

BAB 5

LANDASAN TEORI

Permasalahan utama dan spesifik sangat berkaitan erat dengan fungsi bangunan terhadap kondisi lingkungan dan topik yang diangkat. Oleh karena itu, beberapa permasalahan utama tersebut harus diselesaikan secara tepat menggunakan beberapa teori pendukung, antara lain :

5.1 Landasan Teori untuk Memecahkan Masalah 1

Bangunan hemat energi adalah bangunan yang, karena desain, teknologi, dan bahan konstruksinya, menggunakan lebih sedikit energi daripada yang seharusnya digunakan. Meskipun *Energy-Saving* masih jarang di Indonesia, konsep ini semakin penting dan populer. Pendekatan *Energy-Saving* selain mengurangi beban penggunaan energi listrik, juga berpotensi mengurangi emisi karbon dan mencegah pemanasan global dan perubahan iklim.

Peraturan tentang perlunya mendorong *Energy-Saving* seperti :

- Keputusan Menteri ESDM No. 0983 K/16/MEM/ 2004 tentang Kebijakan Energi Nasional
 - Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional
- Peraturan-peraturan ini akan ditampilkan dengan jelas pada lembar lampiran.

Bangunan hemat energi adalah bangunan yang, karena desain, teknologi, dan bahan konstruksinya, menggunakan lebih sedikit energi daripada yang seharusnya digunakan. Meskipun *Energy-Saving* masih jarang di Indonesia, konsep ini semakin penting dan populer. Pendekatan *Energy-Saving* selain mengurangi beban penggunaan energi listrik, juga berpotensi mengurangi emisi karbon dan mencegah pemanasan global dan perubahan iklim.

Untuk mencapai efisiensi penggunaan energi, *Energy-Saving Design* sering menggunakan iklim lahan sebagai sumber pencahayaan alami dan ventilasi pada bangunan, dan juga menggabungkan energi listrik dan matahari yang dikonversi melalui *photovoltaic*, juga energi angin melalui *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT).

Energy-Saving Design dibangun dengan fitur hemat energi yang signifikan tergantung pada iklim, seperti jendela seperti bukaan untuk cahaya alami di dalam gedung dan pencahayaan LED di malam hari yang menggunakan 1/3 kali lebih kecil dari lampu pijar. Dan beban listrik lainnya dapat dikurangi dengan menggunakan tenaga ganda, tidak hanya melalui sumber tenaga listrik, tetapi juga diperoleh dari tenaga surya dan tenaga angin yang dikonversi.

Perancangan bangunan *Energy-Saving* juga dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui perancangan desain pasif dan juga aktif.

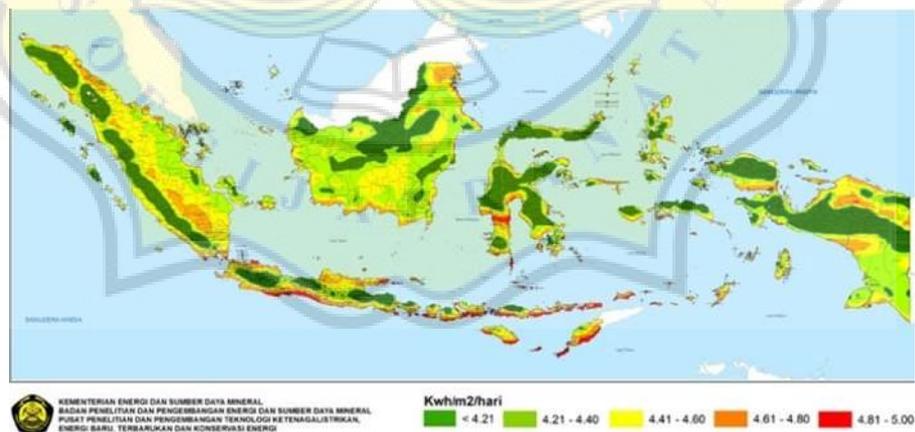
Passive Design

Desain pasif adalah cara untuk menghemat energi melalui penggunaan energi matahari secara pasif, yaitu tanpa mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Desain pasif lebih mengandalkan kemampuan arsitek daripada bagaimana desain bangunan itu sendiri mampu "mengantisipasi" masalah iklim eksternal. Desain pasif di daerah tropis lembab seperti Indonesia umumnya dilakukan untuk melihat bagaimana pemanasan bangunan akibat radiasi matahari dapat dicegah.

Active Design

Dalam pemanfaatan energi di alam, diperlukan data atau informasi mengenai potensi energi aktual yang tersedia di lokasi instalasi dan pemanfaatannya sesuai dengan kebutuhan di lokasi tersebut. Kajian dan evaluasi yang lebih tepat terhadap kedua aspek tersebut disertai dengan aspek ekonomi akan menghasilkan pemanfaatan yang optimal dari sistem konversi energi di satu lokasi.

Tenaga surya telah banyak digunakan di banyak negara. Jika dimanfaatkan dengan baik, sumber energi terbarukan yang melimpah ini dapat memenuhi kebutuhan energi dunia sehari-hari. Potensi energi surya pada suatu daerah sangat bergantung pada besarnya jarak posisi antara matahari dan juga posisi daerah tersebut. Indonesia merupakan daerah dengan potensi energi matahari yang melimpah karena selalu mendapat sinar matahari sepanjang tahun, baik pada musim kemarau maupun musim penghujan. Oleh karena itu, Indonesia perlu memanfaatkan sumber energi terbarukan, salah satunya energi surya. Pemanfaatan energi terbarukan dapat dilakukan secara langsung dengan mengubah radiasi matahari melalui panel surya menjadi energi listrik. Potensi radiasi matahari di Indonesia dapat dilihat pada gambaran peta Indonesia berikut.



Gambar 19 – Peta Potensi Energi Surya di Indonesia
(Sumber: esdm.go.id)

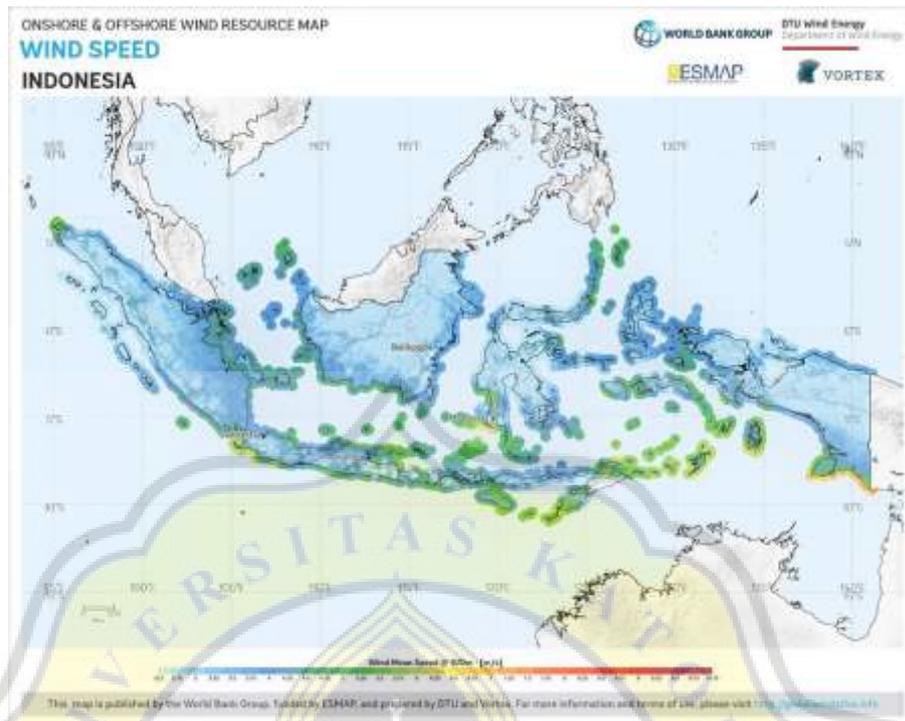
Potensi tenaga angin Indonesia diidentifikasi sekitar 978 MW. Di berbagai tempat di Indonesia, lembaga pemerintah (LAPAN, BMKG) telah melakukan berbagai penyelidikan dan pengukuran potensi energi angin. Potensi energi angin di darat terbatas, dengan kecepatan angin rata-rata antara 3 m/s sampai 7 m/s.

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) merupakan salah satu potensi besar dalam pengembangan ketenagalistrikan nasional, terutama di daerah yang memiliki potensi kecepatan angin lebih dari 4 meter per detik (m/s). Berikut adalah tabel potensi energi angin di Indonesia :

Tabel 31 – Potensi Energi Angin di Indonesia

Kelas	Kec.angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m ²)	Jumlah Lokasi	Daerah/Wilayah
Kurang Potensial	< 3,0	< 45	66	Sumbar, Bengkulu, Jambi, Jateng, NTB, Kalses, NTT, Sultra, Sulut, Maluku
Potensi Rendah (skala Kecil)	3,0 – 4,0	< 75	34	Lampung, DIY, Bali, Jatim, Jateng, NTB, Kalsel, NTT, Sulut, Sulteng, Sumut, Sulbar
Potensi Menengah (Skala Menengah)	4,1 – 5,0	75 – 150	34	Bengkulu, Banten, DKI, Jateng, Jatim, NTB, NTT, Sultra, Sulteng, Gorontalo, Sulsel
Potensi Tinggi (Skala Besar)	> 5,0	> 150	19	DIY, Jateng, Sulsel, NTB, NTT, Sulut

(Sumber: Notosudjono, 2018)



Gambar 20 – Peta Potensi Energi Angin di Indonesia
(Sumber: esdm.go.id)

Dari hasil data diatas dapat disimpulkan bahwa untuk penerapan *Energy-Saving Design* di wilayah Kota Bandung, lebih sesuai dengan menggunakan energi surya dan energi angin dalam bentuk penerapan *photovoltaic* dan HAWT pada bangunan. Hal ini dikarenakan letak wilayah Kota Bandung yang termasuk dataran tinggi dan berada di kawasan pusat kota dimana kurang cocok dengan penerapan energi air, dan berdasarkan data energi surya dan energi angin di wilayah Kota Bandung yang memiliki potensi optimal untuk diterapkan disbanding energi terbarukan lainnya.

5.1.1 Photovoltaics Panel (PV)

Panel *photovoltaic* merupakan implementasi dari teknologi energi terkini, yaitu suatu perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi foton dari sinar matahari menjadi energi listrik. Dalam proses pembangkitan arus listrik terdapat efek *photovoltaic* dimana pelat yang terkena sinar matahari akan bereaksi sehingga dapat dihasilkan energi listrik.

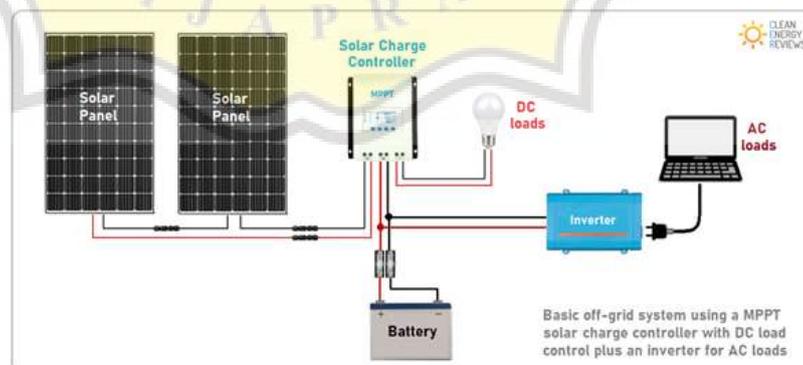
Panel *photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, TiO₂, dll. Bahan yang sering digunakan dalam pembuatan *photovoltaic* adalah silikon, yang memiliki sifat isolasi dan konduktif sehingga peka terhadap intensitas sinar matahari. Dalam pengoperasiannya, *photovoltaic* mungkin tidak dalam kondisi ideal dimana tidak ada gangguan yang mempengaruhi kinerja modul photovoltaic. Gangguan tersebut dapat berupa perubahan intensitas matahari, perubahan posisi matahari sebagai fungsi waktu, kecepatan angin dan lain-lain.

Photovoltaic telah banyak digunakan sebagai energi alternatif untuk mengatasi krisis energi akibat pemanasan global yang melanda dunia saat ini. *Photovoltaic* terdiri dari sekumpulan sel surya dimana akan dihasilkan efek *photovoltaic* bila terkena intensitas matahari sehingga dapat menghasilkan arus listrik. Arus listrik tersebut dapat digunakan untuk keperluan lain atau untuk disimpan dalam suatu alat penyimpanan (storage battery). Kinerja *photovoltaic* akan mempengaruhi waktu pengisian baterai, jumlah energi yang dihasilkan, dan efisiensi *photovoltaic*.

Saat ini, beberapa produk untuk integrasi teknologi *photovoltaic* pada bangunan tersedia di pasaran, ditandai dengan desain yang canggih, fleksibilitas, perhatian terhadap detail dan berbagai warna, bentuk, dan tingkat transparansi untuk memenuhi kebutuhan apa pun. Sistem *photovoltaic* sekarang dapat diintegrasikan ke permukaan apa pun dan di elemen bangunan apa pun, mulai dari ubin hingga lengkungan atau jendela, elemen naungan, trotoar, dan elemen furnitur perkotaan.

Untuk mendapatkan jumlah energi listrik dengan konversi melalui energi surya secara maksimum, maka permukaan PV harus selalu mengarah ke posisi matahari berada. Selanjutnya energi listrik disimpan dalam baterai. Baterai disini berfungsi sebagai penyimpan energi listrik pada siang hari dan berfungsi sebagai sumber tenaga listrik pada malam hari. Untuk menjaga keseimbangan energi di dalam baterai diperlukan pengatur elektronik yang disebut *Battery Charge Regulator* atau *Solar Charge Controller*.

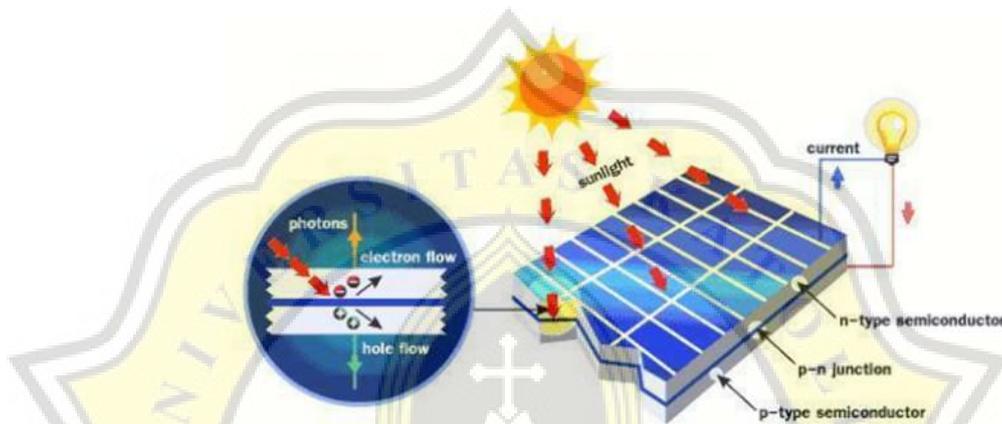
Alat ini digunakan untuk mengatur tegangan maksimum dan minimum baterai dan memberikan keamanan pada sistem, yaitu perlindungan terhadap pengisian berlebih (*overcharge*) oleh penyinaran matahari, pemakaian berlebih (*overdischarge*) oleh beban, mencegah terjadinya arus balik ke modul surya, melindungi terhadap korsleting pada beban listrik dan sebagai interkoneksi dari komponen-komponen lainnya.



Gambar 21 – Prinsip Kerja PV pada Bangunan
(Sumber: clearenergyreviews.info)

Secara sederhana, proses pembentukan gaya gerak listrik (GGL) pada sebuah sel surya adalah sebagai berikut:

- Foton dari cahaya matahari menumbuk panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
- Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik.
- Gabungan/susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik DC.



Gambar 22 – Skema PV
(Sumber: Bambang, 2020)

Kecepatan di mana energi matahari mencapai wilayah bumi disebut "iradiasi matahari" atau "insolasi." Insolasi adalah ukuran energi radiasi matahari yang diterima di satu area bumi pada suatu waktu. Satuan ukuran untuk radiasi adalah watt per meter persegi (W/m^2).

Iklm tropis dicirikan oleh suhu dan kelembaban yang tinggi. Suhu udara bervariasi antara $220^{\circ}C$ dan $320^{\circ}C$. Suhu udara yang tercatat oleh BMG menunjukkan adanya peningkatan suhu setiap tahunnya. Kelembaban sangat tinggi, lebih dari 75%. Perubahan iklim sulit diprediksi karena mendung. Radiasi dari matahari tersaring tetapi masih cukup kuat dan juga menghasilkan silau.

Daerah tropis memiliki durasi penyinaran matahari yang tidak mengalami perbedaan yang signifikan sepanjang tahun. Rata-rata lama penyinaran matahari di daerah tropis adalah 66%. Maksimum pada bulan Maret dan April adalah 72%, minimum pada bulan Juni adalah 61%. Awan di musim panas mengurangi intensitas radiasi matahari.

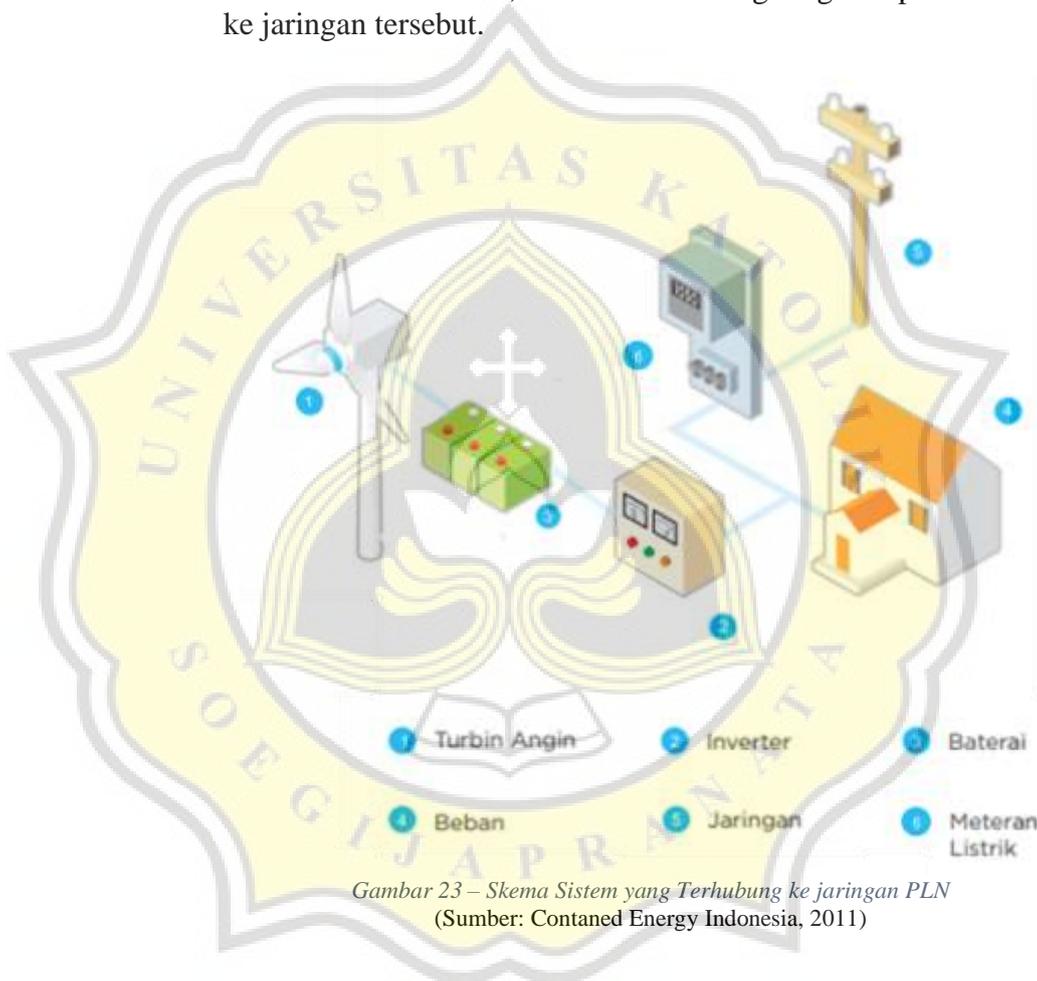
5.1.2 Wind Turbine

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Turbin angin saat ini telah banyak digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik bagi masyarakat, dengan

menggunakan prinsip konversi energi dari angin menjadi listrik. Meski sejauh ini pembangunan kincir angin masih kalah bersaing dengan pembangkit listrik konvensional.

Prinsip kerja dasar pada sebuah turbin angin adalah dengan perubahan energi mekanik angin menjadi energi putar pada kincir angin, yang kemudian putaran kincir tersebut digunakan sebagai sumber energi yang akan memutar generator untuk dapat menghasilkan listrik. Tiga jenis utama sistem tenaga angin dapat dibedakan:

- a. Sistem yang terhubung ke jaringan PLN. Jika jaringan PLN sudah ada di daerah tersebut, maka sistem energi angin dapat terhubung ke jaringan tersebut.



Gambar 23 – Skema Sistem yang Terhubung ke jaringan PLN
(Sumber: Contaned Energy Indonesia, 2011)

- b. Off-Grid atau sistem berdiri sendiri. Sistem dapat beroperasi tanpa dukungan eksternal; sangat cocok digunakan di daerah terpencil.



Gambar 24 – Skema Sistem Off-Grid
(Sumber: Contaned Energy Indonesia, 2011)

c. Sistem Listrik Hybrid. Turbin angin sebaiknya digunakan dengan sumber energi lain, seperti *photovoltaic*. Hal ini dapat meningkatkan produksi daya listrik dari sistem ini dan mengurangi risiko kekurangan daya.

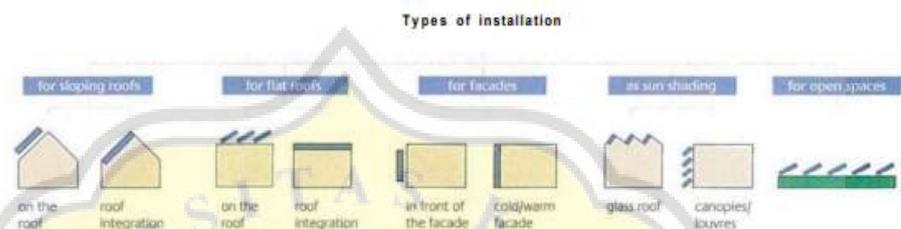


Gambar 25 – Skema Sistem Hybrid
(Sumber: Contaned Energy Indonesia, 2011)

5.2 Landasan Teori untuk Memecahkan Masalah 2

5.2.1 Penerapan Photovoltaics (PV)

Sebagian besar permukaan bangunan cocok untuk pemasangan susunan *photovoltaic* pada bangunan: atap dan fasad miring dan datar. Juga dapat diterapkan dengan instalasi pemasangan sendiri pada lahan.



Gambar 26 – Model Penerapan PV

(Sumber: Frank, 2007)

a. Atap

Ada banyak bentuk bingkai rangka atap PV yang tersedia di pasaran. Jika dulunya banyak merepotkan dan memakan waktu, sistem baru menunjukkan tren penghematan material dan perakitan yang disederhanakan dengan berbentuk persegi, U, C, dan L.



Gambar 27 – Bingkai Rangka Atap PV

(Sumber: Frank, 2007)

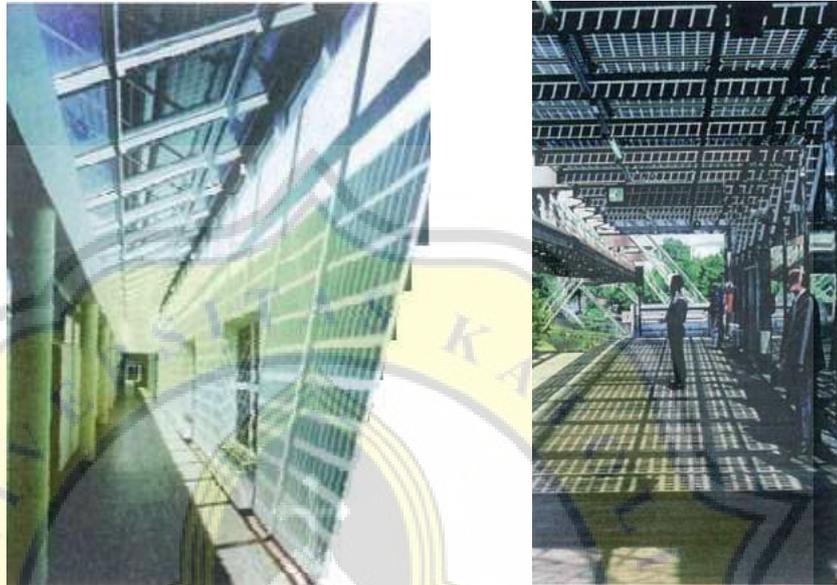
Untuk pemasangan di atap, modul film kaca tanpa bingkai dan berbingkai dapat digunakan. Mereka umumnya ditempatkan ujung ke ujung; Tetapi ada sistem di mana modul tanpa bingkai dilapis dari atas ke bawah seperti mosaik.



Gambar 28 – Penerapan PV pada Atap Bangunan

(Sumber: Frank, 2007)

Atap kaca sering dilengkapi dengan perangkat pelindung matahari tambahan untuk mencegah panas berlebih atau silau yang mempengaruhi area di bawahnya. Di sini dimungkinkan untuk menggunakan PV untuk memberikan naungan dan perlindungan terhadap silau.



Gambar 29 – Atap PV Glass
(Sumber: Frank, 2007)

b. Sun Shading

Kaca ekstensif yang digunakan pada fasad dan langit-langit pada bangunan modern (misalnya fasad kaca) memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap iklim bangunan.

Sementara *sun shading* memberikan perlindungan terhadap radiasi matahari, PV membutuhkan energi matahari. Fungsi-fungsi yang tampaknya bertentangan ini dapat digabungkan. Kedua elemen tersebut membutuhkan orientasi optimal terhadap matahari.



Gambar 30 – Penerapan PV pada Sun Shading
(Sumber: Frank, 2007)

c. Sistem pemasangan untuk instalasi berdiri sendiri

Seperti halnya modul PV yang dipasang pada bangunan, instalasi berdiri sendiri memerlukan struktur pendukung yang kuat dan tahan cuaca. Slab batu atau beton sering digunakan sebagai fondasi bantalan, yang dibuat di muka atau dibuat di lokasi. Dibandingkan dengan ini, baut baja atau pondasi tiang kayu mengurangi pemadatan dan penyegelan tanah, dan lebih mudah untuk dilepas dan dibuang. Radiasi panas yang disebabkan oleh pondasi batu atau beton tidak terjadi. Tidak diperlukan pekerjaan tanah untuk memasangnya dan pondasi dapat langsung membawa beban. Namun, mereka tidak cocok untuk semua jenis medan dan membutuhkan kedalaman yang cukup.

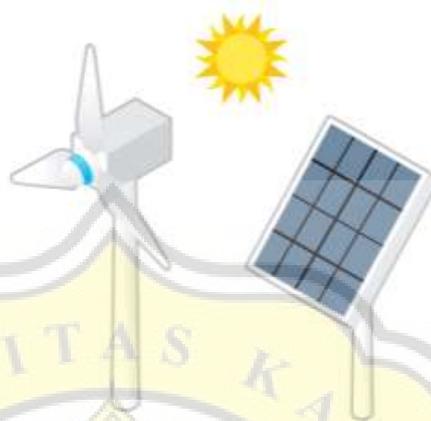
Bingkai dapat dibuat dari kayu dan logam. Keseimbangan energi yang baik dan pemindahan kayu mentah yang mudah harus dipertimbangkan dengan cermat terhadap manfaat biaya dan perakitan cepat rangka logam pracetak yang dibuat dari komponen standar dan diproduksi massal. Dengan luas permukaan modul bersebelahan skala besar, harus dipastikan bahwa drainase tidak terhambat, misalnya dengan menyediakan ruang yang cukup antara modul sehingga hujan dapat mengalir.



Gambar 31 – Penerapan PV Stand Alone pada Lahan
(Sumber: Frank, 2007)

Sistem *photovoltaic* (PV) dapat dikelompokkan menjadi sistem yang berdiri sendiri dan sistem yang terhubung ke jaringan. Dalam sistem otonom, hasil energi matahari sesuai dengan permintaan energi. Karena kinerja energi surya seringkali tidak sesuai dengan waktu

dengan permintaan energi dari beban yang terhubung, sistem penyimpanan tambahan (baterai) umumnya digunakan. Jika sistem *photovoltaic* didukung oleh sumber daya tambahan, misalnya generator angin atau diesel, ini dikenal sebagai sistem *photovoltaic hybrid*.

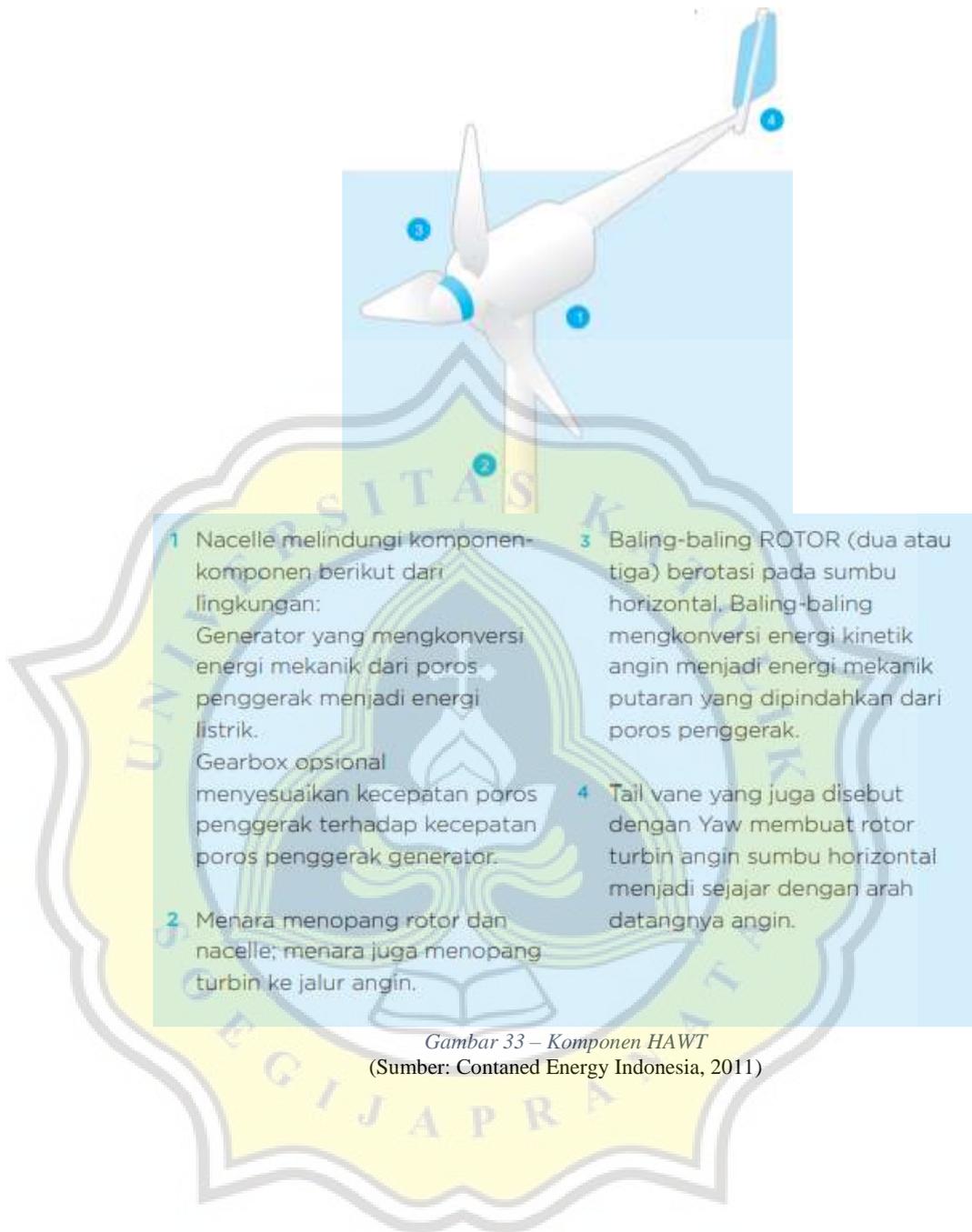


Gambar 32 – Sistem Hybrid
(Sumber: Contaned Energy Indonesia, 2011)

5.2.2 Penerapan Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) memiliki keuntungan yang memberikan kinerja lebih baik pada produksi energi dibandingkan dengan turbin angin dengan sumbu vertikal. Dan juga HAWT berkapasitas 3kW menghasilkan listrik 5.000-7.000 kWh per tahun (kecepatan angin 5.4m/detik).

Besar kecilnya turbin yang akan dipasang tergantung pada beban dan kecepatan angin di Kota Bandung. Total beban energi harian harus diperkirakan terlebih dahulu. Untuk sistem *hybrid*, bagian beban yang diharapkan tersedia dari turbin angin harus ditentukan. Ditambah 50% untuk mentolerir kerugian yang disebabkan oleh angin yang tidak rata. Selanjutnya dihitung jam-jam angin puncak pada kecepatan angin yang dinilai, yang harus sesuai dengan jumlah jam dimana kecepatan angin akan bertiup yang dihitung dari turbin tersebut, biasanya 11 atau 12 m/s. dengan membagi beban dengan jam-jam puncak akan memberikan perkiraan besar mengenai ukuran turbin angin yang diperlukan.



Gambar 33 – Komponen HAWT
 (Sumber: Contaned Energy Indonesia, 2011)