

LAPORAN
PENELITIAN PENGEMBANGAN IPTEK

**PENINGKATAN KINERJA SEL SURYA PADA ATAP DAN DINDING
DENGAN SISTEM PENDINGIN UNTUK TIGA ARAH MATA ANGIN
SEBAGAI PROTOTYPE BUILDING INTEGRATED
PHOTOVOLTAICS (BIPV) DAN
NET ZERO ENERGY BUILDING (NZEB)**



Tim Pengusul

Ketua Peneliti (Rifky, S.T., M.M dan NIDN 0305046501)

Anggota Peneliti (Dr. Dan Mugisidi, S.T., M.Si. dan NIDN 0301126901)

Anggota Peneliti (Agus Fikri, S.T., M.M., M.T. dan NIDN 0319087101)

Nomor Surat Kontrak Penelitian : 745/F.03.07/2019

Nilai Kontrak : Rp.15.000.000,-

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
TAHUN 2020

HALAMAN PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN PENELITIAN PENGEMBANGAN IPTEK (PPI)

Judul Penelitian

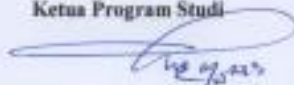
PENINGKATAN KINERJA SEL SURYA PADA ATAP DAN DINDING DENGAN SISTEM PENDINGIN UNTUK TIGA ARAH MATA ANGIN SEBAGAI PROTOTYPE BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (BIPV) DAN NET-ZERO ENERGY BUILDING (NZE)

Jenis Penelitian : PENELITIAN PENGEMBANGAN IPTEK (PPI)
Ketua Peneliti : RIFKY, S.T., M.M.
Link Profil simakip : Click or tap here to enter text.
 Contoh link: <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/show/978>
Fakultas : Fakultas Teknik
Anggota Peneliti : Dr. Dan Mugisidi, S.T., M.Si
Link Profil simakip : Click or tap here to enter text.
 Contoh link: <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/show/978>
Anggota Peneliti : Agus Fikri, S.T., M.M., M.T.
Link Profil simakip : Click or tap here to enter text.
 Contoh link: <http://simakip.uhamka.ac.id/pengguna/show/978>
Waktu Penelitian : 6 Bulan

Luaran Penelitian

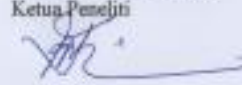
Luaran Wajib : Click or tap here to enter text.
Status Luaran Wajib : In Review
Luaran Tambahan : Click or tap here to enter text.
Status Luaran Tambahan: Click or tap here to enter text.

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Delvis Agusman, S.T., M.Sc.
NIDN. 0311087002

Jakarta, 14 October 2019
Ketua Peneliti



RIFKY, S.T., M.M.
NIDN.0305046501

Menyetujui,
Dekan Fakultas Teknik




Dr. Sugema, S.T., M.Kom.
NIDN.0323056403

Ketua Lemlitbang UHAMKA

Prof. Dr. Suswandari, M.Pd
NIDN. 0020116601

SURAT KONTRAK PENELITIAN



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

Jln. Tanah Merdeka, Pasar Rebo, Jakarta Timur
 Telp. 021-8416624, 87781809; Fax. 87781809

SURAT PERJANJIAN KONTRAK KERJA PENELITIAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF DR HAMKA

Nomor : *745* / F.03.07 / 2019
 Tanggal : 20 November 2019

Bismillahirrahmanirrahim

Pada hari ini, Rabu, tanggal Dua Puluh, bulan November, tahun Dua Ribu Sembilan Belas, yang bertanda tangan di bawah ini **Prof. Dr. Hj Suswandari, M.Pd**, Ketua Lembaga Penelitian dan Pengembangan Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, selanjutnya disebut sebagai PIHAK PERTAMA; **RIFKY S.T., M.M.**, selanjutnya disebut sebagai PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA sepakat untuk mengadakan Perjanjian Kontrak Kerja Penelitian yang didanai oleh RAPB Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Pasal 1

PIHAK KEDUA akan melaksanakan kegiatan penelitian dengan judul : **PENINGKATAN KINERJA SEL SURYA PADA ATAP DAN DINDING DENGAN SISTEM PENDINGIN UNTUK TIGA ARAH MATA ANGIN SEBAGAI PROTOTYPE BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (BIPV) DAN NET-ZERO ENERGY BUILDING (NZEB)** dengan luaran wajib dan luaran tambahan sesuai data usulan penelitian Bacth 1 Tahun 2019 melalui simakip.uhamka.ac.id.

Pasal 2

Bukti luaran penelitian wajib dan tambahan harus sesuai sebagaimana yang dijanjikan dalam Pasal 1, Luaran penelitian yang dimaksud dilampirkan pada saat Monitoring Evaluasi dan laporan penelitian yang diunggah melalui simakip.uhamka.ac.id.

Pasal 3

Kegiatan tersebut dalam Pasal 1 akan dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA mulai tanggal 20 November 2019 dan selesai pada tanggal 20 April 2020.

Pasal 4

PIHAK PERTAMA menyediakan dana sebesar Rp.15.000.000,- (Terbilang : *Lima Belas Juta*) kepada PIHAK KEDUA untuk melaksanakan kegiatan tersebut dalam Pasal 1. Sumber biaya yang dimaksud berasal dari Penelitian dan Pengembangan Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA melalui Lembaga Penelitian dan Pengembangan.

Pasal 5

- Pembayaran dana tersebut dalam Pasal 4 akan dilakukan dalam 2 (dua) termin sebagai berikut;
- (1) Termin I 70 % : Sebesar 10.500.000 (Terbilang: *Sepuluh Juta Lima Ratus Ribu Rupiah*) setelah PIHAK KEDUA menyerahkan proposal yang telah direview dan diperbaiki sesuai saran reviewer pada kegiatan tersebut Pasal 1.
- (2) Termin II 30 % : Sebesar 4.500.000 (Terbilang: *Empat Juta Lima Ratus Ribu Rupiah*) setelah PIHAK KEDUA menyerahkan proposal yang telah direview dan diperbaiki sesuai saran reviewer pada kegiatan tersebut Pasal 1.

Pasal 6

- (1) PIHAK KEDUA wajib melaksanakan kegiatan tersebut dalam Pasal 1 dalam waktu yang ditentukan dalam Pasal 3.
- (2) PIHAK PERTAMA akan melakukan monitoring dan evaluasi pelaksanaan kegiatan tersebut sebagaimana yang disebutkan dalam Pasal 1.
- (3) PIHAK PERTAMA akan mendenda PIHAK KEDUA setiap hari keterlambatan penyerahan laporan hasil kegiatan sebesar 0,5 % (setengah persen) maksimal 20% (dua puluh persen) dari jumlah dana tersebut dalam Pasal 4.
- (4) Dana Penelitian dikenakan Pajak Pertambahan Nilai (PPN) pada poin honor peneliti sebesar 5 % (lima persen)

Jakarta, 20 November 2019

PIHAK PERTAMA
Lembaga Penelitian dan Pengembangan
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA



Prof. Dr. Hj Suswandari, M.Pd

PIHAK KEDUA
Peneliti,



RIFKY S.T., M.M.

Mengetahui
Wakil Rektor II UHAMKA

Dr. ZAMAH SARI M.Ag.

ABSTRAK

Pemanfaatan energi matahari yang mengubah energi cahayanya menjadi listrik melalui sistem sel surya dan aplikasinya dalam bangunan sangat tepat. Namun, sel surya memiliki kekurangan dengan meningkatnya temperatur sel akan menurunkan kinerjanya. Demikian juga dengan arah datangnya cahaya matahari yang diterima sel surya. Oleh karena itu dalam penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan kinerja sel surya yang semaksimal mungkin dengan menggunakan sistem pendingin sel yang ditempatkan pada atap dan dinding dengan menerima datangnya cahaya matahari dari tiga arah mata angin sebagai prototipe building integrated photovoltaics (BIPV) dan net-zero energy building (NZEB). Sistem sel surya diberi sistem pendingin yang diletakkan pada bagian bawah sel. Sel surya-sel surya tersebut ditempatkan pada atap dan dinding yang menghadap arah timur, utara, dan barat. Dengan penyinaran cahaya matahari yang berbeda arah dan adanya sistem pendingin diharapkan dapat memaksimalkan kinerja sel surya tersebut. Selain itu penempatan sel surya pada atap dan dinding menjadi prototipe bangunan yang terintegrasi sistem sel surya dan bangunan energi bersih nol.

Kata kunci: atap, dinding, energi, pendingin, surya

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT KONTRAK PENELITIAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>State of the Art</i>	4
2.2 Nilai kebaruan yang akan dihasilkan dari penelitian.....	6
2.3 Kajian terkait dengan konsep teori	6
2.3.1 Sel Surya	6
2.3.2 Building Integrated Photovoltaics (BIPV).....	8
2.3.3 Net-Zero Energy Building (NZEB).....	9
2.4 Roadmap Penelitian.....	9
BAB 3. METODE PENELITIAN	10
3.1 Alur / Langkah Penelitian.....	10
3.2 Lokasi Penelitian,	11
3.3 Konsep Metode Penelitian yang Digunakan,	11
3.4 Desain Penelitian yang Digunakan,.....	11
3.5 Populasi Dan Sampel Atau Subjek Penelitian/ Informan Penelitian,.....	11
3.6 Cara Pengumpulan Data.	12
3.7 Instrumen yang Digunakan, Manajemen Analisis Data.	12
3.8 Indikator Capain Hasil Penelitian.....	13

3.9 Fishbond Penelitian	14
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Deskripsi Wilayah Penelitian	15
4.2 Hasil penelitian	15
4.3 Pembahasan hasil penelitian	18
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	21
5.1 Kesimpulan	21
5.2 Saran	21
BAB 6. LUARAN YANG DICAPAI	22
BAB 7. RENCANA TINDAK LANJUT DAN PROYEKSI HILIRISASI	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN	26
1. LAMPIRAN A: ARTIKEL JURNAL TEKNOLOGI BAHAN DAN BARANG TEKNIK	26
2. LAMPIRAN B: ARTIKEL PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DAN TEKNOLOGI 11, 2020	27

DAFTAR TABEL

1. Tabel 4.1 Pengukuran kinerja sel surya (timur)..... 16
2. Tabel 4.2 Pengukuran kinerja sel surya (utara)..... 17
3. Tabel 4.3 Pengukuran kinerja sel surya (barat)..... 18

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Skema lapisan sel surya.....	6
2. Gambar 2.2 Tiga generarsi sel surya fotovoltaik.....	7
3. Gambar 2.3 Perkembangan efisiensi konversi energi sel surya.....	7
4. Gambar 2.4 Roadmap penelitian.....	9
5. Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	10
6. Gambar 3.2 Fishbone Penelitian.....	14
7. Gambar 4.1. Alat penelitian (sel surya di atap dan dinding).....	15
8. Gambar 4.2 Distribusi kinerja sel surya (timur).....	19
9. Gambar 4.3 Distribusi kinerja sel surya (utara).....	19
10. Gambar 4.4 Distribusi kinerja sel surya (barat).....	20

DAFTAR LAMPIRAN

1. LAMPIRAN A: ARTIKEL JURNAL TEKNOLOGI BAHAN
DAN BARANG TEKNIK..... 26
2. LAMPIRAN B: ARTIKEL PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS
DAN TEKNOLOGI 11, 2020..... 27

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi dibutuhkan dalam hidup dan kehidupan manusia. Ironisnya manusia lebih banyak menggunakan energi yang berasal dari energi fosil yang semakin hari semakin tipis persediaannya. Masalah energi fosil tidak sekedar pasokan, tetapi juga terkait persoalan pemanasan global dan masalah lingkungan seperti pencemaran udara, hujan asam, penipisan ozon, perusakan hutan, dan emisi zat radioaktif (Dincer & Meral, 2010). Penggunaan energi yang dapat diperbaharui dan sebagai alternatif yang ramah lingkungan menjadi kebutuhan di masa kini dan mendatang. Energi terbarukan adalah energi yang diharapkan dapat menggantikan energi yang berasal dari fosil. Jenis energi ini potensinya sangat melimpah dan diprediksi tidak dapat habis dalam jangka waktu yang panjang karena dapat didaur ulang atau diperbarui. Beberapa energi yang termasuk dalam energi yang dapat diperbarui adalah: energi matahari, energi panas bumi, energi air, energi angin, energi pasang surut air laut, energi gelombang laut, dan energi biomassa (biofuel).

Indonesia adalah negara tropis yang mendapat curahan panas dan cahaya matahari sepanjang tahun, karena terletak di katulistiwa tepatnya dengan geografis 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT (Widiasanti, Ayu, & Hermawan, 2013). Intensitas radiasi matahari rata-rata di seluruh wilayah Indonesia sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ memiliki potensi yang siap untuk dimanfaatkan (Rahardjo & Fitriana, 2005). Matahari merupakan sumber dari energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan dalam bentuk energi panas (termal) dan konversi langsung menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi termal surya sudah sejak dahulu yang dimanfaatkan dalam pengeringan, sedangkan konversi langsung energi cahaya matahari menjadi listrik melalui sistem photovoltaics atau solar cell (sel surya). Sel surya dapat digunakan pada bangunan dan peralatan bergerak. Penggunaan sel surya pada bangunan baik bangunan perumahan maupun komersil harus menempatkan sel surya tersebut pada posisi yang tepat dengan arah dan sudut datang cahaya matahari. Atap dan dinding rumah merupakan bagian rumah yang kerap berhadapan dan mendapat pancaran cahaya matahari.

Oleh karena itu atap dan dinding rumah diharapkan dapat menjadi media yang mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Sel surya dalam mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik sehingga menghasilkan daya keluaran dipengaruhi beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain temperatur sel, radiasi matahari, kecepatan angin, keadaan atmosfer, orientasi panel, dan posisi sel surya itu sendiri. Radiasi matahari, temperatur sekitar, kecepatan dan arah angin, komposisi material panel, dan struktur pemasangan mempengaruhi temperatur operasi sel surya (Armstrong & Hurley, 2010). Perubahan temperatur operasi sel yang meningkat menjadi negatif bagi efisiensi dan daya keluaran (Dincer & Meral, 2010), (Armstrong & Hurley, 2010). Upaya mempertahankan temperatur operasi sel menjadi keharusan agar proses konversi energi berlangsung efektif dan menghasilkan keluaran semaksimal mungkin.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mempertahankan perolehan radiasi matahari yang tetap akibat kenaikan temperatur serta untuk mendapatkan limpahan cahaya matahari secara maksimal sepanjang hari, maka diperlukan sistem pendingin sel surya dan menghadapkan sel surya pada ketiga arah baik dalam penempatan sel surya di posisi atap maupun dinding. Oleh karena itu rumusan masalahnya adalah:

1. Bagaimana pengaruh pendinginan sel surya terhadap kinerjanya yang ditempatkan di atap maupun di dinding pada arah timur?
2. Bagaimana pengaruh pendinginan sel surya terhadap kinerjanya yang ditempatkan di atap maupun di dinding pada arah utara?
3. Bagaimana pengaruh pendinginan sel surya terhadap kinerjanya yang ditempatkan di atap maupun di dinding pada arah barat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian sel surya ini adalah:

1. Mendapatkan kinerja yang maksimal dari penempatan sel surya di atap dan dinding akibat pendinginan pada arah timur?
2. Mendapatkan kinerja yang maksimal dari penempatan sel surya di atap dan dinding akibat pendinginan pada arah utara?
3. Mendapatkan kinerja yang maksimal dari penempatan sel surya di atap dan dinding akibat pendinginan pada arah barat?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian sel surya ini adalah:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dalam membuat prototipe BIPV.
2. Penelitian ini dapat menjadi dasar dalam merancang NZEB.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State of the Art

Sistem sel surya atau sistem fotovoltaik adalah sistem yang mengkonversi langsung energi cahaya matahari melalui sel surya menjadi energi listrik. Dalam operasinya sel surya dipengaruhi oleh material modul panel itu sendiri dan faktor lingkungan sekitar. Keseimbangan energi sel fotovoltaik (PV) dipengaruhi variabel iklim. Ada proses transfer energi yang terlibat: radiasi gelombang pendek, radiasi gelombang panjang, konveksi, dan produksi energi listrik (Jones & Underwood, 2001).

Salah satu faktor yang mendominasi adalah temperatur pengoperasian modul sistem fotovoltaik dan merupakan parameter penting serta memiliki pengaruh besar pada efisiensi sistem dan energi keluaran (Cuce & Cuce, 2014). Pengaruh temperatur adalah hasil dari karakteristik sel surya yang melekat yang cenderung menghasilkan tegangan lebih tinggi akibat penurunan temperatur dan, sebaliknya, akan kehilangan tegangan pada temperatur yang tinggi (Dincer & Meral, 2010). Performa panel surya berkurang dengan meningkatnya temperatur panel. Daya keluaran modul PV turun 0,45% per °C kenaikan temperatur jika panas tidak dihilangkan. Temperatur modul dapat naik hingga 70 °C dan dapat menyebabkan kerusakan struktural modul PV yang mempersingkat masa pakainya dan menurunkan efisiensi konversi (Kane & Verma, 2013) Jadi temperatur yang tinggi akan menurunkan daya keluaran dan efisiensi sel surya. Hal ini sudah dianalisis dengan menggunakan analisis inframerah dan didapatkan bahwa efisiensi sangat bergantung pada temperatur modul PV dan overheating menyebabkan penurunan energi yang dihasilkan (Bari & Orabona, 2010).

Selain faktor temperatur sel surya juga dipengaruhi oleh arah datangnya cahaya matahari. Ulasan di atas adalah pengaruh temperatur lingkungan terhadap kinerja sel surya, dan belum ada yang memadukan parameter temperatur dan arah mata angin karena sel surya tersebut di tempatkan pada atap dan dinding. Keluaran energi yang dicapai sel surya pada atap dan dinding tersebut untuk dijadikan prototipe bangunan terintegrasi sistem fotovoltaik (BIPV) dan bangunan dengan energi bersih nol (NZEB).

BIPV memiliki pengaruh signifikan terhadap perpindahan panas melalui selubung bangunan karena perubahan tahanan termal dengan menambahkan atau mengganti elemen bangunan (Wang, Tian, Ren, Zhu, & Wang, 2006). Perpindahan panas yang terjadi dari modul PV menuju dinding. Proses perpindahan panas konveksi dari sisi belakang modul PV ini dihentikan dalam sistem BIPV karena modul dipasang di dinding secara langsung (Kane & Verma, 2013). Penerapan BIPV merupakan gagasan integrasi panel PV dengan mengganti elemen bangunan (Agathokleous & Kalogirou, 2016). Selain itu membangun teknologi *photovoltaic* terintegrasi (BIPV) memberikan estetika, ekonomi, dan solusi teknis untuk swasembada listrik pada bangunan (Jelle, 2016), (Zhang, Wang, & Yang, 2018), (Jelle & Breivik, 2012). Bangunan sendiri membutuhkan energi baik dalam bentuk termal, listrik (Good, Andresen, & Hestnes, 2015), optik, dan kinerja energi menyeluruh dari sistem BIPV (Zhang et al., 2018).

Namun tantangan dalam penerapan BIPV adalah tujuan desain arsitektur kadang bertentangan dengan kinerja energy (Attoye, Aoul, & Hassan, 2017), disamping temperatur operasi BIPV yang tidak terkendali. Temperatur pengoperasian modul atau sistem fotovoltaik merupakan parameter penting, yang memiliki pengaruh besar pada efisiensi sistem dan energi keluaran (Cuce & Cuce, 2014).

Pemanfaatan energi matahari pada sistem BIPV adalah penting untuk mencapai keseimbangan energi bersih nol (Good et al., 2015), dan hal ini memiliki potensi besar dalam integrasinya (Delisle & Kummert, 2014) termasuk untuk bangunan nol emisi (Jelle & Breivik, 2012). Energi matahari sangat beralasan dengan sistem PV pada bangunan dibuat sistem BIPV, karena sistem energi surya mampu memenuhi setidaknya 76% dari permintaan energi primer bangunan tempat tinggal dan hal ini membuktikan adanya solusi yang layak untuk NZEB (Tsalikis & Martinopoulos, 2015), (Naveen Chakkaravarthy, Subathra, Jerin Pradeep, & Manoj Kumar, 2018).

Pengembangan NZEB tidak hanya mendapatkan kinerja dalam hal kenyamanan dalam ruangan, keseimbangan energi, dan kecocokan (Feng, Tian, Cao, Zhao, & Deng, 2016), tetapi juga kemungkinan perkembangannya di masa depan untuk kepentingan desainer dan konstruktor bangunan. Hal ini dapat memberikan nuansa seni pada komponen pembungkus bangunan seperti bahan isolasi, bahan isolasi masa depan, dinding, atap, jendela, pintu dan kaca dari prospek efisiensi energi (Sharma, 2013).

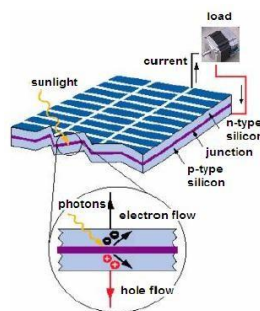
2.2 Nilai kebaruan yang akan dihasilkan dari penelitian

Memadukan parameter pendingin untuk mengendalikan temperatur sel surya, parameter posisi sel surya pada tiga arah mata angin (timur, utara, dan barat) serta parameter sel surya yang diletakan pada atap dan dinding merupakan parameter yang belum ada sepanjang yang diketahui terkait penelitian sel surya. Apalagi penelitian ini akan menjadi prototipe bangunan terintegrasi sl surya (BIPV) dan menjadi bangunan dengan energi nol bersih(NZEB).

2.3 Kajian terkait dengan konsep teori

2.3.1 Sel Surya

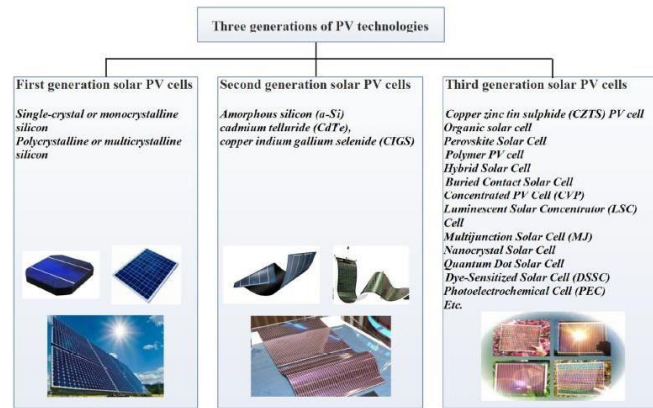
Konsep dasar sel surya adalah efek fotolistrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Prinsip kerja semikonduktor mirip dengan dioda sebagai p-n junction. Praktis semua perangkat fotovoltaik menggabungkan p-n junction di semikonduktor di mana photovoltage dikembangkan. Perangkat ini juga dikenal sebagai sel surya, seperti gambar di bawah ini (Dincer & Meral, 2010).



Gambar 2.1 Skema lapisan sel surya(Dincer & Meral, 2010)

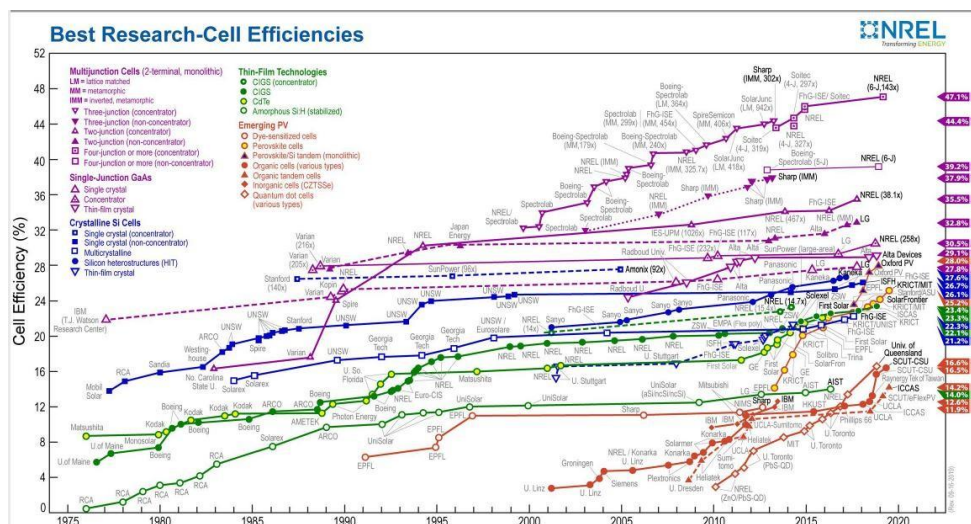
Teknologi sel surya mengalami perkembangan yang terus menerus. Sampai kini sudah ada tiga generasi teknologi sistem PV tersebut yaitu generasi pertama yang berbasiskan pada wafer silikon, generasi kedua dengan manufaktur teknologi lapisan tipis, serta generasi

ketiga dengan variasi material yang berorientasi untuk menghasilkan efisiensi setinggi mungkin. Ketiga perkembangan teknologi sel surya diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Tiga generasi sel surya fotovoltaik (Zhang et al., 2018)

Perkembangan penelitian sel surya untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi dilakukan oleh berbagai kalangan di negara yang berbeda di belahan dunia. Oleh lembaga riset National Renewable Energy Laboratory didata yang ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Perkembangan efisiensi konversi energi sel surya (National Renewable Energy Laboratory) (Jelle, 2016)

2.3.2 Building Integrated Photovoltaics (BIPV)

BIPV adalah integrasi sistem PV ke dalam eksterior bangunan dan menggantikan elemen bangunan konvensional seperti genteng, sirap aspal, elemen fasad, dan perangkat peneduh dengan modul fotovoltaik yang melakukan fungsi yang sama tetapi juga menyediakan daya listrik (Wang et al., 2006). Pada konsep ini desain bangunan harus menggabungkan tiga konsep penting: konservasi energi, efisiensi energi dan integrasi optimal teknologi energi terbarukan (Delisle & Kummert, 2014).

Konstruksi BIPV dapat dilakukan pada atap miring, atap datar, fasad dan sistem naungan matahari, sehingga berfungsi secara bersamaan sebagai layar iklim dan sumber daya yang menghasilkan listrik (Jelle & Breivik, 2012). Aplikasi PV menjadikan pengiriman listrik dengan biaya yang relatif lebih rendah daripada listrik jaringan untuk pengguna akhir tertentu di pasar ceruk permintaan puncak tertentu (Attoye et al., 2017). Dampak positif lebih luasnya adalah sistem BIPV dapat memberikan penghematan bahan dan biaya listrik, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas yang menipiskan lapisan ozon, dan memberikan fungsi tambahan seperti naungan, pemanas matahari aktif dan pencahayaan (Agathokleous & Kalogirou, 2016).

BIPV memiliki masalah dengan panas yang terbentuk di bawah modul PV akibat perpindahan panas konveksi dari sisi belakang. Namun, hal ini dapat diatasi dengan sistem BIPV karena modul dipasang di dinding secara langsung (Kane & Verma, 2013). Jelas bahwa BIPV memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perpindahan panas melalui bangunan dan efeknya pada beban pendinginan dan pemanasan gedung. Dinding, fasad, dan atap berventilasi, jika dirancang dengan baik, dapat membantu mengurangi beban termal musim panas karena radiasi matahari langsung (Rahardjo & Fitriana, 2005). Kombinasi PV dan atap berventilasi tidak hanya meningkatkan efisiensi konversi PV, tetapi juga mengurangi beban pendinginan melalui atap (Wang et al., 2006).

Listrik yang dihasilkan sistem BIPV dapat sebagian atau seluruhnya digunakan untuk menyeimbangkan kebutuhan listrik dari sistem energi dalam ruangan, dengan, sehingga dapat mengurangi tekanan pasokan daya dari jaringan listrik tradisional, dan pada gilirannya dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca. BIPV dapat menjadi inovasi dalam mewujudkan bangunan hijau atau tanpa energi di masa depan (Zhang et al., 2018).

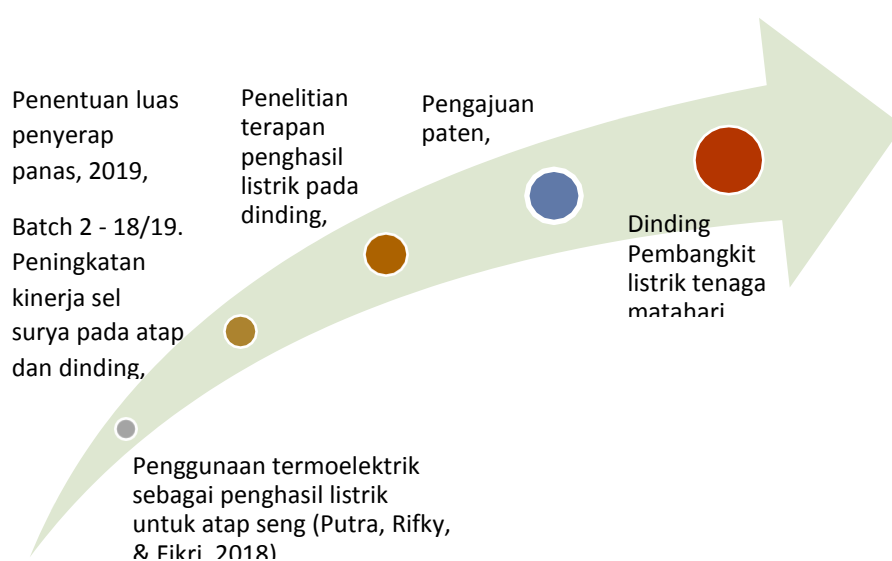
2.3.3 Net-Zero Energy Building (NZEB)

NZEB didefinisikan sebagai bangunan yang mencapai keseimbangan energi nol bersih selama periode waktu tertentu, biasanya satu tahun (Good et al., 2015). Untuk memenuhi syarat sebagai NZEB, sebuah gedung harus menunjukkan kinerja energi yang sangat tinggi dan untuk menutupi jumlah energi yang dibutuhkan untuk suatu tingkat yang sangat signifikan dari sumber terbarukan yang diproduksi di tempat atau di dekatnya (Tsalikis & Martinopoulos, 2015).

Dalam NZEB diperlukan adanya keseimbangan energi yang mencakup energi yang digunakan untuk ventilasi pemanas dan pendingin udara (HVAC), pencahayaan, dan penggunaan peralatan listrik (Good et al., 2015). Untuk mencapai keseimbangan energi nol bersih, prioritasnya adalah mengurangi kebutuhan energi yang dikirim, dan permintaan yang tersisa dengan energi terbarukan di lokasi sumber energi. Energi yang dikirim mencakup listrik, biomassa, pemanasan distrik, atau pembawa energi lainnya. Energi yang diekspor dapat berupa listrik dan panas (Good et al., 2015).

2.4 Roadmap Penelitian

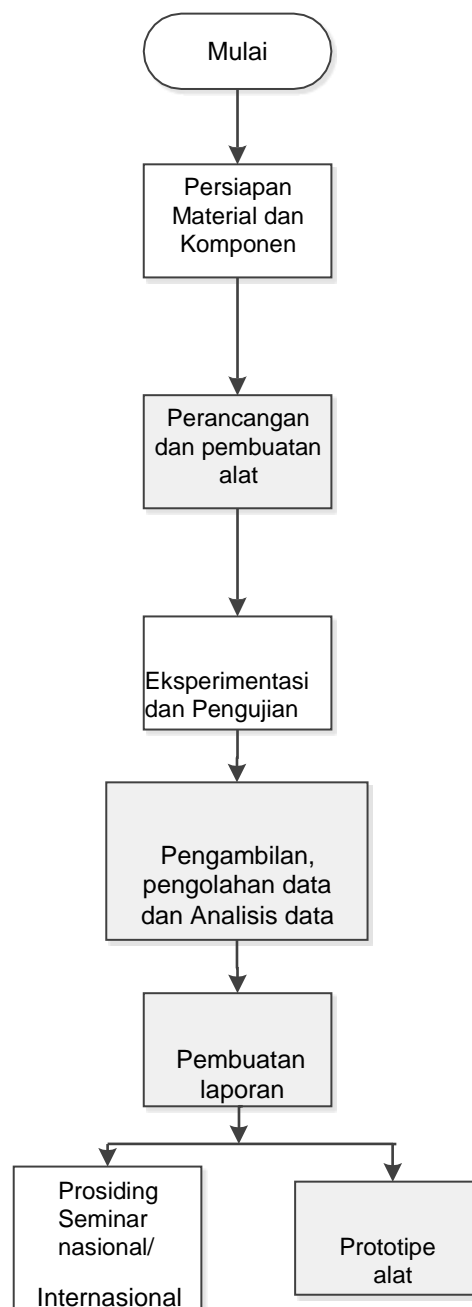
Roadmap atau peta jalan penelitian yang sedang dilakukan sejalan dengan Rencana Induk Penelitian yang dikeluarkan oleh Lemlitbang UHAMKA yaitu menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan.



Gambar 2.4 Roadmap penelitian

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Alur / Langkah Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Lokasi Penelitian,

Penelitian dilakukan di Roof Top Lantai 5 Gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA.

3.3 Konsep Metode Penelitian yang Digunakan,

Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang sebelumnya dilakukan perancangan dan pembuatan alat, seperti yang diperlihatkan pada gambar 1.4 di atas.

3.4 Desain Penelitian yang Digunakan,

Berdasarkan gambar 1.4 di atas desain penelitian yang digunakan dapat diuraikan terdiri dari:

1. Persiapan material dan komponen
2. Perancangan dan pembuatan alat.
3. Penelitian eksperimental.
 - a. Melakukan eksperimentasi.
 - b. Melakukan pengujian.
 - c. Pengambilan data.
 - d. Pengolahan data.

3.5 Populasi Dan Sampel Atau Subjek Penelitian/ Informan Penelitian,

Pada penelitian ini tidak dikumpulkan sampel, melainkan data pengukuran dari alat yang dioperasikan.

3.6 Cara Pengumpulan Data.

Data yang dikumpulkan diperoleh dengan cara mengukur besaran yang dihasilkan dari alat yang dioperasikan. Dalam penelitian ini, data yang dihasilkan terdiri dari:

1. Data masukan ke sistem sel surya:
 - a. Intensitas radiasi matahari.
 - b. Temperatur lingkungan.
 - c. Temperatur sel surya.
 - d. Kecepatan angin.
 - e. Kelembaban udara.
2. Data luaran dari sistem sel surya:
 - a. Tegangan listrik.
 - b. Arus listrik.

Untuk memperoleh data masukan masing-masing besaran diukur oleh alat ukur tersendiri, sedangkan untuk data luaran digunakan alat ukur listrik, voltmeter dan amperemeter.

3.7 Instrumen yang Digunakan, Manajemen Analisis Data.

Instrumen yang digunakan selama penelitian sebagai berikut:

1. Sel surya 50 Wp sebanyak 2 set
2. Sistem pendingin (hasil rancangan didalamnya ada *heatsink*) sebanyak 2 set
3. Solar Power Meter, berfungsi untuk mengukur intensitas surya.
4. Anemometer berfungsi sebagai pengukur kecepatan angin.
5. Multimeter berfungsi sebagai alat ukur tegangan dan arus.
6. Termometer digital berfungsi sebagai alat ukur temperatur.
7. Flow meter berfungsi sebagai alat ukur debit air.
8. Higrometer berfungsi sebagai alat ukur debit air
9. Pompa air.

3.8 Indikator Capaian Hasil Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga parameter sekaligus yaitu:

1. Sel surya di tempatkan di atap dan dinding.
2. Sel surya diarahkan ke tiga arah mata angin: timur, utara, dan barat.
3. Sel surya diberi sistem pendingin.

Namun, kendala rancangan dan pembuatan alat yang memakan waktu panjang serta masuknya waktu *lockdown* (isolasi) wabah Covid-19 di saat baru saja selesai pengambilan data untuk dua parameter pertama, menyebabkan tidak ada pengambilan data untuk parameter ketiga.

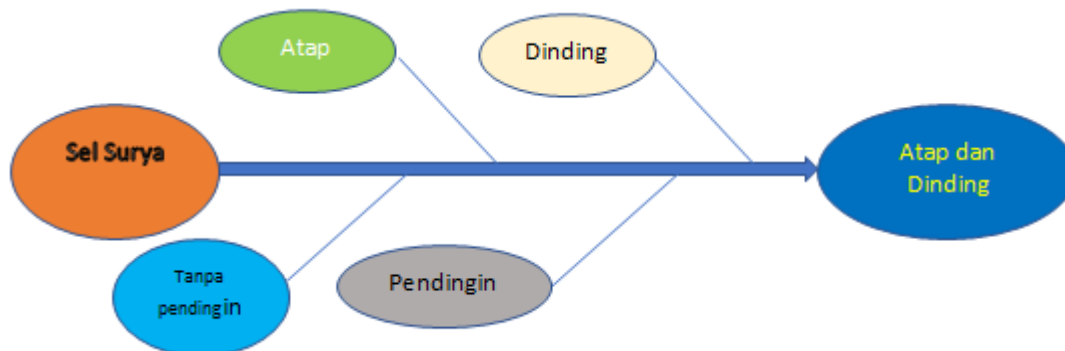
Disamping itu, dengan adanya pengurangan biaya penelitian dari yang diajukan, maka yang seharusnya setiap atap dan dinding dipasang sel surya untuk ketiga arah mata angin tidak tercapai. Dengan dana yang terbatas maka penelitian terpaksa mengalami reduksi dalam pembuatan alat eksperimen. Pengambilan data untuk mengganti dari satu arah ke arah yang lain dengan mengubah posisi alat dan hal ini minimal memerlukan waktu satu hari (jika data valid) untuk satu arah.

Jadi seharusnya, minimal satu hari (jika data valid) sudah mendapatkan data ketiga arah mata angin. Kondisi yang ada, hanya satu arah mata angin saja.

Indikator capaian hasil penelitian:

1. Kinerja sel surya yang diletakkan di atap dengan di dinding berbeda.
2. Kinerja sel surya yang diarahkan ke timur, utara, dan barat berbeda.
3. Kinerja sel surya setiap pengukuran dalam sepanjang hari pengukuran memberikan hasil yang berbeda untuk tempat dan arah yang berbeda.

3.9 Fishbond Penelitian



Gambar 3.2 Fishbone Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Wilayah Penelitian.

Penelitian sel surya ini merupakan bagian dari penelitian energi surya. Energi surya minimal mempunyai dua kajian dalam penelitian yaitu energi termal surya (pemanfaatan panas matahari) dan sel surya (konversi langsung energi cahaya matahari menjadi energi listrik). Penelitian sel surya yang menggunakan parameter pendingin dalam upaya meningkatkan kinerjanya. Sementara menempatkan sel surya di atap dan di dinding serta menghadapkannya ke tiga arah mata angin (timur, utara, dan barat) sebagai korelasi dengan posisi bangunan yang sudah ada dimana sel surya akan ditempatkan. Penggunaan sel surya pada bangunan dapat menjadikan sel surya sebagai bagian dari fungsi atau struktur bangunan yang terintegrasi, yang dikenal sebagai *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV). Selain itu sistem BIPV memberi kontribusi pada bangunan bukan sekedar menjadi konsumsi energi melainkan juga sebagai produsen energi, sehingga dalam bangunan terjadi surplus energi atau minimal mencapai keseimbangan, yang dikenal sebagai *Net Zero Energy Building* (NZEB).

4.2 Hasil penelitian

Alat yang dibuat dalam penelitian ini, ditampilkan dalam gambar berikut:



Gambar 4.1. Alat penelitian (sel surya di atap dan dinding)

Sel surya yang ditempatkan pada atap dan dinding, dengan dihadapkan ke arah timur, utara, dan barat memberikan hasil seperti bawah ini.

Oleh karena itu hasil penelitian terdiri atas tiga bagian, yaitu:

1. Penempatan sel surya ke arah timur.

Sel surya yang dihadapkan ke arah timur menghasilkan data penelitian yang ditunjukkan Tabel 4.1 di bawah ini. Dari data pada tabel tersebut tampak bahwa kinerja sel surya yang ditempatkan di atap memberikan hasil rata-rat lebih besar dari sel surya yang ditempatkan di dinding.

Tabel 4.1 Pengukuran kinerja sel surya (timur)

Pukul	P_{in} [A] (watt)	P_{in} [D] (watt)	P_{out} [A] (watt)	P_{out} [D] (watt)	Ef. [A] (%)	Ef. [D] (%)
07.00	63,88	63,88	9,54	8,89	14,94	13,91
07.30	179,55	179,55	23,88	26,78	13,30	14,92
08.00	176,90	176,90	23,95	23,43	13,54	13,25
08.30	275,94	275,94	43,43	40,19	15,74	14,56
09.00	193,91	193,91	25,53	18,91	13,17	9,75
09.30	295,22	295,22	41,76	26,21	14,15	8,88
10.00	96,01	96,01	30,72	15,54	32,00	16,19
10.30	378,76	378,76	45,79	18,20	12,09	4,81
11.00	392,74	392,74	26,60	13,67	6,77	3,48
11.30	120,20	120,20	17,10	7,06	14,23	5,87
12.00	417,31	417,31	37,98	11,90	9,10	2,85
12.30	115,29	115,29	13,91	5,55	12,06	4,81
13.00	93,74	93,74	7,95	4,26	8,48	4,54
13.30	183,71	183,71	20,30	6,85	11,05	3,73
14.00	224,15	224,15	15,81	6,96	7,05	3,10
14.30	123,61	123,61	14,10	5,66	11,41	4,58
15.00	110,38	110,38	8,20	3,98	7,42	3,60
15.30	59,72	59,72	4,29	2,24	7,18	3,75
16.00	34,78	34,78	2,68	1,38	7,70	3,97
16.30	15,50	15,50	1,37	0,56	8,84	3,59
17.00	12,85	12,85	1,09	0,54	8,47	4,17
Maks	417,31	417,31	45,79	40,19	32,00	16,19
Min	12,85	12,85	1,09	0,54	6,77	2,85
Rerata	169,72	169,72	19,81	11,84	11,84	7,06

2. Penempatan sel surya ke arah utara.

Penempatan sel surya yang dihadapkan ke utara menghasilkan data penelitian yang disajikan pada tabel 4.2 di bawah ini. Pada tabel 4.2 tersebut, tampak perbedaan kinerja sel surya yang ditempatkan di atap dengan di dinding secara rata-rata lebih besar. Jika

dibandingkan antara data Tabel 4.1 dengan Tabel 4.2, maka perbedaan data sel surya di atap dengan di dinding lebih signifikan.

Tabel 4.2 Pengukuran kinerja sel surya (utara)

Pukul	P _{in} [A]	P _{in} [D]	P _{out} [A]	P _{out} [D]	Ef. [A]	Ef. [D]
	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)	(%)	(%)
07.00	211,68	211,68	12,92	12,62	6,10	5,96
07.30	305,80	305,80	21,22	8,88	6,94	2,90
08.00	202,23	202,23	28,34	11,72	14,01	5,79
08.30	322,06	322,06	32,84	13,27	10,20	4,12
09.00	372,33	372,33	38,79	12,53	10,42	3,36
09.30	226,42	226,42	25,87	9,03	11,43	3,99
10.00	238,90	238,90	30,19	9,41	12,64	3,94
10.30	246,83	246,83	31,93	11,02	12,94	4,47
11.00	348,89	348,89	44,08	11,09	12,64	3,18
11.30	417,31	417,31	47,99	13,80	11,50	3,31
12.00	384,80	384,80	47,25	15,07	12,28	3,92
12.30	143,26	143,26	20,50	9,41	14,31	6,57
13.00	189,00	189,00	38,61	12,67	20,43	6,70
13.30	219,24	219,24	31,08	10,21	14,18	4,66
14.00	287,66	287,66	32,03	9,41	11,13	3,27
14.30	183,71	183,71	19,36	8,91	10,54	4,85
15.00	173,88	173,88	13,73	6,53	7,90	3,75
15.30	66,15	66,15	6,08	2,94	9,20	4,44
16.00	85,81	85,81	7,04	4,61	8,20	5,37
16.30	53,30	53,30	4,68	2,52	8,78	4,73
17.00	5,67	5,67	0,85	0,41	14,92	7,14
Maks	417,31	417,31	47,99	15,07	20,43	7,14
Min	5,67	5,67	0,85	0,41	6,10	2,90
Rerata	223,09	223,09	25,49	9,33	11,46	4,59

3. Penempatan sel surya diarahkan ke barat.

Data yang diperoleh hasil pengukuran intensitas radiasi cahaya matahari dan kinerja sel surya yang dihadapkan ke barat ditampilkan pada Tabel 4.3 di bawah ini. Tabel 4.3 tersebut menunjukkan bahwa kinerja yang diperoleh umumnya lebih kecil nilainya dibanding dengan kedua arah sebelumnya.

Tabel 4.3 Pengukuran kinerja sel surya (barat)

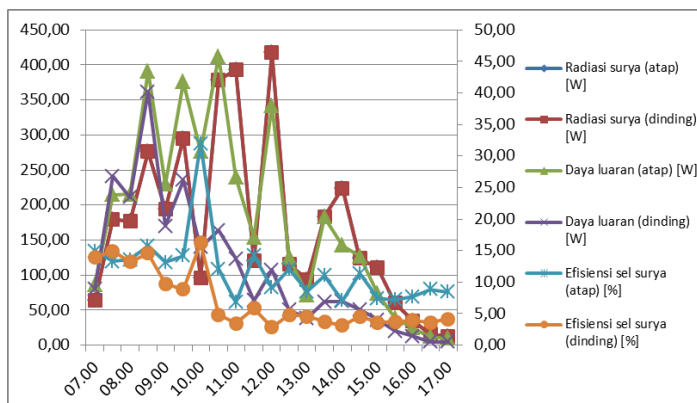
Pukul	P _{in} [A]	P _{in} [D]	P _{out} [A]	P _{out} [D]	Ef. [A]	Ef. [D]
	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)	(%)	(%)
07.00	17,01	17,01	2,14	1,19	12,60	6,98
07.30	13,23	13,23	1,86	0,95	14,05	7,20
08.00	38,93	38,93	4,18	1,86	10,72	4,77
08.30	76,73	76,73	7,00	3,83	9,13	4,98
09.00	187,87	187,87	20,81	7,14	11,07	3,80
09.30	133,43	133,43	13,01	5,99	9,75	4,49
10.00	201,85	201,85	22,50	9,24	11,15	4,58
10.30	97,90	97,90	32,01	12,49	32,70	12,76
11.00	204,12	204,12	27,74	12,45	13,59	6,10
11.30	399,17	399,17	49,65	12,87	12,44	3,22
12.00	151,58	151,58	21,58	9,94	14,24	6,56
12.30	181,44	181,44	27,54	12,24	15,18	6,75
13.00	337,93	337,93	33,64	16,20	9,96	4,79
13.30	175,01	175,01	30,28	14,60	17,30	8,34
14.00	401,06	401,06	52,70	33,86	13,14	8,44
14.30	153,47	153,47	22,18	11,81	14,46	7,70
15.00	53,68	53,68	5,47	2,61	10,19	4,86
15.30	50,27	50,27	5,84	3,38	11,62	6,73
16.00	31,00	31,00	4,03	2,54	13,01	8,19
16.30	15,12	15,12	2,78	1,53	18,39	10,11
17.00	15,88	15,88	2,78	1,52	17,51	9,56
Maks	401,06	401,06	52,70	33,86	32,70	12,76
Min	13,23	13,23	1,86	0,95	9,13	3,22
Rerata	139,84	139,84	18,56	8,49	13,91	6,71

4.3 Pembahasan hasil penelitian

Pembahasan hasil penelitian sel surya ini diuraikan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Penempatan sel surya ke arah timur.

Pada hasil pengukuran yang ditampilkan tabel 4.1 data dibuat grafik pada gambar 4.2 berikut.

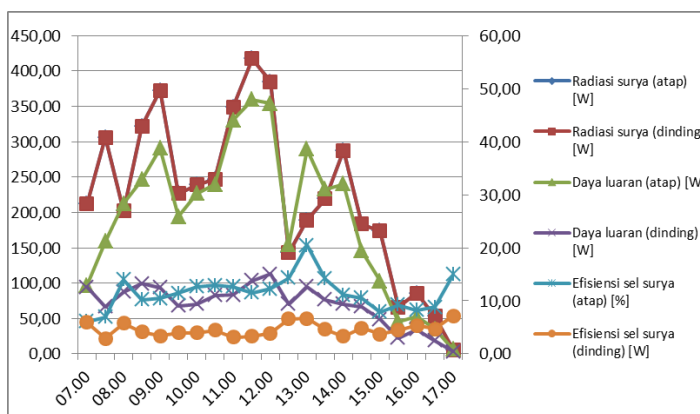


Gambar 4.2 Distribusi kinerja sel surya (timur)

Pada grafik, ditunjukkan bahwa kinerja sel surya meningkat menjelang siang hari, kemudian menurun menjelang sore hari. Hal ini menunjukkan ada peningkatan radiasi matahari pada jam puncak. Tampak pula, rentang waktu pagi menuju siang lebih tinggi dibanding dengan dari siang menuju sore hari. Posisi sel surya membelakangi terbenamnya matahari.

2. Penempatan sel surya ke arah utara.

Data dari Tabel 4.2 di atas, dibuat grafik yang disajikan pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 Distribusi kinerja sel surya (utara)

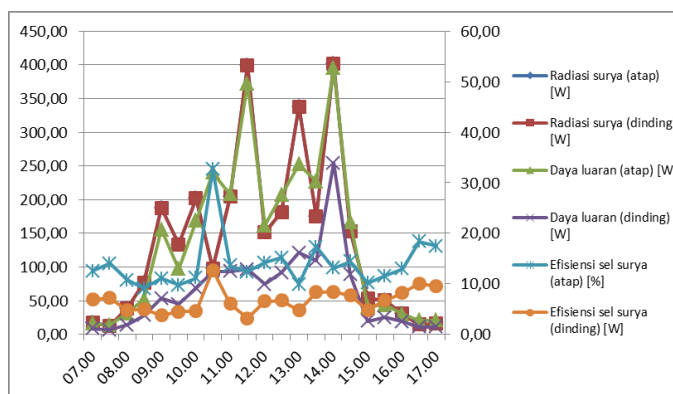
Pada gambar 4.3 yang menampilkan grafik distribusi kinerja sel surya yang menghadap ke arah utara, yang memberikan informasi besaran radiasi dan kinerja sel surya. Energi radiasi yang diterima jauh lebih besar baik di atap maupun di dinding jika dibandingkan dengan energi radiasi yang diterima sel surya pada arah timur. Penelitian sebelumnya

menyatakan, iradiasi tahunan pada fasad vertikal (dinding) lebih rendah dibanding atap, sehingga posisi atap lebih menguntungkan.

Data yang menarik adalah efisiensi sel surya yang ditempatkan menghadap utara sedikit lebih kecil dari efisiensi sel surya yang ditempatkan di timur. Hal dapat dijelaskan, bahwa ketika sel surya sudah mengkonversi menjadi energi listrik, sementara energi radiasi sudah berkurang karena posisi matahari yang telah bergerak menjauh dari tegak lurus dan cuaca yang mulai mendung.

3. Penempatan sel surya diarahkan ke barat.

Dari tabel 4.3 data diolah menjadi grafik yang digambarkan pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Distribusi kinerja sel surya (barat)

Grafik 4.4 di atas menggambarkan distribusi radiasi dan kinerja sel surya untuk arah barat, yang mana kedua sel surya ditempatkan di atap dan dinding. Untuk arah barat ini, kinerja sel surya lebih mendekati kesamaan dengan kinerja sel surya pada arah timur, terutama efisiensinya.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil pembahasan di atas menyimpulkan hasil penelitian sebagai berikut:

1. Kinerja sel surya yang dihadapkan ke timur, memberikan daya luaran rata-rata maksimal pada sel surya yang ditempatkan di atas sebesar 19,81 W. Sementara efisiensi rata-rata maksimal dicapai sel surya yang ditempatkan di atap juga sebesar 11,84 %.
2. Kinerja sel surya yang diarahkan ke utara, memberikan daya luaran rata-rata maksimal diperoleh sel surya yang di tempatkan di atas sebesar 25,49 W. Untuk efisiensi rata-rata maksimal dihasilkan sel surya yang ditempatkan di atap juga sebesar 11,46%.
3. Kinerja sel surya yang dihadapkan ke barat, memberikan daya luaran rata-rata maksimal dihasilkan sel surya yang di tempatkan di atap sebesar 18,56 W. Sementara efisiensi rata-rata terbesar dihasilkan sel surya yang ditempatkan di atap sebesar 13,91%.

5.2 Saran

Saran yang disampaikan berkaitan penelitian sel surya ini, adalah:

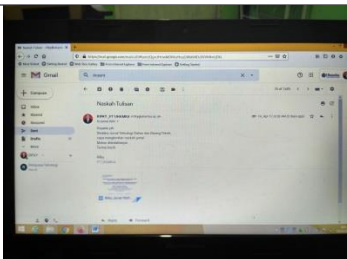
1. Pemasangan sel surya terdapat pada ketiga sisi (timur, utara, barat) sehingga didapatkan data secara simultan.
2. Penggunaan sistem pendingin baik udara maupun air dapat dilakukan untuk menungkitkan kinerja sel surya.
3. Penelitian ini perlu dikembangkan dalam bentuk prototipe bangunan yang lebih sesuai dari ukuran dan materialnya, sehingga dapat tercapai sistem BIPV dan NZEB.

BAB 6. LUARAN YANG DICAPAI

Luaran yang dicapai berisi Identitas luaran penelitian yang dicapai oleh peneliti sesuai dengan skema penelitian yang dipilih.

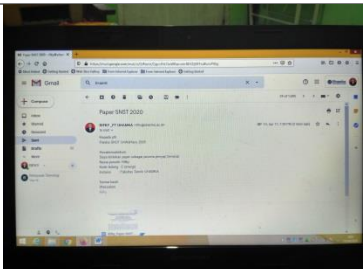
Jurnal

IDENTITAS JURNAL

1	Nama Jurnal	Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik
2	Website Jurnal	https://ejournal.b4t.go.id/index.php/JTBBT
3	Status Makalah	Submitted
4	Jenis Jurnal	Jurnal Nasional terakreditasi.
4	Tanggal Submit	17 April 2020
5	Bukti Screenshot submit	

Pemakalah di seminar

IDENTITAS SEMINAR

1	Nama Jurnal	Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 11, 2020
2	Website Jurnal	https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT
3	Status Makalah	Submitted
4	Jenis Prosiding	Prosiding Nasional
4	Tanggal Submit	17 April 2020
5	Bukti Screenshot submit	

BAB 7. RENCANA TINDAK LANJUT DAN PROYEKSI HILIRISASI

<p>Hasil Penelitian</p>	<p>Penelitian sel surya pada model bangunan ini mengembangkan keilmuan konversi energi dan teknologi material terutama bidang kajian energi terbarukan. Aplikasi sel surya pada bangunan akan mengembangkan bangunan tidak sekedar konsumen energi, melainkan juga sebagai produsen energi. Sel surya dapat terintegrasi dengan material bangunan membentuk sistem Building Integrated Photovoltaics (BIPV). Sementara dalam kajian keseimbangan energi dalam bangunan, maka diharapkan dalam bangunan terjadi Net Zero Energy Building (NZE). Penelitian ini membuka inovasi dalam pengembangan selanjutnya. Dalam model sederhana hasil penelitian dapat diterapkan dalam pengabdian masyarakat yang sukar mendapatkan listrik karena jaringan listrik belum tersedia.</p>
<p>Rencana Tindak Lanjut</p>	<p>Energi surya adalah energi yang berlimpah, sehingga penelitian tentang energinya terbuka luas. Terkait penelitian sel surya ini yang mengkonversi energi cahayanya menjadi energi listrik, maka kelanjutan penelitian adalah memanfaatkan energi termal matahari pada bangunan. Kemudian menggabungkan keduanya.</p>

DAFTAR PUSTAKA

- Agathokleous, R. A., & Kalogirou, S. A. (2016). Double skin facades (DSF) and building integrated photovoltaics (BIPV): A review of configurations and heat transfer characteristics. *Renewable Energy*, 89, 743–756. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.043>
- Armstrong, S., & Hurley, W. G. (2010). A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions. *Applied Thermal Engineering*, 30(11–12), 1488–1495. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012>
- Attoye, D. E., Aoul, K. A. T., & Hassan, A. (2017). A review on building integrated photovoltaic façade customization potentials. *Sustainability (Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/su9122287>
- Bari, P., & Orabona, V. E. (2010). *Thermographic Analysis of Photovoltaic Panels Key words*. 1(February 2009), 4–6.
- Cuce, E., & Cuce, P. M. (2014). Tilt Angle Optimization and Passive Cooling of Building-Integrated Photovoltaics (BIPVs) for Better Electrical Performance. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(11), 8199–8207. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1394-y>
- Delisle, V., & Kummert, M. (2014). A novel approach to compare building-integrated photovoltaics/thermal air collectors to side-by-side PV modules and solar thermal collectors. *Solar Energy*, 100, 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.09.040>
- Dincer, F., & Meral, M. E. (2010). Critical Factors that Affecting Efficiency of Solar Cells. *Smart Grid and Renewable Energy*, 01(01), 47–50. <https://doi.org/10.4236/sgre.2010.11007>
- Feng, H., Tian, X., Cao, S., Zhao, J., & Deng, S. (2016). Match performance analysis for a solar-driven energy system in net zero energy building. *Energy Procedia*, 88, 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.010>
- Good, C., Andresen, I., & Hestnes, A. G. (2015). Solar energy for net zero energy buildings - A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic-thermal (PV/T) systems. *Solar Energy*, 122(2015), 986–996. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.013>
- Jelle, B. P. (2016). Building integrated photovoltaics: A concise description of the current state of the art and possible research pathways. *Energies*, 9(1), 1–30. <https://doi.org/10.3390/en9010021>
- Jelle, B. P., & Breivik, C. (2012). State-of-the-art building integrated photovoltaics. *Energy Procedia*, 20(1876), 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.03.009>
- Jones, A. D., & Underwood, C. P. (2001). A thermal model for photovoltaic systems. *Solar Energy*, 70(4), 349–359. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00149-3](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00149-3)

- Kane, A., & Verma, V. (2013). Performance enhancement of building integrated photovoltaic module using thermoelectric cooling. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(2), 320–324.
- Naveen Chakkaravarthy, A., Subathra, M. S. P., Jerin Pradeep, P., & Manoj Kumar, N. (2018). Solar irradiance forecasting and energy optimization for achieving nearly net zero energy building. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(3). <https://doi.org/10.1063/1.5034382>
- Rahardjo, I., & Fitriana, I. (2005). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia. *Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan, P3TKKE, BPPT, Januari*, 43–52. Retrieved from http://www.geocities.ws/markal_bppt/publish/pltkcl/plrahard.pdf
- Sharma, S. K. (2013). Zero energy building envelope components: A review. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(2), 662–675.
- Tsalikis, G., & Martinopoulos, G. (2015). Solar energy systems potential for nearly net zero energy residential buildings. *Solar Energy*, 115(2015), 743–756. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.037>
- Wang, Y., Tian, W., Ren, J., Zhu, L., & Wang, Q. (2006). Influence of a building's integrated-photovoltaics on heating and cooling loads. *Applied Energy*, 83(9), 989–1003. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.10.002>
- Widiasanti, Ayu, A., & Hermawan, H. (2013). Analisis Penempatan Sel Surya Pada Atap Setengah Lingkaran Sebagai Aplikasi Sistem Tenaga Off Grid. *Transient*, II(3), 791–798.
- Zhang, T., Wang, M., & Yang, H. (2018). A review of the energy performance and life-cycle assessment of building-integrated photovoltaic (BIPV) systems. *Energies*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/en11113157>

LAMPIRAN

1. LAMPIRAN A: ARTIKEL JURNAL TEKNOLOGI BAHAN DAN BARANG TEKNIK

Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik
 Vol. 5, No. 1, Bulan Tahun: Hal-hal
 e-ISSN: 2715-6116 | p-ISSN: 2689-4767
 DOI: 10.37206/jbbr

**PENGARUH ARAH MATA ANGIN TERHADAP KINERJA SEL SURYA
 PADA ATAP DAN DINDING MODEL BANGUNAN**

***THE EFFECT OF CARDINAL DIRECTIONS TO THE PERFORMANCE OF
 SOLAR CELLS ON THE ROOF AND WALL OF BUILDING MODELS***

Rifky^{1*}, Dan Mugsidi² dan Agus Fikri³
¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
 Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA
 Jl Tanah Merdeka no.6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830
 Telp.(012) 8400397 Fax.(021) 8400397 Mobile +628151625297
 E-mail: rifky@uhamka.ac.id

Diterima: xxxx Direvisi: xxxx Disetujui: xxxx

ABSTRAK

Pemanfaatan energi matahari yang mengubah energi cahayanya menjadi listrik melalui sistem sel surya dan aplikasinya dalam bangunan sangat tepat. Penempatan sel surya pada bangunan di atap, dinding, kaca, atau fasade. Posisi sel surya dimaksudkan untuk mendapatkan sebanyak mungkin pancaran cahaya matahari. Salah satu faktor yang memberi kontribusi terhadap kinerja sel surya adalah posisi jatuhnya cahaya matahari di atas permukaan modul sel. Sel surya mendapatkan radiasi yang maksimal ketika cahaya matahari jatuh tegak lurus. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kinerja sel surya yang semaksimal mungkin dengan menempatkannya pada atap dan dinding dengan menerima datangnya cahaya matahari dari tiga arah mata angin. Sel surya dihadapkan ke arah timur, utara, dan barat. Hasil penelitian ini mendapatkan daya luaran terbesar sel surya di atap pada arah utara yaitu 25,49 W. Efisiensi terbesar sel surya di atap pada arah barat yaitu 13,91%. Perbedaan kinerja antara sel surya di atap dengan di dinding lebih signifikan pada penempatan menghadap ke utara.

Kata kunci: surya, sel surya, atap, dinding.

ABSTRACT

Utilization of solar energy that converts light energy into electricity through solar cell systems and its application in buildings is very appropriate. Placement of solar cells in buildings on the roof, walls, glass, or facade. The position of the solar cell is intended to get as much sunlight as possible. One factor that contributes to the performance of solar cells is the position of the falling sunlight on the surface of the cell module. Solar cells get maximum radiation when sunlight falls perpendicularly. This research aims to get the maximum solar cell performance by placing it on the roof and walls by receiving the arrival of sunlight from the three cardinal directions. Solar cells are faced east, north and west. The results of this study get the largest power output of solar cells on the roof in the north direction of 25.49 W. The greatest efficiency of solar cells on the roof in the west is 13.91%. The difference in performance between solar cells on the roof and on the wall is more significant on north-facing placement.

Keywords: solar, solar cells, roof, walls.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara tropis yang mendapat curahan panas dan cahaya matahari sepanjang tahun, karena terletak di katulistiwa tepatnya dengan geografis 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT [1]. Intensitas radiasi matahari rata-rata di seluruh wilayah Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² memiliki potensi yang siap untuk dimanfaatkan [2]. Matahari merupakan sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan dalam bentuk energi panas (termal) dan dengan mengkonversinya langsung menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi termal surya sudah sejak dahulu yang dimanfaatkan dalam pengeringan, sedangkan konversi langsung energi

*Corresponding author:
 Email: rifky@uhamka.ac.id
 DOI: <http://dx.doi.org/10.37206/jbbr>

1

2. LAMPIRAN B: ARTIKEL PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DAN TEKNOLOGI 11, 2020

