	T. Mesin	52,484.34	50,657.75	103,142.10
E	T. Fisika	54,935.89	53,023.97	107,959.86
Teknik Industri -1	T. Industri	89,224.06	86,118.83	175,342.90
Teknik Industri -2	T. Industri	31,122.40	31,124.20	62,246.60
Material -1	T. Material	74,553.63	71,958.97	146,512.61
Material -2	T. Material	48,141.80	48,144.58	96,286.38
O	T. Kimia	64,137.94	64,141.63	128,279.58
N-1	T. Kimia	49,154.27	47,443.57	96,597.84
N-2	T. Kimia	20,197.49	20,198.66	40,396.15
N-3	T. Kimia	27,831.15	26,862.55	54,693.70
B (FTK)	T. Perkapalan	60,170.27	60,173.74	120,344.01
A (FTK)	T. Kelautan	70,084.30	67,645.19	137,729.49

Nama	Keterangan	PV Output 1 (Kwh)	PV Output 2 (Kwh)	Total PV Output 2 sisi
AW	T. Transportasi Laut	36,607.68	35,333.64	71,941.32
W	T. Perkapalan	49,326.67	47,609.97	96,936.64
F (FTK)	T. Kelautan	33,733.63	32,559.62	66,293.25
Geomatika	T. Geomatika	38,424.66	37,087.38	75,512.04
Geomatika-2	T. Geomatika	32,482.21	32,484.08	64,966.29
Planologi	PWK	31,259.85	30,171.93	61,431.78
Planologi-2	PWK	26,023.54	26,025.04	52,048.58
T.Informatika1	T. Informatika	54,156.32	52,271.54	106,427.86
T.Informatika2	T. Informatika	53,946.26	53,949.37	107,895.62
T.Informatika3	T. Informatika	38,138.46	36,811.14	74,949.60
R	Desain	29,484.55	29,486.25	58,970.80
R-2	Desain	41,189.95	39,756.43	80,946.37

4. Tabel Pendapatan tahunan sistem PLTS *rooftop* ITS

Bangunan	Keterangan	Yearly Income 1	Yearly Income 2
TL	T. Lingkungan	Rp45,741,377	Rp44,149,457
L	T. Lingkungan	Rp47,454,570	Rp45,803,027
H	T. Sipil	Rp23,325,025	Rp23,326,368
I	T. Sipil	Rp17,519,266	Rp17,520,274
J	T. Sipil	Rp21,788,703	Rp21,789,957
A	T. Sipil	Rp35,887,293	Rp35,889,359
B	T. Sipil	Rp11,604,163	Rp11,200,308
C	T. Sipil	Rp30,498,879	Rp30,500,635
E	T. Sipil	Rp32,982,270	Rp31,834,401
F	Arsitektur	Rp29,337,815	Rp28,316,782
G	Arsitektur	Rp21,351,900	Rp21,353,129
K	Arsitektur	Rp11,113,993	Rp10,869,302
BAAK	BAAK-1	Rp36,037,428	Rp35,244,009
BAAK	BAAK-2	Rp26,515,584	Rp25,931,803
BAUK	BAUK-1	Rp33,908,604	Rp33,162,884
BAUK	BAUK-2	Rp27,302,706	Rp26,701,595
S	UPM Soshum-1	Rp14,694,241	Rp14,364,320
S	UPM Soshum-2	Rp20,391,709	Rp19,942,754
P	T. Fisika	Rp39,197,418	Rp37,833,246
C1	T. Fisika	Rp15,677,909	Rp15,678,812
C2	T. Mesin	Rp39,429,130	Rp39,431,400
C3	T. Elektro	Rp31,693,007	Rp31,694,832
C3-2	T. Elektro	Rp16,842,820	Rp16,843,790
J	Kimia	Rp35,107,032	Rp35,109,054
K	Kimia	Rp48,713,513	Rp47,018,156

Bangunan	Keterangan	Yearly Income 1	Yearly Income 2
G	Fisika	Rp38,313,173	Rp36,979,774
F	Matematika	Rp16,667,029	Rp16,667,989
T	Statistika	Rp38,728,833	Rp38,731,062
U	Statistika	Rp27,255,140	Rp26,306,590
H-1	Biologi	Rp34,992,731	Rp34,855,183
H-2	Biologi	Rp32,744,795	Rp32,599,861
B	T. Elektro	Rp30,378,797	Rp29,321,535
AJ	T. Elektro	Rp30,378,797	Rp29,321,535
D	T. Mesin	Rp40,986,992	Rp39,560,538
E	T. Fisika	Rp42,901,493	Rp41,408,409
Teknik Industri-1	T. Industri	Rp69,678,417	Rp67,253,426
Teknik Industri-2	T. Industri	Rp24,304,653	Rp24,306,052
Material-1	T. Material	Rp58,221,728	Rp56,195,460
Material-2	T. Material	Rp37,595,740	Rp37,597,904
O	T. Kimia	Rp50,087,724	Rp50,090,608
N-1	T. Kimia	Rp38,386,410	Rp37,050,463
N-2	T. Kimia	Rp15,772,979	Rp15,773,888
N-3	T. Kimia	Rp21,734,386	Rp20,977,973
B (FTK)	T. Perkapalan	Rp46,989,221	Rp46,991,926
A (FTK)	T. Kelautan	Rp54,731,460	Rp52,826,662
AW	T. Transportasi Laut	Rp28,588,310	Rp27,593,362
W	T. Perkapalan	Rp38,521,046	Rp37,180,413
F (FTK)	T. Kelautan	Rp26,343,861	Rp25,427,025
Geomatika	T. Geomatika	Rp30,007,257	Rp28,962,926
Geomatika-2	T. Geomatika	Rp25,366,577	Rp25,368,038

Bangunan	Keterangan	Yearly Income 1	Yearly Income 2
Planologi	PWK	Rp24,411,992	Rp23,562,391
Planologi-2	PWK	Rp20,322,757	Rp20,323,927
T. Informatika-1	T. Informatika	Rp42,292,703	Rp40,820,807
T. Informatika-2	T. Informatika	Rp42,128,657	Rp42,131,082
T. Informatika-3	T. Informatika	Rp29,783,754	Rp28,747,202
R	Desain	Rp23,025,591	Rp23,026,917
R-2	Desain	Rp32,166,773	Rp31,047,285

5. Tabel analisis biaya pemasangan PLTS *rooftop* Kampus ITS

Nama	Keterangan	Kebutuhan kWp	System Cost 1 sisi atap	Yearly OM Cost
TL	T. Lingkungan	37.96	IDR 757,214,426	IDR 1,682,705
L	T. Lingkungan	39.38	IDR 785,575,145	IDR 1,745,729
H	T. Sipil	19.43	IDR 387,632,023	IDR 861,408
I	T. Sipil	14.59	IDR 291,147,744	IDR 646,997
J	T. Sipil	18.15	IDR 362,100,310	IDR 804,670
A	T. Sipil	29.89	IDR 596,400,809	IDR 1,325,340
B	T. Sipil	9.63	IDR 192,098,304	IDR 426,887
C	T. Sipil	25.41	IDR 506,852,283	IDR 1,126,343
E	T. Sipil	27.37	IDR 545,996,967	IDR 1,213,331
F	Arsitektur	24.34	IDR 485,665,722	IDR 1,079,261
G	Arsitektur	17.79	IDR 354,841,213	IDR 788,539
K	Arsitektur	9.23	IDR 184,050,944	IDR 409,004
BAAK	BAAK-1	29.91	IDR 596,790,224	IDR 1,326,205
BAAK	BAAK-2	22.01	IDR 439,105,738	IDR 975,794
BAUK	BAUK-1	28.15	IDR 561,563,049	IDR 1,247,923
BAUK	BAUK-2	22.66	IDR 452,140,703	IDR 1,004,761
S	UPM Soshum-1	12.20	IDR 243,356,205	IDR 540,794

Nama	Keterangan	Kebutuhan kWp	System Cost 1 sisi atap	Yearly OM Cost
S	UPM Soshum-2	16.93	IDR 337,692,594	IDR 750,431
P	T. Fisika	32.53	IDR 648,884,135	IDR 1,441,970
C1	T. Fisika	13.06	IDR 260,546,756	IDR 578,995
C2	T. Mesin	32.85	IDR 655,261,611	IDR 1,456,142
C3	T. Elektro	26.40	IDR 526,697,161	IDR 1,170,443
C3-2	T. Elektro	14.03	IDR 279,906,081	IDR 622,016
J	Kimia	29.24	IDR 583,433,883	IDR 1,296,525
K	Kimia	40.42	IDR 806,416,016	IDR 1,792,042
G	Fisika	31.79	IDR 634,246,106	IDR 1,409,441
F	Matematika	13.88	IDR 276,984,666	IDR 615,524
T	Statistika	32.26	IDR 643,623,560	IDR 1,430,280
U	Statistika	22.62	IDR 451,188,593	IDR 1,002,645
H-1	Biologi	29.10	IDR 580,511,108	IDR 1,290,030
H-2	Biologi	27.22	IDR 543,117,857	IDR 1,206,933
B	T. Elektro	25.21	IDR 502,898,406	IDR 1,117,556
AJ	T. Elektro	25.21	IDR 502,898,406	IDR 1,117,556
D	T. Mesin	34.01	IDR 678,509,202	IDR 1,507,804

Nama	Keterangan	Kebutuhan kWp	System Cost 1 sisi atap	Yearly OM Cost
E	T. Fisika	35.60	IDR 710,202,346	IDR 1,578,233
Teknik Industri-1	T. Industri	57.82	IDR 1,153,474,418	IDR 2,563,286
Teknik Industri-2	T. Industri	20.25	IDR 403,912,174	IDR 897,586
Material-1	T. Material	48.31	IDR 963,817,457	IDR 2,141,825
Material-2	T. Material	31.32	IDR 624,793,007	IDR 1,388,434
O	T. Kimia	41.72	IDR 832,393,779	IDR 1,849,771
N-1	T. Kimia	31.85	IDR 635,458,501	IDR 1,412,135
N-2	T. Kimia	13.14	IDR 262,126,702	IDR 582,506
N-3	T. Kimia	18.03	IDR 359,796,611	IDR 799,551
B (FTK)	T. Perkapalan	39.14	IDR 780,900,631	IDR 1,735,341
A (FTK)	T. Kelautan	45.42	IDR 906,038,651	IDR 2,013,427
AW	T. Transportasi Laut	23.72	IDR 473,258,225	IDR 1,051,689
W	T. Perkapalan	31.96	IDR 637,687,298	IDR 1,417,088
F (FTK)	T. Kelautan	21.86	IDR 436,103,038	IDR 969,122
Geomatika	T. Geomatika	24.90	IDR 496,747,847	IDR 1,103,888
Geomatika-2	T. Geomatika	21.13	IDR 421,560,000	IDR 936,804
Planologi	PWK	20.26	IDR 404,122,385	IDR 898,053
Planologi-2	PWK	16.93	IDR 337,738,177	IDR 750,532

6. Tabel analisis *simple payback period* PLTS rooftop kampus ITS

Nama Gedung	Keterangan	SPP 1 sisi atap	SPP 1 sisi atap lain	SPP 2 sisi atap
TL	T. Lingkungan	17.2	17.8	17.5
L	T. Lingkungan	17.2	17.8	17.5
H	T. Sipil	17.3	17.3	17.3
I	T. Sipil	17.3	17.3	17.3
J	T. Sipil	17.3	17.3	17.3
A	T. Sipil	17.3	17.3	17.3
B	T. Sipil	17.2	17.8	17.5
C	T. Sipil	17.3	17.3	17.3
E	T. Sipil	17.2	17.8	17.5
F	Arsitektur	17.2	17.8	17.5
G	Arsitektur	17.3	17.3	17.3
K	Arsitektur	17.2	17.6	17.4
BAAK	BAAK-1	17.2	17.6	17.4
BAAK	BAAK-2	17.2	17.6	17.4
BAUK	BAUK-1	17.2	17.6	17.4
BAUK	BAUK-2	17.2	17.6	17.4
S	UPM Soshum-1	17.2	17.6	17.4
S	UPM Soshum-2	17.2	17.6	17.4
P	T. Fisika	17.2	17.8	17.5
C1	T. Fisika	17.3	17.3	17.3
C2	T. Mesin	17.3	17.3	17.3
C3	T. Elektro	17.3	17.3	17.3
C3-2	T. Elektro	17.3	17.3	17.3
J	Kimia	17.3	17.3	17.3
K	Kimia	17.2	17.8	17.5

Nama Gedung	Keterangan	SPP 1 sisi atap	SPP 1 sisi atap lain	SPP 2 sisi atap
G	Fisika	17.2	17.8	17.5
F	Matematika	17.3	17.3	17.3
T	Statistika	17.3	17.3	17.3
U	Statistika	17.2	17.8	17.5
H-1	Biologi	17.2	17.3	17.3
H-2	Biologi	17.2	17.3	17.3
B	T. Elektro	17.2	17.8	17.5
AJ	T. Elektro	17.2	17.8	17.5
D	T. Mesin	17.2	17.8	17.5
E	T. Fisika	17.2	17.8	17.5
Teknik Industri-1	T. Industri	17.2	17.8	17.5
Teknik Industri-2	T. Industri	17.3	17.3	17.3
Material-1	T. Material	17.2	17.8	17.5
Material-2	T. Material	17.3	17.3	17.3
O	T. Kimia	17.3	17.3	17.3
N-1	T. Kimia	17.2	17.8	17.5
N-2	T. Kimia	17.3	17.3	17.3
N-3	T. Kimia	17.2	17.8	17.5
B (FTK)	T. Perkapalan	17.3	17.3	17.3
A (FTK)	T. Kelautan	17.2	17.8	17.5
AW	T. Transportasi Laut	17.2	17.8	17.5
W	T. Perkapalan	17.2	17.8	17.5
F (FTK)	T. Kelautan	17.2	17.8	17.5

7. Tabel analisis *net present value* dan *return on investment* PLTS rooftop ITS

Nama	Keterangan	NPV 20 tahun	ROI 20 tahun
TL	T. Lingkungan	IDR 123,959,004	0.164
L	T. Lingkungan	IDR 128,601,668	0.164
H	T. Sipil	IDR 61,640,325	0.159
I	T. Sipil	IDR 46,297,624	0.159
J	T. Sipil	IDR 57,580,333	0.159
A	T. Sipil	IDR 94,838,243	0.159
B	T. Sipil	IDR 31,447,230	0.164
C	T. Sipil	IDR 80,598,449	0.159
E	T. Sipil	IDR 89,381,800	0.164
F	Arsitektur	IDR 79,505,344	0.164
G	Arsitektur	IDR 56,426,009	0.159
K	Arsitektur	IDR 30,048,850	0.163
BAAK	BAAK-1	IDR 97,434,218	0.163
BAAK	BAAK-2	IDR 71,690,056	0.163
BAUK	BAUK-1	IDR 91,650,590	0.163
BAUK	BAUK-2	IDR 73,818,193	0.163
S	UPM Soshum-1	IDR 39,712,748	0.163

Nama	Keterangan	NPV 20 tahun	ROI 20 tahun
S	UPM Soshum-2	IDR 55,132,964	0.163
P	T. Fisika	IDR 106,224,825	0.164
C1	T. Fisika	IDR 41,431,527	0.159
C2	T. Mesin	IDR 104,198,148	0.159
C3	T. Elektro	IDR 83,754,134	0.159
C3-2	T. Elektro	IDR 44,510,001	0.159
J	Kimia	IDR 92,776,273	0.159
K	Kimia	IDR 132,013,399	0.164
G	Fisika	IDR 103,828,523	0.164
F	Matematika	IDR 44,045,445	0.159
T	Statistika	IDR 102,347,493	0.159
U	Statistika	IDR 73,861,306	0.164
H-1	Biologi	IDR 93,542,923	0.161
H-2	Biologi	IDR 87,639,386	0.161
B	T. Elektro	IDR 82,326,400	0.164
AJ	T. Elektro	IDR 82,326,400	0.164
D	T. Mesin	IDR 111,074,562	0.164

Nama	Keterangan	NPV 20 tahun	ROI 20 tahun
E	T. Fisika	IDR 116,262,852	0.164
Teknik Industri-1	T. Industri	IDR 188,828,192	0.164
Teknik Industri-2	T. Industri	IDR 64,229,156	0.159
Material-1	T. Material	IDR 157,780,619	0.164
Material-2	T. Material	IDR 99,353,103	0.159
O	T. Kimia	IDR 132,365,286	0.159
N-1	T. Kimia	IDR 104,026,997	0.164
N-2	T. Kimia	IDR 41,682,767	0.159
N-3	T. Kimia	IDR 58,900,087	0.164
B (FTK)	T. Perkapalan	IDR 124,176,967	0.159
A-B(FTK)		IDR 103,179,395	0.159
A (FTK)	T. Kelautan	IDR 148,322,007	0.164
AW	T. Transportasi Laut	IDR 77,474,189	0.164
W	T. Perkapalan	IDR 104,391,860	0.164
F (FTK)	T. Kelautan	IDR 71,391,742	0.164
Geomatika	T. Geomatika	IDR 81,319,530	0.164
Geomatika-2	T. Geomatika	IDR 67,035,472	0.159
Planologi	PWK	IDR 66,156,386	0.164

8. Tabel hasil *payback analysis* pemasangan PLTS *rooftop* kampus ITS

Nama	Keterangan	Payback Analysis selama 20 tahun
TL	T. Lingkungan	IDR 133,380,718
L	T. Lingkungan	IDR 138,376,236
H	T. Sipil	IDR 65,994,165
I	T. Sipil	IDR 49,567,763
J	T. Sipil	IDR 61,647,403
A	T. Sipil	IDR 101,536,949
B	T. Sipil	IDR 33,837,425
C	T. Sipil	IDR 86,291,356
E	T. Sipil	IDR 96,175,402
F	Arsitektur	IDR 85,548,270
G	Arsitektur	IDR 60,411,545
K	Arsitektur	IDR 32,316,461
BAAK	BAAK-1	IDR 104,787,008
BAAK	BAAK-2	IDR 77,100,084
BAUK	BAUK-1	IDR 98,560,404
BAUK	BAUK-2	IDR 79,388,819
S	UPM Soshum-1	IDR 42,705,903
S	UPM Soshum-2	IDR 59,293,526
P	T. Fisika	IDR 114,298,607
C1	T. Fisika	IDR 44,357,959
C2	T. Mesin	IDR 111,557,973
C3	T. Elektro	IDR 89,669,937
C3-2	T. Elektro	IDR 47,653,875
J	Kimia	IDR 99,329,337
K	Kimia	IDR 142,047,281

Nama	Keterangan	Payback Analysis selama 20 tahun
G	Fisika	IDR 111,720,170
F	Matematika	IDR 47,156,506
T	Statistika	IDR 109,576,600
U	Statistika	IDR 79,475,248
H-1	Biologi	IDR 100,353,176
H-2	Biologi	IDR 94,044,775
B	T. Elektro	IDR 88,583,745
AJ	T. Elektro	IDR 88,583,745
D	T. Mesin	IDR 119,516,955
E	T. Fisika	IDR 125,099,589
Teknik Industri-1	T. Industri	IDR 203,180,370
Teknik Industri-2	T. Industri	IDR 68,765,852
Material-1	T. Material	IDR 169,772,978
Material-2	T. Material	IDR 106,370,707
O	T. Kimia	IDR 141,714,639
N-1	T. Kimia	IDR 111,933,729
N-2	T. Kimia	IDR 44,626,944
N-3	T. Kimia	IDR 63,376,879
B (FTK)	T. Perkapalan	IDR 132,947,955
A (FTK)	T. Kelautan	IDR 159,595,450
AW	T. Transportasi Laut	IDR 83,362,734
W	T. Perkapalan	IDR 112,326,324
F (FTK)	T. Kelautan	IDR 76,817,982
Geomatika	T. Geomatika	IDR 87,500,347
Geomatika-2	T. Geomatika	IDR 71,770,386
Planologi	PWK	IDR 71,184,705

BIODATA PENULIS



Penulis buku Tugas Akhir dengan judul **“Studi Kelayakan Pemasangan *Photovoltaic* pada Gedung di Institut Teknologi Sepuluh Nopember berdasarkan data *Clear Sky Irradiance*”** bernama lengkap Khataman Insan Putra Dharmawan. Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 15 Desember 1996. Penulis telah menempuh pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 4 Surabaya. Kemudian melanjutkan di SMPN 6 Surabaya dan SMAN 5 Surabaya sampai tahun 2015. Dan penulis melanjutkan ke pendidikan tingkat tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Departemen Teknik Elektro. Selama masa perkuliahan penulis aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa dan juga BEM Fakultas serta staff event ITS EXPO, selain itu penulis juga aktif pada kegiatan LKMM dan kepanduan ITS, serta menjadi asisten laboratorium Konversi Energi Departemen Teknik Elektro ITS. Pada masa akhir perkuliahan, penulis juga aktif berkontribusi dalam Paguyuban Cak Ning Surabaya sebagai Cak Surabaya 2019.