

STUDI KONSERVASI ENERGI DENGAN BIPV (*BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC*)

PADA BANGUNAN PERPUSTAKAAN

UNIVERSITAS SURABAYA

Okky Andriansyah¹, Eliser Tarigan²

Electrical Engineering Dept. Universitas Surabaya, Raya Kalirungkut Surabaya,

¹okiandrian21@gmail.com, ²elieser@staff.ubaya.ac.id

Abstrak - Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari potensi aplikasi *building integrated photovoltaic* pada atap perpustakaan Universitas Surabaya di Surabaya, Indonesia. Sebelum mewujudkan BIPV yang sebenarnya, dibutuhkan studi konservasi energi terlebih dahulu dengan cara melakukan simulasi menggunakan *software*. Studi konservasi energi dilakukan dengan cara mencari potensi energi matahari di lingkungan Universitas Surabaya, kebutuhan listrik di perpustakaan Universitas Surabaya dan energi yang dihasilkan pada sistem *building integrated photovoltaic*. Mencari potensi energi matahari dilakukan dengan cara pengukuran radiasi matahari secara langsung dan simulasi. Kebutuhan listrik di perpustakaan Universitas Surabaya akan dilakukan secara pendataan alat-alat listrik yang ada di perpustakaan. *Software* yang dipakai untuk membuat sistem *building integrated photovoltaic* adalah *SketchUp* dan *skelion*. Penelitian ini juga melakukan analisa ekonomi pada penggunaan *building integrated photovoltaic* pada atap perpustakaan Universitas Surabaya serta reduksi karbon (CO₂). Simpulan pada pengerjaan penelitian ini bahwa penggunaan sistem BIPV pada atap perpustakaan Universitas Surabaya bisa memenuhi kebutuhan energi listrik tanpa *air conditioner* di perpustakaan Universitas Surabaya dan investasi awal yang diperlukan untuk melakukan sistem BIPV ini sebesar Rp 1.944.992.700,-

Kata kunci: Energi surya, *photovoltaic*, *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV), perpustakaan Universitas Surabaya, *skelion*

I. PENDAHULUAN

Pemakaian energi fosil semakin lama semakin meningkat menyebabkan cadangan energi fosil seperti minyak, batubara dan gas alam semakin menipis. Keterbatasan sumber dan cadangan energi fosil di bumi ini membuat kekhawatiran tidak bisa mendapatkan sumber energi serta menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Akibat keterbatasan energi fosil tersebut dibutuhkan energi alternatif untuk mengganti pemakaian energi fosil. Salah satu energi alternatif yang bisa digunakan yaitu energi surya yang bersifat kontinu dan ramah lingkungan.

Energi surya merupakan energi terbarukan yang tersedia melimpah yang dapat dikonversikan menjadi listrik melalui *photovoltaic* (PV). Salah satu kebutuhan energi yang perlu dicari solusinya adalah energi listrik pada sektor bangunan, yang mana dapat menggunakan melalui penerapan *building integrated photovoltaic* (BIPV).

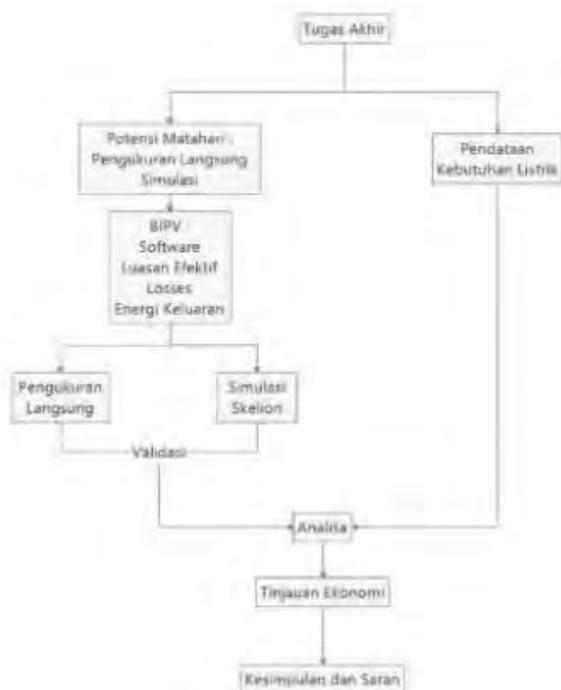
Penerapan sistem *building integrated photovoltaic* (BIPV) tumbuh semakin pesat, dan instalasi *building integrated photovoltaic* (BIPV) pada bangunan industri dan institusi semakin berkembang. Universitas Surabaya (UBAYA) sebagai salah satu institusi pendidikan, sudah seharusnya menjadi inisiator dalam penggunaan *building integrated photovoltaic* (BIPV) di Indonesia. Sebelum menerapkan sistem *building integrated photovoltaic* (BIPV), perlu diadakan studi menunjang keberhasilan sistem. Studi diperlukan berupa studi kebutuhan energi, studi pola pemakaian listrik, studi potensi energi surya, studi komponen dan instalasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebelum melakukan instalasi yang sebenarnya perlu dilakukan perencanaan melalui simulasi.

Penelitian ini dipilih perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA) sebagai simulasi sistem *building integrated photovoltaic* (BIPV). Perpustakaan Universitas Surabaya dipilih karena perpustakaan merupakan pusat aktivitas mahasiswa dan Universitas Surabaya (UBAYA) memperhatikan aspek-aspek lingkungan.

II. METEDOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini membahas cara pengambilan data pada penggunaan sistem *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV). Metodologi yang dibutuhkan pada *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) adalah pengambilan data daya yang dibutuhkan di gedung perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA), langkah-langkah pengambilan data cuaca dan radiasi matahari, perekaman data tegangan dan arus pada panel surya, cara menggambar gedung perpustakaan Universitas Surabaya dengan menggunakan *SketchUp*, meletakkan *Photovoltaic* dengan *skelion*, analisa data dan aspek ekonomi.

Gambar 1 menunjukkan *flowchart* pengerjaan penelitian ini.



Gambar 1. Flowchart Pengerjaan Penelitian

1. Pengambilan Data Daya yang Dibutuhkan di Gedung Perpustakaan Universitas Surabaya
 Pengambilan kebutuhan daya yang dibutuhkan di gedung perpustakaan UBAYA dilakukan dengan cara survei jumlah beban yang ada di gedung perpustakaan tersebut. Batasan masalah pada pengerjaan penelitian ini hanya menghitung jumlah beban pada lampu, *air conditioner*, komputer dan peralatan listrik lainnya yang bersifat menetap.

2. Pengambilan Data Radiasi Matahari
 Pengambilan data radiasi matahari akan dilakukan secara 2 metode yaitu metode pengukuran langsung dan metode simulasi. Metode pengukuran langsung akan menggunakan alat *vantage pro2* yang alat tersebut bisa merekam data secara terus menerus dan metode simulasi akan menggunakan *software skelion*.

2.1 Pengambilan Data Radiasi Matahari Berdasarkan Pengukuran Langsung

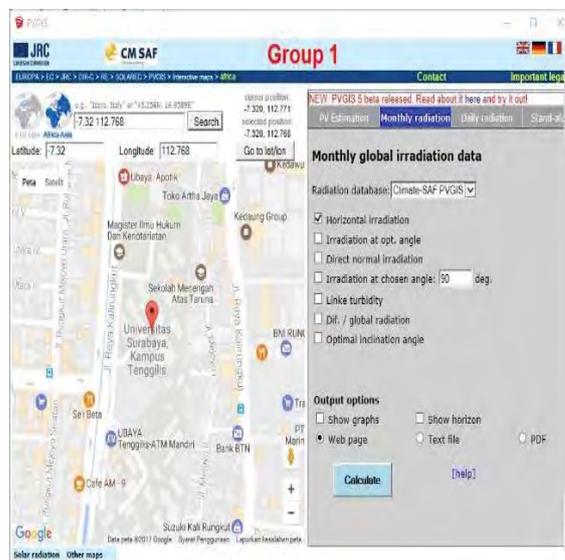
Pengambilan data radiasi matahari dengan pengukuran langsung yang menggunakan *vantage pro2*. Alat tersebut berada di Pusat Studi Energi Terbarukan (PSET) Universitas Surabaya. *Vantage pro2* mempunyai komponen penting yaitu *The integrated sensor suite (ISS)*. Komponen tersebut memiliki banyak sensor yang salah satunya sensor *pyranometer* yang berfungsi untuk mengetahui nilai solar radiasi di tempat tertentu. Data dari seluruh sensor tersebut akan di kirim ke *console* melalui *wireless*.

Data tersebut akan di rekam secara terus-menerus setiap menitnya. Data yang telah direkam bisa di lihat dengan *software weather link* yang berada di PSET. Penelitian ini mengambil data pada tanggal 1 januari 2015 hingga 31 desember 2015. Olah data tersebut, jika nilai solar radiasi di bawah 50 selama matahari terbit, hapus nilai tersebut karena nilai dibawah 50 tidak efektif bagi panel surya. Setelah itu lakukan perhitungan nilai rata-rata yang dihasilkan selama 1 bulan [18].

2.2 Pengambilan Data Radiasi Matahari Berdasarkan Simulasi

Pengambilan data radiasi matahari berdasarkan simulasi dilakukan dengan *software skelion*. Pada *SketchUp*, atur letak geografis Universitas Surabaya terlebih dahulu dengan cara pilih menu *window – model info – geo location* lalu klik *set manual location*. Universitas Surabaya berada di *latitude: -7.320* dan *longitude: 112.768*, masukan nilai *latitude* dan *longitude* tersebut di *geo-location*.

Setelah pengaturan letak geografis klik *PVGIS Africa* pada *toolbar skelion*. Tulis Universitas Surabaya Tenggara pada kolom tempat lalu klik *search* atau isi nilai *latitude* dan *longitude* secara manual lalu klik *Go to lat/lon*. Perhatikan gambar 2 untuk melihat secara lebih *detail*. Pilih menu *monthly radiation* lalu centang *horizontal irradiation* lalu klik *calculate* untuk mengetahui nilai solar radiasi perhari pada masing-masing bulan tiap tahunnya [17].



Gambar 2. Simulasi PVGIS Untuk Mengetahui Solar Radiasi

3. Menggambar Gedung Perpustakaan Universitas Surabaya dengan Menggunakan *SketchUp*

Ada banyak *software* yang biasa digunakan untuk membuat model 3D, salah satu model *software* tersebut adalah *SketchUp*. *SketchUp* adalah *software* desain grafis dan 3 dimensi yang dikembangkan oleh *trimble*. Kelebihan *software* ini yaitu mudah digunakan oleh semua orang terutama bagi pemula, banyak *open source* dan *plugin* yang mendukung kinerja, *interface* yang bagus serta menarik.

3.1 Menggambar Bangunan Perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA)

Langkah awal dalam menggambar yaitu harus mengetahui ukuran objek yang akan kita gambar. Pada penelitian ini objek yang akan digambar yaitu perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA). Pengukuran tersebut bisa dilakukan secara manual atau menggunakan *google earth*. Pada pengukuran menggunakan *google earth*, ketik “Universitas Surabaya (UBAYA), Jalan Raya Kalirungkut, Kali Rungkut, Kota Surabaya, Jawa Timur” pada menu cari lalu klik *search*. Setelah mendapatkan lokasinya, ambil objek gedung perpustakaan lalu ukur panjang dan lebar pada bangunan tersebut dengan menggunakan *tool* penggaris.

Setelah mengetahui ukuran panjang dan lebar pada bangunan, langsunglah memulai menggambar bangunan tersebut dengan bentuk yang sesuai pada pada bangunan. Pilih *tools line* untuk menggambar bangunan perpustakaan sesuai bentuknya. Tarik pensil tersebut hingga membentuk garis lurus sesuai ukuran yang telah diukur.

Setelah menggambar bentuk awal tersebut, gambar juga gapura depan perpustakaan. Ketika sudah menggambar gapura depan, tinggikan bangunan itu dengan cara pilih *tool push/pull* untuk mendorong layer tersebut ke atas sampe ketinggian yang telah diukur. Buatlah beranda di setiap sisi gedung dengan menggunakan *tool* yang sama sesuai ukuran dan bentuk yang sama pada bangunan perpustakaan yang sebenarnya.

Gambar jendela pada sisi kanan dan kiri pada gedung serta gambar pillar-pillar penyangga pada bangunan perpustakaan. Gambarkan juga tanggantangga yang ada pada gedung perpustakaan dengan posisi yang sesuai. Berikan tulisan “PERPUSTAKAAN” di gapura depan perpustakaan dan disebelah kiri atas perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA) dengan cara klik *tool 3D text* serta berikan font yang sesuai [20]. Gambar 3 adalah hasil gambar bangunan perpustakaan Universitas Surabaya.



Gambar 3. Gambar Bangunan Perpustakaan Universitas Surabaya Tanpa Atap

3.2 Menggambar Atap Perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA)

Bagian depan bangunan perpustakaan mempunyai 3 permukaan yaitu bagian depan, kanan dan kiri. Pada bagian depan mempunyai bentuk segitiga dengan alas sebesar 21,4 meter dan panjang kemiringan 15,54 meter. Pada bagian kanan dan kiri mempunyai bentuk trapesium siku-siku dengan panjang rusuk 20 meter dan 8,96 meter serta panjang kemiringan 15,54 meter.

Bagian tengah bangunan perpustakaan mempunyai 2 permukaan yaitu bagian kanan dan kiri. Sebelum membuat permukaan atap, khusus pada bagian tengah harus membuat pondasi terlebih dahulu dengan ukuran yang sebenarnya. Jika pondasi telah selesai digambar, lanjutlah gambar atap dengan sudut kemiringan 29,6° dan panjang rusuk 9 meter.

Bagian belakang bangunan perpustakaan mempunyai 4 permukaan yaitu bagian depan, belakang, kanan dan kiri. Bagian depan dan belakang mempunyai bentuk yang sama, begitu pula dengan bagian kanan dan kiri. Pada bagian depan dan belakang mempunyai panjang rusuk 45,4 meter dan lebar rusuk 21,3 meter pada bagian kanan dan kiri serta mempunyai panjang rusuk kemiringan 8,96 meter dengan sudut 31,9°.

Setelah menjadi atap bagian belakang bangunan perpustakaan berikan warna dengan klik *paint bucket tool* dan pilih *menu roofing* lalu pilih *roofing scalloped omate* yang mendekati warna sesungguhnya pada atap perpustakaan UBAYA. Gambar 4 adalah hasil gambar atap perpustakaan Universitas Surabaya.

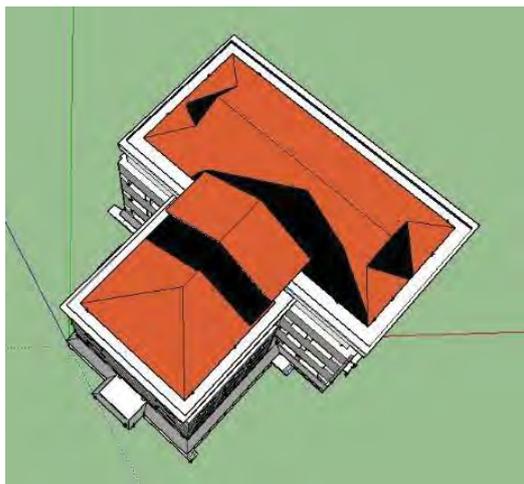


Gambar 4. Gambar Perpustakaan Universitas Surabaya Dengan Atap

4. Mengidentifikasi Luasan Efektif Pada Atap Perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA)

Luasan atap perpustakaan Universitas Surabaya mempunyai daerah luasan yang tidak efektif jika diletakkan panel surya, sehingga mempengaruhi arus pada seluruh panel surya. Oleh sebab itu, harus melakukan identifikasi luasan efektif pada atap perpustakaan. Pada *toolbar SketchUp* memiliki *tool shadow* untuk memberikan bayangan sesuai waktu dan tanggal yang kita *input*. Waktu efektif matahari mulai pukul 09.00 sampai dengan 16.00 WIB.

Waktu efektif matahari mulai pukul 09.00 sampai dengan 16.00 WIB Sehingga, cara melakukannya dengan *scroll* waktu dari pukul 09.00 hingga 16.00 dan gambar batas area yang terkena bayangan dan tidak terkena bayangan. *Scroll* pada tanggal dan bulan juga untuk mengidentifikasi bayangan pada setiap bulan. Setelah itu, gambar kembali batas area yang terkena bayangan dan tidak terkena bayangan. Berikut hasil gambar luasan efektif yang telah diidentifikasi. Warna hitam menunjukkan daerah yang tidak efektif karena terkena bayangan.



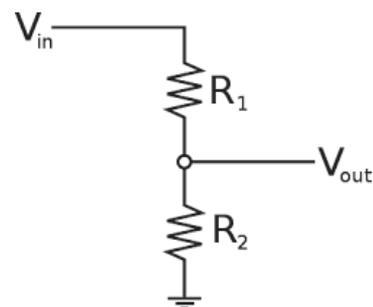
Gambar 5. Luasan Atap Perpustakaan Efektif Dan Tidak Efektif

5. Perekaman Data Tegangan dan Arus pada Panel Surya

Untuk mengetahui data tegangan dan arus pada *photovoltaic* dilakukan dengan cara pengukuran yang bersifat merekam data dengan menggunakan *microcontroller*. Pengukuran data dilakukan secara *real time* dan akan di letakkan diatas gedung FF fakultas farmasi Universitas Surabaya (UBAYA) bersebelahan dengan modul *weather station*. *Microcontroller* yang digunakan yaitu Arduino Uno ATMEGA 328 [2,3] untuk mengkontrol semua modul yang akan dipakai sehingga bisa merekam data tegangan dan arus pada panel surya secara *real time*. Jarak pengukuran diatas gedung FF dengan perpustakaan kurang dari radius 10km sehingga perngukuran bisa dinyatakan valid [16]. Panel surya yang akan direkam menggunakan panel surya 30WP.

5.1 Pengambilan Data Tegangan

Tegangan panel surya disimpan melalui sd *card* yang akan dikontrol oleh arduino uno. Sel surya 30wp memiliki *input* tegangan maksimum sebesar 21.5V, sedangkan arduino hanya bisa membaca tegangan maksimum sebesar 5V. Oleh sebab itu, dilakukan pembagi tegangan antara input panel surya dengan arduino. Rangkaian pembagi tegangan bisa di lihat pada gambar 6



Gambar 6. Rangkaian Pembagi Tegangan

Pada rangkaian diatas bahwa V_{in} merupakan tegangan dari panel surya dan V_{out} akan menuju ke pin analog dari arduino. Rumus dari pembagi tegangan tersebut adalah

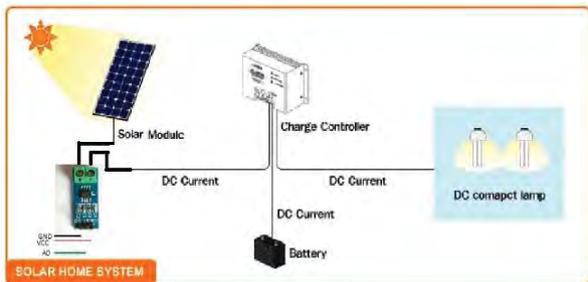
V_2 adalah V_{out} yang di inginkan yaitu 5V yang akan menuju ke arduino. V_{in} adalah *input* pada panel surya yang memiliki tegangan maksimum sebesar 21.5V. Apabila nilai V_{out} dan V_{in} telah diketahui maka carilah nilai R_1 dan R_2 , pada penelitian ini pemberian nilai R_2 sebesar 1000 Ω . Maka, kita bisa mencari nilai R_1 dengan rumus diatas :

$$\begin{aligned} V_2 &= R_2 * V_{in} / R_1 + R_2 \\ 5 &= 1000 * 21.5 / R_1 + 1000 \\ 5 &= 21500 / R_1 + 1000 \\ R_1 + 1000 &= 4300 \\ R_1 &= 4300 - 1000 \\ R_1 &= 3300 \Omega \end{aligned}$$

5.2 Pengambilan Data Arus

Pengambilan data arus pada panel surya menggunakan modul ACS712 yang *output* nya akan di baca dan direkam melalui arduino. Modul tersebut akan dipasang seri pada input panel surya. *Output data* pada modul ACS akan dihubungkan ke salah satu pin analog yang ada pada arduino. Modul ACS712 yang digunakan hanya mampu membaca arus maksimal 5A. *Schematic* pengambilan data arus pada panel surya bisa di lihat pada gambar 7.

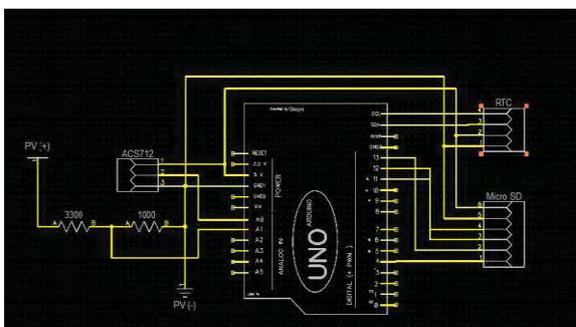
Sensitifitas pada modul ACS712 yaitu 185mV/A yang artinya jika arus lewat sebesar 1A sama dengan 185mV[4]. Arduino memiliki tegangan *input* maksimal 5V atau nilainya sama dengan 1024 untuk membaca nilai analog. Sehingga nilai 1V sama dengan 204,8 bahwa nilai arus pada 1A adalah 204,8 x 0,185A yaitu 37,88. Nilai pada posisi tanpa beban pada arduino yaitu 500. Jika di *monitoring* arduino mengeluarkan nilai 538 berarti arus yang mengalir sebesar $\pm 1A$. Untuk mengkonversikan nilai arus yang sesungguhnya bahwa nilai input analog (A0) dikurangi 500. Hasil tersebut dibagi dengan 37,88 maka di *monitoring* arduino akan mengeluarkan nilai arus yang sebenarnya.



Gambar 7. Schematic Pengukuran Arus

5.3 Penyimpanan Data

Penyimpanan data yang dilakukan adalah penyimpanan nilai tegangan dan arus pada solar cell yang akan disimpan ke *micro sd* [6] dengan menggunakan modul *real time clock* [5] untuk mengetahui waktu secara nyata. Berikut rangkaian *schematic* pada penyimpanan data.



Gambar 8. Rangkaian *schematic* penyimpanan data tegangan dan arus dengan modul *real time clock* yang akan disimpan ke *micro sd*

6. Simulasi *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) dengan *Software* Skelion

Skelion dirancang untuk membuat bisa bekerja di aplikasi SketchUp yang sedikit lebih mudah bagi para profesional energi surya. Fitur ini memiliki kemampuan secara otomatis memasukkan panel surya pada permukaan SketchUp. Skelion memiliki fitur-fitur untuk mengetahui daya yang dihasilkan, *losses*, *shading*, *optimum orientation* dan fitur yang terkoneksi dengan *software* lainnya seperti PVGIS, PVWatt dan PVSYST [9]. Pada pengerjaan penelitian ini akan memasang panel surya pada atap perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA). Perhatikan tabel 1 untuk mengetahui luas dan orientasi pada bangunan perpustakaan UBAYA.

Tabel 1. Luasan Atap dan Orientasi

Permukaan	Luas Atap	Orientasi
Atap Belakang Belakang	463,45 m ²	Timur Laut
Atap Belakang Depan	463,45 m ²	Barat Daya
Atap Belakang Kanan	113,8 m ²	Tenggara
Atap Belakang Kiri	113,8 m ²	Barat Laut
Atap Depan Depan	134,89 m ²	Barat Daya
Atap Depan Kanan	178,25 m ²	Tenggara
Atap Depan Kiri	178,25 m ²	Barat Laut
Atap Tengah Kanan	109,85 m ²	Tenggara
Atap Tengah Kiri	109,85 m ²	Barat Laut

6.1 Langkah-langkah Menggunakan *Software* Skelion

Setelah melakukan penggambaran seluruh bangunan perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA) pilih lokasi terlebih dahulu. Pilih menu *window – model info – geo location* lalu klik *set manual location*. Universitas Surabaya berada di *latitude*: - 7.320 dan *longitude*: 112.768, masukan nilai *latitude* dan *longitude* tersebut di *geo-location* dan lakukan pengaturan meteorological dengan cara klik *meteorological data* pada *tool* skelion. Klik *load* pada sumber *closest dataset* untuk mengimpor data meteorological secara otomatis.

Setelah melakukan semua pengaturan diatas, lakukan pemasangan panel surya pada seluruh permukaan atap. Klik *tool insert solar component* untuk mensisipkan panel surya. Terdapat banyak jenis panel surya yang tersimpan di *database* skelion. Pada penelitian ini, memilih panel surya bertipe *GermanSolar: GSP6-200* sebagai panel surya yang akan dipasang di atap.

Setelah melakukan pemasangan panel surya pada seluruh atap bangunan perpustakaan, klik *report* untuk melihat jumlah panel surya beserta daya yang dihasilkan pada masing-masing permukaan [19].

Tabel 2. Hasil *report* Pada Sistem BIPV

Solar panel model	N° P.	P. power(Wp)	Power(kWp)
GermanSolar:GSP6-200	711	200	142,2

Penerimaan data secara lengkap bisa menggunakan aplikasi-aplikasi yang terkoneksi dengan skelion yaitu *PVGIS Europe*, *PVGIS Africa* dan *PVWatt*. Pada penelitian ini menggunakan *PVGIS Africa* yang terkoneksi dengan negara-negara di Asia terutama Indonesia.

III. Analisa Data Dan Pembahasan

Agar dapat mengetahui sistem tersebut bisa digunakan, perlu dilakukan analisa data terlebih dahulu. Berikut data yang akan dianalisa beserta pembahasan :

1. Kebutuhan Listrik yang Dibutuhkan di Gedung Perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA)

Hal pertama kali yang dilakukan untuk melakukan *building integrated photovoltaic* (BIPV) yaitu mengidentifikasi kebutuhan listrik yang digunakan setiap harinya. Kebutuhan listrik yang dibutuhkan di gedung perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA) akan dibagi menjadi 3 pola pemetaan yaitu:

- Berdasarkan lantai
- Berdasarkan jumlah alat listrik
- Berdasarkan pola pemakaian

Setelah melakukan perhitungan berdasarkan 3 pola pemetaan tersebut. Dilakukan penjumlahan total kebutuhan listrik yang dibutuhkan. Tabel 3 merupakan data kebutuhan energi berdasarkan lantai dan tabel 4 merupakan data kebutuhan energi berdasarkan jumlah alat listrik.

Tabel 3. Kebutuhan energi Berdasarkan Lantai

Tingkatan	Energi Stabil (kWh)
Lantai 1	87,297
Lantai 2	72,536
Lantai 3	65,190
Lantai 4	174,767
Lantai 5	655,881

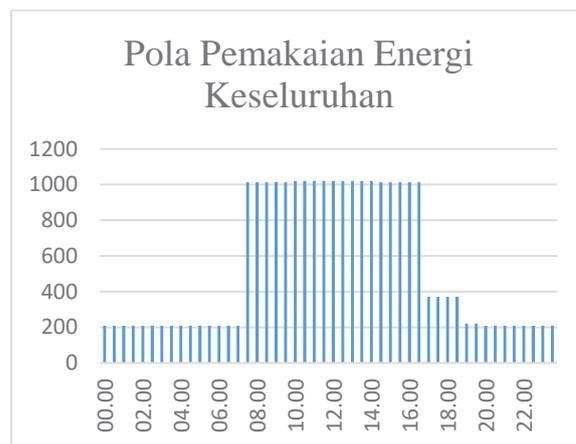
Tabel 4. Kebutuhan Energi Berdasarkan Jenis Alat Listrik

Jenis Beban	Energi (kWh)
Lampu	260,499
Air Conditioner	679,268
Komputer	57,554
Lain-lain	58,352

Berikut total kebutuhan listrik yang diperlukan sesuai kebutuhan yaitu :

- Total kebutuhan seluruh jenis listrik adalah 1055,674 kWh
- Total kebutuhan listrik tanpa *air conditioner* adalah 376,406 kWh.

Berikut pola pemakaian energi keseluruhan di perpustakaan.



Gambar 9. Grafik Pola Pemakaian Energi Keseluruhan

2. Potensi Energi Matahari di Wilayah Universitas Surabaya (UBAYA)

Pengukuran *solar radiation* berada di lokasi Universitas Surabaya (UBAYA) yang memiliki *latitude* : -7.32 dan *longitude* : 112.768. *latitude* adalah garis lintang yang melingkari bumi ditarik dari arah barat hingga ke timur atau sebaliknya yang sejajar dengan equator (garis khatulistiwa), sedangkan *longitude* adalah garis bujur yang ditarik dari kutub utara hingga ke kutub selatan atau sebaliknya.

Potensi energi matahari di wilayah Universitas Surabaya akan dilakukan secara pengukuran langsung dan pengukuran secara simulasi. Pengukuran langsung menggunakan *Vantage Pro2* yang diletakkan di atas gedung FF dan pengukuran simulasi menggunakan *software skelion*. Pengukuran tersebut akan dilakukan perbandingan untuk mengetahui pengesahan antara pengukuran langsung dan pengukuran secara *software*. Berikut data perbandingan antara pengukuran simulasi dan pengukuran langsung.

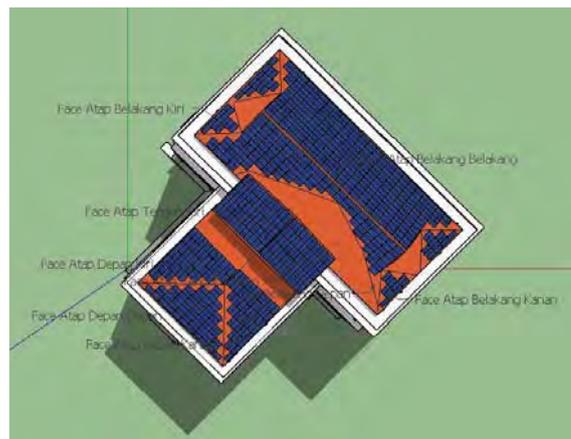
Tabel 5. Perbandingan Solar Radiation Berdasarkan Pengukuran Langsung dan Simulasi

Month	Pengukuran langsung	Simulasi
Januari	4983,841974	5060
Februari	5260,44052	4940
Maret	5447,529574	5240
April	4914,726488	5470
Mei	5917,562075	5150
Juni	5527,869703	5290
July	5394,099397	5700
Agustus	6065,905664	6590
September	6586,665587	6960
Oktober	6117,283564	6520
November	6478,356869	5560
Desember	5144,676533	4950
Total	67838,95795	67430

3. Simulasi *building integrated photovoltaic* pada atap bangunan Universitas Surabaya (UBAYA)

Simulasi *building integrated photovoltaic* dilakukan dengan pengambilan data sesuai jumlah panel surya yang diletakkan diatas atap perpustakaan universitas surabaya. Apabila menaruhkan panel surya ke seluruh luasan atap, terdapat panel surya yang terkena *shading* yang menyebabkan performansi panel surya menurun. Oleh sebab itu, harus dilakukan pembatasan area yang terkena bayangan dan area yang tidak terkena bayangan. Sehingga, letakkan panel surya ke luasan yang tidak terkena bayangan untuk mendapatkan performansi panel surya yang maksimal.

Posisi *azimuth* merupakan hal penting dari simulasi ini. Sehingga, harus mengetahui posisi bangunan perpustakaan. Pada tampak depan bangunan perpustakaan memiliki arah barat daya atau 225° pada nilai *azimuth*. Pada hadap kanan memiliki arah tenggara atau 135° pada nilai *azimuth*. Pada hadap kiri memiliki arah barat laut atau 315° pada nilai *azimuth* dan Pada hadap belakang memiliki arah timur laut atau 45° pada nilai *azimuth*. Pada umumnya bahwa arah bangunan perpustakaan berputar 45° pada arah mata angin sesungguhnya. Pada *software SketchUp*, atur posisi bangunan tersebut sesuai pada nilai *azimuth* yang sebenarnya.



Gambar 10. Instalasi Panel Surya di Atap Perpustakaan Pada Area Yang Tidak Terkena Bayangan.

Setelah melakukan pemasangan panel surya di seluruh area yang tidak terkena bayangan dan mengatur nilai posisi bangunan perpustakaan sesuai nilai *azimuth* yang sebenarnya. Klik PVGIS Africa untuk mengetahui energi yang dihasilkan pada masing-masing atap yang dibagi menjadi 9 permukaan [10]. Berikut hasil dari simulasi *skelion* :

Tabel 6. Faces yearly average result

Face	Edy(kWh/da y)	Emy(kWh/month)	Hdy(kWh/m2/day)	Hmy(kWh/m2/month)
Atap Belakan g Belakan g	191	5790	5,42	165
Atap Belakan g Depan	79,1	2400	4,8	146
Atap Belakan g Kanan	15,5	470	4,81	146
Atap Belakan g Kiri	20,3	618	5,42	165
Atap Depan Depan	42	1280	4,92	150
Atap Depan Kanan	36,3	1105,52	4,89	149
Atap Depan Kiri	40,69	1236,32	5,47	166
Atap Tengah Kanan	38,9	1184,48	4,89	149
Atap Tengah Kiri	45,21	1373,68	5,47	166
&sum or Mean	509	15458	5,12	155,78

Bulan september merupakan penghasilan energi yang terbesar dibandingkan bulan-bulan lainnya. Untuk bisa mensuplai listrik ke bangunan perpustakaan dibutuhkan energi sebesar 1055,674 kWh per hari untuk membangkitkan seluruh alat listrik yang ada di gedung perpustakaan Universitas Surabaya. Energi yang dihasilkan dalam satu hari rata-rata setiap tahunnya adalah 509 kWh. Sehingga, panel surya tidak bisa memenuhi seluruh kebutuhan listrik yang ada di perpustakaan.

Oleh sebab itu, perlu diklarifikasi terlebih dahulu bagian beban yang sangat dibutuhkan. Pada penelitian kali ini, penggunaan *air conditioner* blum bisa digunakan dengan panel surya karena pada *air conditioner* memiliki kebutuhan energi yang sangat besar. Apabila dikalkulasi kebutuhan energi tanpa adanya *air conditioner*, maka kebutuhan listrik yang digunakan sebesar 374,406 kWh dalam satu hari. Panel surya bisa memenuhi kebutuhan tersebut karena energi yang dihasilkan dalam satu hari yaitu sebesar 509 kWh. Jadi, panel surya bisa menyuplai semua beban listrik tanpa menggunakan *air conditioner*. *Air conditioner* akan tetap disuplai oleh PLN.

4. Pengukuran *Photovoltaic* di Wilayah Universitas Surabaya (UBAYA)

Pengukuran *photovoltaic* dilakukan di gedung FF lantai 7 Universitas Surabaya yang tidak terkena bayangan dan diletakkan secara *horizontal surface*. Pengukuran ini dilakukan untuk melakukan validasi antara pengukuran secara *software* dan pengukuran secara langsung. Pengukuran akan menggunakan *photovoltaic* berkapasitas 30 Wp. Hasil pengukuran tersebut dikonversikan ke 200 Wp karena pada simulasi BIPV menggunakan *photovoltaic* berkapasitas 200 Wp. Pada simulasi hasil data telah dikalkulasi dengan *losses* sedangkan pada pengukuran langsung belum dikalkulasi dengan *losses* sehingga harus memperhitungkan dengan nilai *losses* sebesar 30% [15].

Tabel 7. Perbandingan Energi Antara Pengukuran Langsung dan Simulasi

Date	Pengukuran langsung	simulasi
19/05/2017	0,800255	0,76
20/05/2017	0,782447	0,76
21/05/2017	0,75347	0,76
22/05/2017	0,777992	0,76
23/05/2017	0,779781	0,76
24/05/2017	0,783556	0,76
25/05/2017	0,794925	0,76
26/05/2017	0,766503	0,76

5. Analisa Ekonomi *Payback Period*

Analisa ekonomi pada penelitian ini menghitung aspek biaya penggunaan sistem *building integrated photovoltaic* (BIPV). Dimana akan menghitung biaya perencanaan awal atau investasi hingga *payback period* yang didapatkan. Komponen utama dari sistem BIPV yaitu panel surya dan inverter. Panel surya yang digunakan di simulasi yaitu 200wp dan penggunaan inverter yang digunakan adalah 10000W. Berikut perhitungan total biaya solar panel dan inverter yang dibutuhkan pada perpustakaan Universitas Surabaya :

Panel surya yang dibutuhkan = 711 pcs
 Harga panel surya = Rp 2.160.000 /pcs
 Total biaya panel surya = 711x Rp 2.160.000 = Rp1.535.760.000,-
 Daya maximum tanpa AC = 47,9 KW
 Harga inverter 10000W = Rp 15.000.000
 Inverter yang dibutuhkan = 47,9 KW /10 KW = 4,79 pcs ≈ 5 pcs
 Total Biaya = Rp 15.000.000 X 5 = Rp 75.000.000,-

Total komponen = total biaya panel surya + total biaya inverter
 = Rp 1.535.760.000 + Rp 75.000.000
 = Rp 1.610.760.000

Pada penelitian ini biaya instalasi diberikan asumsi 15% dari total biaya komponen [12].

Biaya instalasi = Rp 1.610.760.000 X 15% = Rp 241.614.000
 Total biaya = Rp 1.852.374.000,-

Pada penelitian ini biaya pemeliharaan dan operasional diberikan asumsi 5% dari total biaya, untuk komponen PLTS [12]. Sehingga total biaya termasuk biaya pemeliharaan dan operasional (M) adalah

M = 5% X total biaya
 = 5% X Rp 1.852.374.000
 = Rp 92.618.700

Total investasi = Total biaya + M
 = Rp 1.852.374.000 + Rp 92.618.700
 = Rp 1.944.992.700,-

Jadi investasi awal yang dibutuhkan untuk membangun sistem BIPV di perpustakaan Universitas Surabaya adalah Rp 1.944.992.700,-. Untuk mengetahui *payback period*, perlu mengetahui biaya energi PLTS yang disuplai setiap bulannya. biaya listrik pada bulan juni 2017 yaitu Rp 1.467 atau dibulatkan menjadi Rp 1.500 [14]. Karena biaya listrik Rp 1.467 tersebut belum termasuk biaya pajak serta lain-lainnya. Berikut perhitungan biaya PLTS yang didapatkan.

Energi day rata-rata setiap tahun = 509 kWh
 Harga listrik per kWh = Rp 1500
 Biaya PLTS = Rp 1500 X 509 = Rp 763.500 / hari ≈ Rp 278.667.500 / tahun

Sehingga dapat disimpulkan *payback period* (PP) dari penggunaan sistem BIPV pada bangunan perpustakaan Universitas Surabaya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{PP} &= \frac{\text{Total investasi}}{\text{Biaya PLTS}} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.944.992.700}{\text{Rp } 278.667.500} \\ &= 6,98 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Jadi *payback period* (PP) pada sistem BIPV di perpustakaan Universitas Surabaya adalah 6 tahun 11 bulan. Setelah melewati 6 tahun 11 bulan tersebut, tidak perlu membayar listrik lagi ke PLN karena telah tersuplai oleh panel surya

5.1 Analisa Ekonomi *Discounted Payback Period*

Dalam menganalisa *Discounted payback period* faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah arus kas masuk (*cash inflow*) dan faktor diskonto (*discount factor*). Arus kas masuk merupakan biaya PLTS setiap tahunnya. Penentuan besar diskonto ini berdasarkan tingkat suku bunga kredit bank yang diambil dari Suku Bunga Dasar Kredit (SBDK). Penelitian ini mengambil asumsi menggunakan bank bca dengan nilai sebesar 9,75% dan asumsi sistem BIPV beroperasi selama 20 tahun dengan spesifikasi panel surya 200 WP [21]. Menghitung faktor diskonto (*discount factor*) dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Perhitungan menggunakan *Discounted payback period* adalah bahwa pada tahun ke 12 hingga ke tahun 13 mengalami perubahan kerugian menjadi keuntungan. Sehingga *discounted payback period* = 12 + (|-Rp22.691.015| / Rp83.146.320) ≈ 12,27 tahun.

5.2 Analisa Ekonomi *Payback Period* Berdasarkan *Feed-In-Tariff*

Feed in tariff adalah harga yang dibayarkan oleh perusahaan listrik negara (PLN) ketika membeli listrik dengan jenis energi terbarukan dengan harga yang telah ditetapkan. Harga pembelian energi listrik dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *photovoltaic* untuk semua kapasitas ditetapkan sebesar 25 sen USD/kWh untuk 10 tahun pertama dan 13 sen USD/kWh untuk 10 tahun kedua [13]. Harga 1 sen USD = Rp 132,96.

Perhitungan nilai rupiah investasi berupa Rp 1.870.897.740 dan perhitungan biaya PLTS *Feed in tariff* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Energi day rata-rata setiap tahun} &= 509 \text{ kWh} \\ \text{Harga listrik per kWh feed in tariff} &= \text{Rp } 132,96 \times 25 \\ &= \text{Rp } 3324 \\ \text{Biaya PLTS feed in tariff} &= \text{Rp } 3324 \times 509 \\ &= \text{Rp } 1.691.916 / \text{hari} \\ &\approx \text{Rp } 617.549.340 / \text{tahun} \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan *payback period* (PP) dari penggunaan sistem BIPV pada bangunan perpustakaan Universitas Surabaya berdasarkan *feed in tariff* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{PP} &= \frac{\text{Total investasi}}{\text{Biaya PLTS}} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.944.992.700}{\text{Rp } 617.549.340} \\ &= 3,15 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Jadi *payback period* (PP) pada sistem BIPV di perpustakaan Universitas Surabaya adalah 3 tahun 2 bulan.

5.3 Analisa Ekonomi *Discounted Payback Period* Berdasarkan *Feed-In-Tariff*

Discounted payback period berdasarkan *feed in tariff* adalah nilai *discounted payback period* sesuai dengan harga *feed in tariff*. Penjelasan dan rumus sama halnya pada subbab 5.1, yang membedakan adalah biaya arus kas masuk. Nilai arus kas masuk adalah nilai biaya PLTS sesuai dengan harga *feed in tariff* setiap tahunnya.

Perhitungan menggunakan *Discounted payback period* adalah bahwa pada tahun ke 3 hingga ke tahun 4 mengalami perubahan kerugian menjadi keuntungan. Sehingga *discounted payback period* = 3 + (|-Rp 402.454.364| / Rp 425.650.890) ≈ 3,94 tahun.

6 Analisa Reduksi Karbon Dioksida (CO₂) pada Sistem *Building Integrated Photovoltaic* di Perpustakaan Universitas Surabaya

Konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer terus meningkat setiap tahunnya. Faktor emisi CO₂ diperoleh berdasarkan referensi penyediaan listrik yang diproduksi oleh pembangkit listrik dari PLN. Konsumsi energi listrik tidak secara langsung berkontribusi terhadap emisi CO₂, akan tetapi berperan dalam menghasilkan CO₂ di pusat pembangkit listrik yang berbahan bakar fosil.

Penelitian ini yaitu penggunaan sistem BIPV di perpustakaan adalah solusi tepat mereduksi karbon dioksida, yang awalnya menggunakan PLN sebagai sumber listrik. Rata-rata faktor emisi CO₂ pada PLN untuk Indonesia pada tahun 2017 yaitu 0,934 Kg CO₂/kWh [7]. Sehingga perhitungan reduksi karbon dioksida pada sistem BIPV di perpustakaan adalah

$$\begin{aligned} \text{Energi day} &= 509 \text{ kWh} \\ \text{Reduksi karbon dioksida} &= 509 \text{ kWh} \times 0,934 \\ &= 475,406 \text{ Kg CO}_2 / \text{kWh} \\ &= 475,406 \text{ Kg CO}_2 / \text{hari} \\ &= 1,4262 \text{ Ton CO}_2 / \text{bulan} \end{aligned}$$

Sehingga perpustakaan Universitas Surabaya mereduksi karbon dioksida sebesar 475,406 Kg CO₂ setiap hari.

IV.KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat selama pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pola pemakaian energi listrik di perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA) bisa dilakukan secara 3 pola yaitu pola berdasarkan lantai, berdasarkan jenis alat listrik dan berdasarkan pola pemakaian. Berdasarkan lantai energi yang dibutuhkan di perpustakaan pada lantai 1 yaitu 87,297 kWh, lantai 2 membutuhkan 72,536 kWh, lantai 3 membutuhkan 65,190 kWh, lantai 4 membutuhkan 174,767 kWh, lantai 5 membutuhkan 655,881 kWh. Berdasarkan jenis alat listrik energi yang di butuhkan pada lampu yaitu 260,499 kWh, *air conditioner* membutuhkan 679,268 kWh, komputer membutuhkan 57,554 kWh dan peralatan lain-lain membutuhkan 58,352 kWh. Berdasarkan pola pemakaian gedung perpustakaan membutuhkan energi lebih besar pada pukul 07.30 WIB hingga 16.30 WIB.

2. Pemanfaatan *building integrated photovoltaic* (BIPV) pada atap perpustakaan Universitas Surabaya (UBAYA) dapat dilakukan dengan simulasi *sketchup* untuk menggambar bangunan dan *skelion* untuk instalasi energi surya. Energi yang dihasilkan pada simulasi yaitu sebesar 509 kWh/day dalam rata-rata 1 tahun.

3. Biaya investasi yang diperlukan untuk melakukan sistem *building integrated photovoltaic* adalah Rp 1.944.992.700,-. *Payback period* yang diperlukan adalah 6,98 tahun dan *discounted payback period* yang diperlukan adalah 11,43 tahun. *Payback period* yang diperlukan jika biaya listrik menggunakan *feed-in tariff* adalah 3,15 tahun dan *discounted payback period* yang diperlukan jika biaya listrik menggunakan *feed-in tariff* adalah 3,94 tahun. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem BIPV pada atap perpustakaan Universitas Surabaya layak dilaksanakan karena hasilnya lebih kecil dari pada umur proyek yang direncanakan selama 20 tahun.

REFERENSI

- [1] A. Wijaya. Analisa Efisiensi Penggunaan Sel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Kampus III UBAYA. Tugas Akhir, Teknik Elektro, Universitas Surabaya, Surabaya 2010.
- [2] Website. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUnoSMD>.
- [3] Website. <http://arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega-schematic>.
- [4] Datasheet ACS712 Current Sensor.
- [5] Website. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>.
- [6] Website. [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/MicroSD_card_module_for_Arduino_\(SKU:DFR0229\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/MicroSD_card_module_for_Arduino_(SKU:DFR0229))
- [7] Website. <http://ebtke.esdm.go.id/post/2016/01/22/1086/propyek.emisi.karbon>
- [8] Elieser Tarigan S.Si., M.Eng., P.hD., Buku Diktat Fisika dan Energi Alternatif. Departemen MIPA, Universitas Surabaya, 2013.
- [9] Freitas S, Catita C, Redweik P, Brito M.C. *Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015.
- [10] Huld T, Müller R, Gambardella A. *A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. Solar Energy* 2012.
- [11] M. Fiqi Rizal. Penerapan Panel Fotovoltaik Terintegrasi Pada Fasade dan Atap. Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 2008.
- [12] Kaltschmitt, Martin, dkk. *Renewable Energy : Technology, Economic and Environment. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.* 2007..
- [13] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Feed In Tariff* listrik dari PLTS Fotovoltaik, 2013.
- [14] Website. <http://listrik.org/pln/tarif-dasar-listrik-pln/>
- [15] Manoj Kumar Panjwani, Dr. Ghous Bukshsh. *Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell (photovoltaic).* 2014.
- [16] *National Solar Radiation Database (NSRDB) - 10 km Gridded Hourly Solar Database.* 2007.
- [17] Website. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solrespvgis.htm>
- [18] Stefan Küchler. *Solar Energy Assessment Based on Weather Station Data For Direct Site Monitoring in Indonesia.* Master Level Thesis, European Solar Engineering School, Dalarna University, Sweden 2013.
- [19] Website. <http://skelion.com/en/training.htm>.
- [20] Website. <http://www.sketchup.com>
- [21] Subekti Yuliananda, Kajian Aspek Teknis dan Aspek Biaya Investasi Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya 2013.