

PEMILIHAN ALTERNATIF ENERGI TERBARUKAN DI KABUPATEN MALANG

Luqman Maajid, Bayu Adhi Nugroho

Abstract: Kebutuhan akan energi semakin meningkat, akan tetapi sumber energi yang berasal dari fosil semakin lama semakin habis. Dengan demikian akan terjadi kelangkaan sumber energi dalam waktu yang cukup lama. Padahal sumber energi selain fosil sangat besar sehingga perlu adanya pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk alternatif pembangkit listrik. Penelitian ini bertujuan untuk memilih alternatif sumber energi listrik yang dapat dikembangkan di Kabupaten Malang dengan pendekatan *Binary Dominance Matrix*. Dalam penelitian ini terdapat dua alternatif sumber energi listrik yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Matahari dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu yang nantinya dipilih satu alternatif sumber energi listrik terbaik dengan menggunakan metode *Binary Dominance Matrix*. Dari hasil penelitian didapatkan alternatif sumber energi listrik terbaik adalah dengan memanfaatkan tenaga matahari (PLTS).

Kata kunci: energi terbarukan, binary dominance matrix.

Tingkat konsumsi energi dunia saat ini diprediksikan akan meningkat sebesar 70 persen antara tahun 2000 sampai 2030. Sumber energi yang berasal dari fosil, yang saat ini menyumbang 87,7 persen dari total kebutuhan energi dunia diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru. Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Disamping itu meningkatnya penggunaan sumber energi fosil membawa dampak lain yaitu terjadinya pemanasan global dan polusi lingkungan yang sudah pada tingkat yang sangat mengkhawatirkan.

Bagi Indonesia, krisis energi tersebut khususnya dengan meroketnya harga minyak mentah (*Crude oil*) dari taksiran awal 30 US\$/barrel menjadi 65 US\$/barrel menjadikan bumerang bagi situasi perekonomian Indonesia. Dampak negatifnya adalah pengurangan subsidi secara bertahap yang memberikan problematika sosial bagi rakyat dan bangsa Indonesia sehingga pemerintah dan masyarakat berupaya keras mencari solusinya. Namun dibalik itu ada dampak positif berupa kesadaran untuk hemat energi dan melakukan upaya pencarian sumber energi lain yang layak secara teknis dan ekonomis serta tidak merusak lingkungan.

Dalam penelitian ini menjadikan kondisi tersebut sebagai dasar pemikiran untuk mencoba melakukan pengembangan sumber energi terbarukan. Daerah yang dipilih sebagai tempat studi kasus dalam penelitian ini adalah Kabupaten Malang. Hal tersebut bisa dilihat dari data statistik yang diterbitkan Biro Pusat Statistik (BPS) tahun 2007–2012 bahwa 50 % dari pasokan daya yang dikeluarkan PLN adalah untuk industri. Selain dari PLN biasanya perusahaan mempunyai cadangan sumber energi listrik berupa Generator Set (Genset) yang berbahan bakar Solar ataupun premium. Pada kurun periode antara 2007 sampai 2012 tersebut harga Tarif Dasar Listrik (TDL) dan harga bahan bakar solar industri telah mengalami kenaikan yang signifikan sehingga semakin memberatkan perusahaan. Untuk itulah diperlukan suatu analisis kemungkinan pengembangan sumber energi listrik alternatif yang bisa menggantikan PLN-Genset tersebut bagi perusahaan. Dengan ketersediaan sumber energi listrik yang memadai dan

tidak memberatkan bagi perusahaan, maka pada akhirnya akan merangsang minat investor untuk menanamkan modalnya di Kabupaten Malang.

Di antara sumber energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan (seperti turbin angin, tenaga air (*hydro power*), energi gelombang air laut, sel surya, tenaga panas bumi, *fuel cell*, dan bio-energi), Yang menjadi permasalahan dari pemanfaatan sumber energi tersebut adalah masih rendahnya efisiensi konversi energi yang dihasilkan, namun jika ditinjau dari isu seperti yang disebutkan diatas maka pengembangan sumber energi terbarukan sudah saatnya untuk dipertimbangkan dengan serius.

Dari deskripsi beberapa macam sumber energi terbarukan tersebut, Kabupaten Malang dengan kondisi geografis daerah tropis memiliki potensi besar khususnya untuk sumber energi yang berbasis energi matahari dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Pertimbangan pemilihan alternatif pembangkit listrik tenaga matahari dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah sebagai gambaran, energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69 persen dari total energi pancaran matahari. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai 3×10^{24} joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt, sedangkan potensi energi surya Indonesia sebagai negara tropis menurut Mulyo Widodo, dosen Teknik Mesin ITB dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas satu meter persegi akan mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Lebih jauh pakar solar sel dari Jurusan Fisika ITB Wilson Wenas menyatakan bahwa total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mampu mencapai 4500 watt hour per meter persegi yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini. Dengan letaknya di daerah katulistiwa, matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya.

Berdasarkan latar belakang permasalahan serta potensi itulah diperlukan analisis pemilihan alternatif sumber energi terbarukan, sehingga diperoleh keputusan yang komprehensif sumber energi terbarukan mana yang cocok untuk diterapkan di Kabupaten Malang.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya/Matahari

Pembangkit Listrik Tenaga Matahari (*Solar cell*) adalah pembangkit listrik yang bersumber pada energi matahari. Cara kerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah dengan menggunakan *Grid-Connected* panel sel surya *Photovoltaic* untuk perumahan. Modul sel surya *Photovoltaic* merubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui suatu *inverter* (pengatur tenaga) yang merubahnya menjadi arus listrik AC, dan juga dengan otomatis akan mengatur seluruh sistem. Listrik AC akan didistribusikan melalui suatu panel distribusi *indoor* yang akan mengalirkan listrik sesuai yang dibutuhkan peralatan listrik. Besar dan biaya konsumsi listrik yang dipakai akan diukur oleh suatu *Watt-Hour Meters*.

Komponen utama sistem surya *photovoltaics* adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya *photovoltaics*. Untuk membuat modul *photovoltaics* secara pabrikasi bisa menggunakan teknologi kristal dan *thin film*. Modul *photovoltaics* kristal dapat dibuat dengan teknologi yang relatif sederhana, sedangkan untuk membuat sel *photovoltaics* diperlukan teknologi tinggi.

Modul *photovoltaics* tersusun dari beberapa sel *photovoltaics* yang dihubungkan secara seri dan paralel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul sel surya yaitu sebesar 60% dari biaya total. Jadi, jika modul sel surya itu bisa diproduksi di dalam

negeri berarti akan bisa menghemat biaya pembangunan PLTS. Untuk itulah, modul pembuatan sel surya di Indonesia tahap pertama adalah membuat bingkai (*frame*), kemudian membuat laminasi dengan sel-sel yang masih diimpor. Jika permintaan pasar banyak maka pembuatan sel dilakukan di dalam negeri. Hal ini karena teknologi pembuatan sel surya dengan bahan silikontunggal dan *polycrystal* secara teoritis sudah dikuasai. Dalam bidang *photovoltaics* yang digunakan pada PLTS, Indonesia ternyata telah melewati tahapan penelitian dan pengembangan dan sekarang menuju tahapan pelaksanaan.

Teknologi ini cukup canggih dan keuntungannya adalah harganya murah, bersih, mudah dipasang dan dioperasikan dan mudah dirawat. Sedangkan kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya *photovoltaics* adalah investasi awal yang besar dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan relatif tinggi, karena memerlukan subsistem yang terdiri atas baterai, unit pengatur dan inverter sesuai dengan kebutuhannya.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin

Pembangkit listrik tenaga bayu/angin ini memanfaatkan energi angin untuk membangkitkan listrik. Turbin angin, seperti halnya dengan kincir angin, dipasang di sebuah menara untuk menangkap sebanyak mungkin energi. Pada 100 feet (30,5 meter) atau lebih di atas tanah, turbin dapat memanfaatkan angin yang lebih cepat dan kurang turbulen. Turbin menangkap energi angin dengan sudut-sudut yang mirip baling-baling. Biasanya, dua atau tiga baling-baling dipasang pada poros untuk membentuk sebuah rotor.

Cara kerja sudut hampir menyerupai sayap pesawat terbang. Bila angin bertiup, kantong udara bertekanan rendah membentuk pada sisi bawah sudut. Kantong udara bertekanan rendah kemudian menarik sudut ke arahnya, menyebabkan rotor berputar. Ini disebut *lift*. Gaya angkat (*lift*) jauh lebih kuat dari pada gaya angin yang melawannya dari sisi depan sudut, yang disebut *drag*. Kombinasi *lift* dan *drag* menyebabkan rotor berputar seperti sebuah baling-baling dan poros yang berputar juga memutar sebuah generator untuk menghasilkan listrik. Jenis energi ini akan mengubah tenaga kinetik ($0.5 mv^2$) dari angin menjadi energi bentuk lain (listrik, *windmill*, dan pompa). Sehingga untuk pembangkit listrik, formula yang umum digunakan adalah:

$$P [W] = 0.5 \times \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times A [m^2] \times \left(v \left[\frac{m}{s} \right] \right)^3 \times \text{efisiensi} \quad (1)$$

Sehingga faktor yang sangat berperan dalam pembangkitan energi angin adalah kecepatan, baru disusul luasan turbin (sudut), dan efisiensi kecepatan angin.

Binary Dominance Matrix

Metode *Binary dominance matrix* merupakan suatu metode yang diperkenalkan oleh Pugh untuk melakukan pembobotan terhadap kriteria-kriteria yang akan dibandingkan. Berikut ini merupakan contoh *Binary dominance matrix*:

Tabel 1. Contoh *Binary Dominance Matrix*

<i>Kriteria</i>	A	B	C	D	E	F	G	H	I	<i>Jumlah</i>	<i>Peringkat</i>
A Kapasitas torsi	\	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1
B Kemudahan penggantian roda gigi	0	\	0	1	1	1	0	0	1	4	5
C Keandalan operasi	0	1	\	1	1	1	0	0	1	5	4
D Pemenuhan spesifikasi lingkungan	0	0	0	\	0	0	0	0	1	1	8
E Ketentuan pengerjaan mesin	0	0	0	1	\	1	0	0	1	3	6
F Kemampuan menggunakan bagian jadi	0	0	0	1	0	\	0	0	1	2	7
G Dampak konsentrasi tekanan	0	1	1	1	1	1	\	0	1	6	3
H Biaya relative	0	1	1	1	1	1	1	\	1	7	2
I Lokasi aksial	0	0	0	0	0	0	0	0	\	0	9
										36	

Cara mengisi kriteria-kriteria yang akan dibandingkan pada kolom paling kiri (vertikal) dan baris paling atas (horisontal). Kemudian secara bergantian, kriteria-kriteria tersebut dibandingkan pada setiap barisnya. Jika kriteria pada sumbu vertikal lebih berbobot dibandingkan kriteria pada sumbu horisontal, maka diberikan angka 1 pada perpotongan sumbu vertikal dan sumbu horisontal tersebut. Sebaliknya, jika kriteria pada sumbu horisontal lebih berbobot dibandingkan kriteria pada sumbu vertikal, maka diberikan angka 0 pada perpotongan sumbu vertikal dan sumbu horisontal tersebut. Selanjutnya penilaian perbandingan tersebut dijumlahkan pada setiap barisnya, sehingga dapat diketahui kriteria mana yang lebih berbobot.

METODE

Pembangkit Listrik Tenaga Surya/Matahari

Pembangkit listrik tenaga surya mempunyai konsep sederhana, yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik dan suaranya bising. Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita.

Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (batere) 12 volt yang *maintenance free*. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungannya seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt. Modul sel surya itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari.

Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya itu merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt \pm 10 persen. Bila tegangan turun

sampai 10,8 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan itu terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki akan naik. Bila tegangan aki mencapai 13,2 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki tersebut.

Rangkaian kontroler pengisian itu sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dalam keadaan jadi di pasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit tersendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap yang siap pakai. Jadi, sistem sel surya dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri.

Biasanya panel surya itu di letakkan dengan posisi statis menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari. Orbit yang ditempuh bumi berbentuk elip dengan matahari berada di salah satu titik fokusnya. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya. Jadi, untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optional untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya. Kontroler seperti ini dapat dibangun, misalnya, dengan menggunakan mikrokontroler 8031. Kontroler ini tidak sederhana, karena terdiri dari bagian perangkat keras dan bagian perangkat lunak. Biasanya, paket sistem sel surya yang lengkap belum termasuk kontroler untuk menggerakkan panel surya secara otomatis supaya sinar matahari jatuh tegak lurus. Karena itu, kontroler macam ini cukup mahal.



Gambar 1. Contoh PLTS Aplikasi Mandiri

Cara Kerja *Photovoltaic*

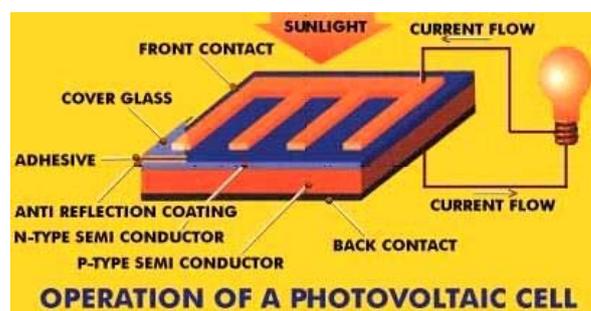
Cara kerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan menggunakan *Grid-Connected* panel sel surya *photovoltaic* untuk perumahan:

Modul sel surya *photovoltaic* merubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui suatu *inverter* (pengatur tenaga) yang merubahnya menjadi arus listrik AC, dan juga dengan otomatis akan mengatur seluruh sistem. Listrik AC akan didistribusikan melalui suatu panel distribusi *indoor* yang akan mengalirkan listrik sesuai yang dibutuhkan peralatan listrik. Besar dan biaya konsumsi listrik yang dipakai di rumah akan diukur oleh suatu *Watt-Hour Meters*.

Komponen utama sistem surya *photovoltaic* adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya *photovoltaic*. Untuk membuat modul *photovoltaic* secara pabrikasi bisa menggunakan teknologi kristal dan *thin film*. Modul *photovoltaic* kristal dapat dibuat dengan teknologi yang relatif sederhana, sedangkan untuk membuat sel *photovoltaic* diperlukan teknologi tinggi.

Modul *photovoltaic* tersusun dari beberapa sel *photovoltaic* yang dihubungkan secara seri dan paralel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul sel surya yaitu sebesar 60% dari biaya total. Jadi, jika modul sel surya itu bisa diproduksi di dalam negeri berarti akan bisa menghemat biaya pembangunan PLTS. Untuk itulah, modul pembuatan sel surya di Indonesia tahap pertama adalah membuat bingkai (*frame*), kemudian membuat laminasi dengan sel-sel yang masih diimpor. Jika permintaan pasar banyak maka pembuatan sel dilakukan di dalam negeri. Hal ini karena teknologi pembuatan sel surya dengan bahan *silicon single* dan *polycrystal* secara teoritis sudah dikuasai. Dalam bidang *photovoltaic* yang digunakan pada PLTS, Indonesia ternyata telah melewati tahapan penelitian dan pengembangan dan sekarang menuju tahapan pelaksanaan dan instalasi untuk elektrifikasi untuk pedesaan.

Teknologi ini cukup canggih dan keuntungannya adalah harganya murah, bersih, mudah dipasang dan dioperasikan dan mudah dirawat. Sedangkan kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya *photovoltaic* adalah investasi awal yang besar dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan relatif tinggi, karena memerlukan subsistem yang terdiri atas baterai, unit pengatur dan *inverter* sesuai dengan kebutuhannya.



Gambar 2. Material dari sel *photovoltaic*

Bahan sel surya sendiri terdiri kaca pelindung dan material *adhesive* transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan, material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semi-konduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran Silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik.

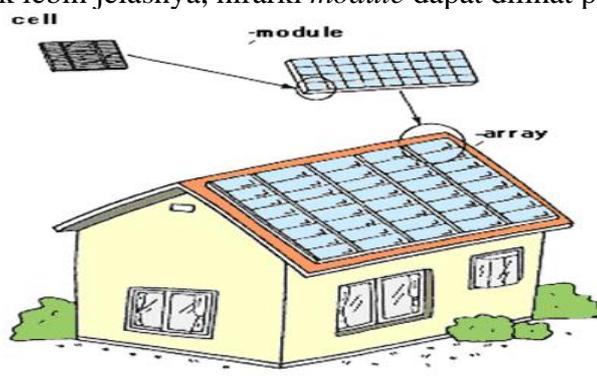


Gambar 3. Fabrikasi *Photovoltaic*

Komponen – Komponen PLTS.

A. Solar Module

Dalam bagian ini akan dijelaskan secara singkat komponen utama PLTS yaitu *solar module*. Setelah menjelaskannya, maka dilanjutkan dengan tren kedepan teknologi yang berkaitan dengan *solar module*. Sebelum membahas sistem pembangkit listrik tenaga surya, pertama-tama akan dijelaskan secara singkat komponen penting dalam sistem ini yang berfungsi sebagai perubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh komponen yang disebut *solar cell* yang besarnya sekitar 10 ~ 15 cm persegi. Komponen ini mengkonversikan energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor. *multicrystallinesilicon* adalah bahan yang paling banyak dipakai dalam industri *solar cell*. *Multicrystalline* dan *monocrystallinesilicon* menghasilkan efisiensi yang relatif lebih tinggi daripada *amorphoussilicon*. Sedangkan *amorphus silicon* dipakai karena biaya yang relatif lebih rendah. Selain dari bahan nonorganik diatas dipakai pula molekul-molekul organik walaupun masih dalam tahap penelitian. Sebagai salah satu ukuran performansi *solar cell* adalah efisiensi. Yaitu prosentasi perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Efisiensi dari *solar cell* yang sekarang diproduksi sangat bervariasi. *Monocrystalline silicon* mempunyai efisiensi 12~15%. *Multicrystallinesilicon* mempunyai efisiensi 10~13%. *Amorphoussilicon* mempunyai efisiensi 6~9%. Tetapi dengan penemuan metode-metode baru sekarang efisiensi dari *multicrystalline silicon* dapat mencapai 16.0% sedangkan *monocrystalline* dapat mencapai lebih dari 17%. Bahkan dalam satu konferensi pada September 2000, perusahaan Sanyo mengumumkan bahwa mereka akan memproduksi *solar cell* yang mempunyai efisiensi sebesar 20.7%. Ini merupakan efisiensi yang terbesar yang pernah dicapai. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu *solar cell* sangat kecil maka beberapa *solar cell* harus digabungkan sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut *module*. Produk yang dikeluarkan oleh industri-industri *solar cell* adalah dalam bentuk *module* ini. Pada aplikasinya, karena tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu *module* masih cukup kecil (rata-rata maksimum tenaga listrik yang dihasilkan 130 W) maka dalam pemanfaatannya beberapa *module* digabungkan dan terbentuklah apa yang disebut *array*. Sebagai contoh untuk menghasilkan listrik sebesar 3 kW dibutuhkan *array* seluas kira-kira 20 ~ 30 m². Secara lebih jelas lagi, dengan memakai *module* produksi Sharp yang bernomor seri NE-J130A yang mempunyai efisiensi 15.3% diperlukan luas 23.1m² untuk menghasilkan listrik sebesar 3.00 kW. Besarnya kapasitas PLTS yang ingin dipasang menambah luas area pemasangan. Untuk lebih jelasnya, hirarki *module* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hirarki *module* (*cell-module-array*)

B. Teknologi *Module*

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa trend berhubungan dengan teknologi *module*.

1. *Building-integrated module*

Selain dari pencarian bahan-bahan baru untuk meningkatkan efisiensi *module* yang nantinya akan meningkatkan tenaga listrik dengan luas yang sama, maka trend sekarang adalah memberikan nilai tambah *module* itu dengan menjadikan *module* sebagai bagian dari bangunan yang menambah keindahan bangunan tersebut dan menambah kenyamanan orang-orang yang tinggal di dalamnya. Disamping akan mengurangi biaya karena tidak diperlukan lagi biaya untuk pemasangan atap. Dari segi *module* sebagai komponen pembangkit listrik tidak ada perubahan dalam performansi yang dituntut. Tetapi dari segi *module* sebagai bahan bangunan maka diperlukan syarat-syarat tambahan, seperti syarat kekuatan, daya tahan terhadap hujan, angin, petir dan gangguan luar lainnya. Selain itu bagi para arsitektur syarat keindahan arsitektur juga diperlukan. Gambar di bawah ini memperlihatkan contoh *module* yang dipakai juga sebagai bahan atap bangunan.



Gambar 5. *Housing roof-integrated module* (sumber : JPEA)

2. *AC module*

Seperti yang telah diterangkan diatas *module* adalah komponen yang merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan adalah DC. Untuk dapat dimanfaatkan lebih banyak lagi biasanya listrik DC ini dirubah menjadi AC. Untuk diubah maka listrik DC dari beberapa *module* digabungkan dan dikonversikan menjadi AC dengan alat yang disebut *power conditioner*. Karena menggabungkan listrik dari beberapa *module* maka sistem pengkabelannya menjadi rumit dan kapasitas yang dibutuhkan dari *power conditionernya* pun menjadi besar. Untuk mengatasi persoalan ini, maka sekarang dikembangkan apa yang disebut *AC module*. Yaitu *module* yang langsung menghasilkan listrik AC. Secara prinsip tidak ada perubahan yang terjadi, tetapi secara teknologi diperlukan *power conditioner* berskala kecil yang dapat dipasang di belakang *module*. Contoh *power conditioner* yang sekarang banyak dipasarkan.



Gambar 6. *Power conditioner JH40EK*

Gambar diatas adalah produk dari Sharp yang dapat dihubungkan dengan 8~9 lembar *module*. Berat dari alat ini adalah sebesar 25 kg. Dua trend diatas adalah lebih pada pemberian nilai tambah *module* agar pemanfaatannya lebih luas lagi. Disamping dua hal tadi untuk mendukung perkembangan agar makin memasyarakatnya Pembangkit listrik tenaga surya maka dicari metode-metode baru untuk menurunkan biaya per watt listrik yang dihasilkan.

Versi standar umumnya dilengkapi dengan fungsi-fungsi untuk melindungi *battery/accu* dengan proteksi-proteksi berikut:

- LVD (*Low Voltage Disconnect*), apabila tegangan dalam *battery* rendah, ~11.2V, maka untuk sementara beban tidak dapat dinyalakan. Apabila tegangan *battery* sudah melewati 12V, setelah di *charge* oleh modul surya, maka beban akan otomatis dapat dinyalakan lagi (*reconnect*).
- HVD (*High Voltage Disconnect*), memutus listrik dari modul surya jika *battery/accu* sudah penuh. Listrik dari modul surya akan dimasukkan kembali ke *battery* jika *voltage battery* kembali turun.
- Short Circuit Protection*, menggunakan *electronic fuse* (sikring) sehingga tidak memerlukan *fuse* pengganti. Berfungsi untuk melindungi sistem PLTS apabila terjadi arus hubung singkat baik di modul surya maupun pada beban. Apabila terjadi *short circuit* maka jalur ke beban akan dimatikan sementara, dalam beberapa detik akan otomatis menyambung kembali.
- Reverse Polarity*, melindungi dari kesalahan pemasangan kutub (+) atau (-).
- Reverse Current*, melindungi agar listrik dari *battery/accu* tidak mengalir ke modul surya pada malam hari.
- PV Voltage Spike*, melindungi tegangan tinggi dari modul pada saat *battery* tidak disambungkan ke *controller*.
- Lightning Protection*, melindungi terhadap sambaran petir (s/d 20,000 volt).

Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu

Pembangkit listrik tenaga angin/bayu dalam bahasa inggris pembangkit jenis ini dikenal dengan sebutan *Wind Power*. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yaitu mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin.



Gambar 8. Konstruksi *Wind Power*

Keterangan:

1. *Blades*

Kebanyakan turbin baik dua atau tiga pisau. Angin bertiup di atas menyebabkan pisau pisau untuk mengangkat dan berputar.

2. Rotor
Pisau dan terhubung bersama-sama disebut rotor.
3. *Pitch*
Blades yang berbalik, atau nada, dari angin untuk mengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin yang terlalu tinggi atau terlalu rendah untuk menghasilkan listrik.
4. *Brake*
Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energi listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan. Kehadiran angin diluar diguaan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih diantaranya *overheat*, rotor *breakdown*, kawat pada generator putus karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.
5. *Low-speed shaft*
Mengubah poros rotor kecepatan rendah sekitar 30-60 rotasi per menit.
6. *Gear box*
Gears menghubungkan poros kecepatan tinggi di poros kecepatan rendah dan meningkatkan kecepatan sekitar 30-60 rotasi per menit (rpm), sekitar 1000-1800 rpm, kecepatan rotasi yang diperlukan oleh sebagian besar generator untuk menghasilkan listrik. gearbox adalah bagian mahal (dan berat) dari turbin angin dan insinyur generator mengeksplorasi *direct-drive* yang beroperasi pada kecepatan rotasi yang lebih rendah dan tidak perlu kotak gigi.
7. Generator
Biasanya standar induksi generator yang menghasilkan listrik dari 60 siklus listrik AC.
8. *Controller*
Pengontrol mesin mulai dengan kecepatan angin sekitar 8-16 mil per jam (mph) dan menutup mesin turbin sekitar 55 mph. tidak beroperasi pada kecepatan angin sekitar 55 mph di atas, karena dapat rusak karena angin yang kencang.
9. Anemometer
Mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.
10. *Wind vane*
Tindakan arah angin dan berkomunikasi dengan *yaw drive* untuk menggerakkan turbin dengan koneksi yang benar dengan angin.
11. *Nacelle*
Nacelle berada di atas menara dan berisi *gear box*, poros kecepatan rendah dan tinggi, generator, kontrol, dan rem.
12. *High-speed shaft*
Drive generator.
13. *Yaw drive*
Yaw drive yang digunakan untuk menjaga rotor menghadap ke arah angin sebagai perubahan arah angin.
14. *Yaw motor*
Kekuatan dari *drive yaw*.

15. *Tower*

Menara yang terbuat dari baja tabung (yang ditampilkan di sini), beton atau kisi baja. Karena kecepatan angin meningkat dengan tinggi, menara tinggi memungkinkan turbin untuk menangkap lebih banyak energi dan menghasilkan listrik lebih banyak.

Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari pembangkitan listrik tenaga angin ini yaitu awalnya energi angin memutar turbin angin. Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

Energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Faktor Yang Mempengaruhi Besarnya Energi Listrik

Rotor (kincir)

Rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, diameter rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter semakin besar pula listrik yang dihasilkan, dilihat dari jumlah sudut rotor (baling-baling), sudut dengan jumlah sedikit berkisar antara 3 – 6 buah lebih banyak digunakan.

Kecepatan angin

Kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator.

Jenis generator

Generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk SKEA adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah. Kriteria yang harus dipenuhi:

- Kecepatan angin
- Kestabilan angin

Kecepatan angin yang diharapkan biasanya berkisar antara 2 hingga 17 m/s dan konstan. Jika terlalu pelan, listrik yang dihasilkan tidak terlalu besar. Bahkan turbin sendiri tidak dapat berputar. Tapi jika terlalu besar, maka bisa merusak ataupun malah menumbangkan turbin itu sendiri.

Tabel 2 Tingkat Kecepatan Angin

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 ~ 0.02	
2	0.3 ~ 1.5	angin tenang, Asap lurus ke atas.
3	1.6 ~ 3.3	asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 ~ 5.4	wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 ~ 7.9	debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang.
6	8.0 ~ 10.7	ranting pohon bergoyang, bendera berkibar.
7	10.8 ~ 13.8	ranting pohon besar bergoyang, air plampung berombak kecil
8	13.9 ~ 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 ~ 20.7	dpt mamatahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 ~ 24.4	dpt mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 ~ 28.4	dpt merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 ~ 32.6	menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 ~ 36.9	tornado

Angin kelas 3 adalah batas minimum dan angin kelas 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Penulisan simbol/lambang ditulis dengan jelas dan dapat dibedakan seperti penggunaan angka 1 dan huruf I (juga angka 0 dan huruf O) perlu dibedakan dengan jelas. Penggunaan singkatan harus dituliskan secara lengkap pada saat disebutkan pertama kali. Istilah asing ditulis dengan huruf *italic*.

PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini ada dua alternatif energi listrik, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

Penentuan Kriteria

Penentuan kriteria yang digunakan dalam pemilihan energi alternatif terbarukan ini berdasarkan data dari *Renewable Energy Guide* yang didapatkan dari situs www.devon.gov.uk. Kriteria yang digunakan dalam pemilihan alternatif sumber energi listrik seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Alternatif Sumber Energi Listrik

Kode Kriteria	Kriteria	Keterangan
K1	Resiko	Resiko dari masing-masing alternatif. Resiko ini diukur dalam empat skala, yaitu: <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak ada resiko 2. Resiko rendah 3. Resiko sedang 4. Resiko tinggi
K2	Biaya operasional dan perawatan	Total Biaya operasional dan perawatan dari masing-masing alternatif
K3	Total Biaya investasi	Seluruh total biaya yang dibutuhkan untuk membangun dan mengawali suatu alternatif
K4	Keandalan (<i>Contuinity of Power Suplay</i>)	Keandalan (kontiunitas) alternatif dalam mensuplai energi listrik. Sedangkan keandalan ini diukur dengan empat skala, yaitu: <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak stabil 2. Kontiunitas rendah 3. Kontiunitas sedang 4. Kontiunitas tinggi (stabil)

Data yang diperlukan dalam penelitian ini sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut:

Resiko

Resiko dari masing-masing alternatif sumber energi listrik dapat di ukur dengan empat skala, yaitu :

- 1 : Tidak ada resiko
- 2 : Resiko rendah
- 3 : Resiko sedang
- 4 : Resiko tinggi

Dari pendefinisian level tingkat resiko tersebut maka untuk alternatif PLTS memiliki resiko rendah, sedangkan alternatif PLTB memiliki resiko rendah.

Total biaya operasional dan biaya perawatan

Biaya operasional dan biaya perawatan per tahun selama periode analisis. Periode analisa adalah 25 tahun, sedangkan biaya operasional dan biaya perawatan adalah 1% dari biaya investasi adalah sebagai berikut:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Surya = Rp. 1.100.000.000 (1,1 Milyar)
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu = Rp. 1.521.739.130 (1,52 Milyar)

Total Biaya investasi

Seluruh total biaya yang dibutuhkan untuk membangun PLTS dan PLTB adalah:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Surya = Rp. 110.000.000.000 (110 Milyar)
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu = Rp. 152.173.913.043 (152 Milyar)

Keandalan (*Contuinity of Power Suplay*)

Keandalan (kontiunitas) alternatif dalam memasok energi listrik. Sedangkan keandalan ini diukur dengan empat skala, yaitu:

- 1 : Tidak stabil
- 2 : Kontiunitas rendah
- 3 : Kontiunitas sedang
- 4 : Kontiunitas tinggi (stabil)

Dari pendefinisian level tingkat keandalan tersebut maka untuk alternatif PLTS memiliki kontiunitas sedang, sedangkan alternatif PLTB memiliki kontiunitas sedang.

Tabel 4. Nilai Kriteria

Kriteria	PLTS	PLTB
Resiko	2	2
Total biaya operasional & perawatan	Rp. 1.100.000.000	Rp. 1.521.739.130
Biaya investasi	Rp. 110.000.000.000	Rp. 152.173.913.043
Keandalan (<i>Contuinity of Power Supply</i>)	3	3

Melakukan pembobotan dengan Metode *Binary Dominance Matrix*

Cara mengisi matriks dominansi biner ini adalah dengan cara mengisi kriteria-kriteria yang akan dibandingkan pada kolom paling kiri (vertikal) dan baris paling atas (horisontal). Kemudian secara bergantian, kriteria-kriteria tersebut dibandingkan pada

setiap barisnya. Jika kriteria pada sumbu vertikal lebih berbobot dibandingkan kriteria pada sumbu horisontal, maka diberikan angka 1 pada perpotongan sumbu vertikal dan sumbu horisontal tersebut. Sebaliknya, jika kriteria pada sumbu horisontal lebih berbobot dibandingkan kriteria pada sumbu vertikal, maka diberikan angka 0 pada perpotongan sumbu vertikal dan sumbu horisontal tersebut. Selanjutnya penilaian perbandingan tersebut dijumlahkan pada setiap barisnya, sehingga dapat diketahui kriteria mana yang lebih berbobot.

Tabel 5. Pembobotan Kriteria

Kriteria	Resiko	Total biaya operasional & perawatan	Biaya investasi	Keandalan	Total	Bobot
Resiko	-	0	0	0	0	0
Total biaya operasional & perawatan	1	-	0	1	2	0,33
Biaya investasi	1	1	-	1	3	0,5
Keandalan	1	0	0	-	1	0,17

Dari pembobotan diatas maka dimasukan nilai dari setiap alternatif.

Tabel 6. Penilaian Alternatif Terbaik

Kriteria	Bobot	PLTS		PLTB	
		AS	TAS	AS	TAS
Resiko	0	2	0	2	0
Total biaya operasional & perawatan	0,33	3	0,99	2	0,66
Biaya investasi	0,5	3	1,5	2	1
Keandalan	0,17	3	0,51	3	0,51
Jumlah	1	-	3	-	2,17

Dari hasil analisis diatas dapat disimpulkan bahwa PLTS sangat cocok untuk diterapkan di Kabupaten Malang, karena memiliki keunggulan dari pada PLTB.

KESIMPULAN

Dari analisis dan pembahasan diatas dapat disimpulkan:

1. Kedua alternatif memiliki kesamaan untuk resiko dan keandalan.
2. Biaya investasi dan perawatan lebih murah pembangkit tenaga matahari daripada pembangkit tenaga bayu dengan selisih sebesar rp. 42.173.913.043.
3. Penilaian pembobotan kriteria untuk pembangkit tenaga matahari sebesar 3 dan pembangkit tenaga bayu sebesar 2,71 menunjukkan bahwa PLTS adalah pembangkit energi alternatif terbaik di Kabupaten Malang. perawatan yang minimum.

DAFTAR PUSTAKA

Anonimus, *Renewable Energy Guide* yang didapatkan dari situs www.devon.gov.uk. Diakses 28 Mei 2014.

- Balint Hartmann, Andras Dan., 2012, Cooperation of a Grid-Connected Wind Farm and an Energy Storage Unit-Demonstration of a Simulation Tool. *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, 3 (I), pp. 49-56.
- Deni Septiadi dkk, 2010. *Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon Dan Sekitarnya)*, Jurnal Meteorologi Dan Geofisika 10 (1), pp. 22–28.
- Francesco Fusco and John V. Ringwood., 2012, A Study of the Prediction Requirements in Real-Time Control of Wave Energy Converters. *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, VOL. 3, NO. I, JANUARY 2012 pp. 176-185.
- K. S. Hurst, 2009. *Prinsip-Prinsip Desain Rekayasa*, terjemahan R. Saptono. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Manan, Saiful., 2010, *Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif Yang Efisien, Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia*. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Siregar, P., Septiadi, D., Liang, T. 2008. Weather/Climate Model in Indonesia and Terrestrial Effects of Solar Activity. *Proceedings of the International Symposium on Climate and weather of the sun-earth system*. November 24-26, 2008. Jakarta, Indonesia Hal 1-6.
- Yuri V. Makarov, et.al, 2012, Sizing Energy Storage to Accommodate High Penetration of Variable Energy Resources. *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, VOL. 3, NO. I, JANUARY 2012 pp. 34-41.