



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Priyono Soetikno

**MENDORONG PEMANFAATAN ENERGI BARU
DAN TERBARUKAN DI INDONESIA**

29 September 2018
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
29 September 2018

Profesor Priyono Soetikno

**MENDORONG PEMANFAATAN ENERGI BARU
DAN TERBARUKAN DI INDONESIA**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Judul: MENDORONG PEMANFAATAN ENERGI BARU
DAN TERBARUKAN DI INDONESIA
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 29 September 2018.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis
Data katalog dalam terbitan

Priyono Soetikno
MENGANTISIPASI PERKEMBANGAN TEKNOLOGI TELEKOMUNIKASI
DI MASA DEPAN
Disunting oleh Priyono Soetikno

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2018
vi+58 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-6624-19-2
1. Konversi Energi 1. Priyono Soetikno

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, bahwasanya atas berkat dan rahmatNya, saya dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini, dan akan disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung pada hari Sabtu, 29 September 2018.

Penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, atas perkenannya saya menyampaikan orasi ilmiah ini berjudul **“Mendorong Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia”**. Topik ini sejalan dengan *road map* penelitian dan pengembangan EBT (Energi Baru dan Terbarukan) di Pusat Penelitian Energi Baru dan Terbarukan LPPM ITB dan penulis, implementasi EBT dilapangan, serta sejalan dengan program pemerintah dalam usaha menaikkan persentase penggunaan energi baru dan terbarukan terhadap total energi di Indonesia.

Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat serta dapat memberikan inspirasi agar penggunaan Energi Baru dan Terbarukan terus meningkat untuk kesejahteraan dan keamanan energi di Indonesia.

Bandung, 29 September 2018

Priyono Soetikno

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. PENGERTIAN DAN TANTANGAN ENERGI TERBARUKAN	3
3. KONVERSI ENERGI	14
4. PEMBANGUNAN ENERGI DI INDONESIA	16
5. KEBERLANJUTAN SISTEM ENERGI TERBARUKAN	36
6. PENUTUP	45
7. UCAPAN TERIMA KASIH	46
DAFTAR PUSTAKA	48
CURRICULUM VITAE	51

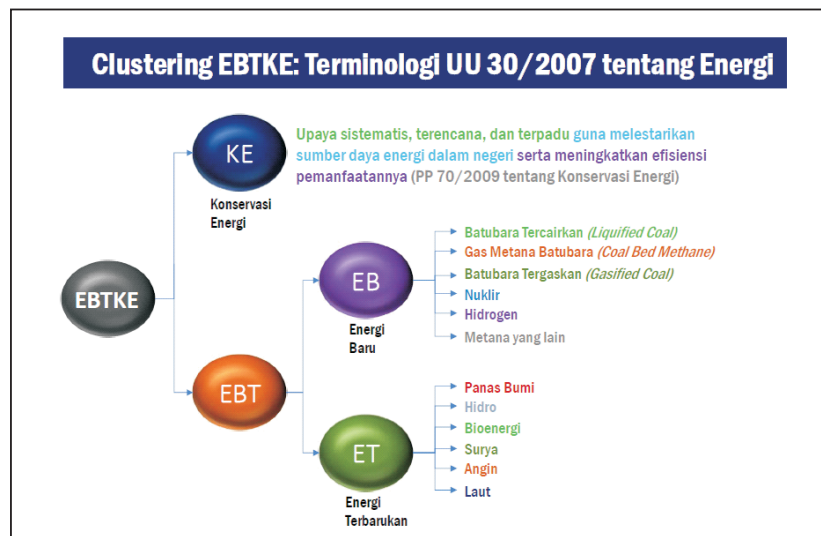
MENDORONG PEMANFAATAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DI INDONESIA

1. PENDAHULUAN

Harga minyak bumi yang berfluktuasi di harga yang tinggi menyebabkan kekhawatiran akan melemahnya keamanan energi (*Energy Security*, pada tahun 2016 yang menduduki urutan pertama adalah Nowegia, diikuti Amerika Serikat sedangkan Indonesia menduduki urutan ke 19 di atas India, Jepang, Turki, Korea Selatan, Thailand dan Ukraina, bandingkan di tahun 1980 Indonesia diurutan ke 8)^[6], demikian juga dengan adanya ancaman terhadap perubahan iklim, akibat gas rumah kaca (Emisi global tahun 2012 dari bahan bakar fosil, mencapai 43286,2 Mt CO₂, Indonesia sebagai 10 terbesar menyumbang 760,8 Mt CO₂ atau 1,76%)^[6], semua itu telah mendorong investasi ke arah pengembangan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil, khususnya bahan konvensional minyak bumi. "Energi alternatif" sebagai bahan bakar alternatif umumnya dibagi menjadi dua kategori:

1. Pengganti untuk bahan bakar minyak bumi yang selama ini digunakan seperti (etanol, biodiesel, bio butanol, dimetil eter, batubara-ke-cairan, pasir tar, serpih minyak), baik dari biomassa dan batu bara; dan
2. Energi terbarukan untuk membangkitkan dan menyimpan tenaga listrik dari energi (angin, fotovoltaik matahari, panas matahari, pasang surut, biomassa, fuel cell, baterai).

Pengembangan teknologi untuk energi terbarukan ini sangat bervariasi, mulai dari distilasi dan gasifikasi hingga bioreaktor alga dan pembuatan berteknologi tinggi dari panel silikon yang menyerap foton. Banyak energi terbarukan yang dianggap "energi hijau" atau "energi bersih" meskipun beberapa bahan bakar alternatif yang dihasilkan, seperti pembuatan bahan bakar dari batu-bara ke cairan dan pasir tar, "lebih kotor" dari pada minyak bumi konvensional yang digantikannya.



Gambar 1 Klustering Energi Baru dan Terbarukan menurut UU30/2007^[9]

Demikian pula bahan bakar lainnya, seperti biofuel, juga memiliki dampak lingkungan yang secara bersamaan mengimbangi potensi penghematan karbon. Dilain pihak bahan bakar fosil konvensional, di mana alam menyediakan energi selama jutaan tahun untuk mengubah

biomassa menjadi energi berbentuk padat, cairan, dan gas, sehingga dapat dimanfaatkan, hanya dibutuhkan ekstraksi dan teknologi transportasi sehingga kita dapat dengan baik memobilisasinya. Energi terbarukan ET (Gambar 1) sebagai energi alternatif sangat tergantung pada peralatan dan infrastruktur yang direkayasa untuk menangkap atau mengkonversikan energi, pada dasarnya membutuhkan proses manufaktur berteknologi tinggi. Namun, dalam siklus untuk produksi energi alternatif atau terbarukan, dari bahan baku hingga pabrikasi, masih sangat bergantung pada energi berbahan bakar fosil, seperti untuk penambangan bahan baku mineral, transportasi, dan produksi material.

2. PENGERTIAN DAN TANTANGAN ENERGI TERBARUKAN

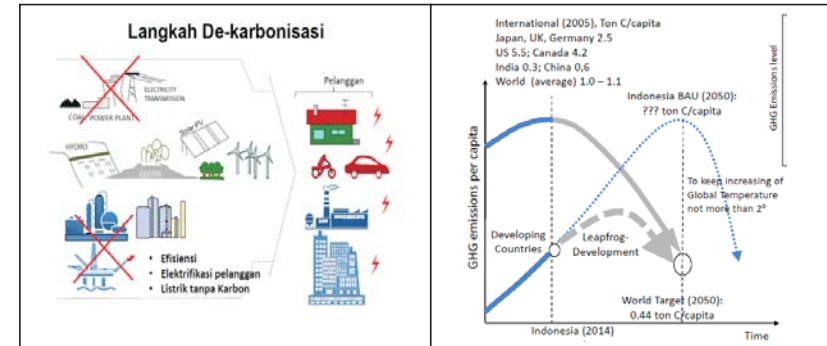
Energi terbarukan sebagai alternatif energi menghadapi tantangan tentang bagaimana menggantikan rantai pabrikasi berbasis bahan bakar fosil dengan energi alternatif itu sendiri untuk melepaskan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Diskusi publik (*Focus Group Discussion*) tentang energi alternatif sering menyederhanakan penilaiannya hanya pada dana, dibandingkan dana untuk mendapatkan bahan bakar fosil tradisional, sering juga membandingkan dengan asal usul karbon (*Carbon foot prints*).

Penyederhanaan cara penilaian semacam ini pada ukuran moneter yang sederhana akan mengaburkan isu-isu kompleks yang disekitar potensi tentang keterjangkauan (*viability*), skalabilitas (*scalability*), kelayakan (*feasibility*), dan kesesuaian (*suitability*) untuk mengikuti alur pengembangan teknologi energi terbarukan. Meskipun dana diperlukan

untuk mengembangkan energi terbarukan, dana hanyalah sarana untuk memobilisasi berbagai sumber daya yang digunakan untuk menghasilkan energi. Pada tingkat kebutuhan persyaratan fisik, menilai potensi pengembangan energi terbarukan (alternatif) menjadi jauh lebih kompleks karena melibatkan isu-isu kebutuhan akhir penggunaan energi, penggunaan sumber daya pengganti (termasuk air dan tanah), dan penggunaan material dari mineral langka.

Demikian pula, sering diasumsikan bahwa energi terbarukan (Gambar 2) akan secara mulus menggantikan minyak, gas, atau batubara, energi terbarukan (alternatif) sangat bergantung pada peralatan dan infrastruktur yang direkayasa untuk penangkapan atau konversi. Namun, rantai pasokan untuk energi terbarukan dari bahan baku hingga pabrikasi, masih sangat bergantung pada energi dari bahan bakar fosil.

Mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam sistem energi yang ada saat ini akan memerlukan investasi besar, baik dalam peralatan baru dan infrastruktur bersama dengan sumber daya yang dibutuhkan untuk energi terbarukan. Hal ini menimbulkan pertanyaan tentang kesesuaian pergerakan menuju masa depan energi terbarukan dengan asumsi bahwa struktur sistem energi terpusat skala besar yang kita punyai saat ini harus dipertahankan. Karena sumber energi terbarukan sangat bervariasi berdasarkan lokasi, mungkin perlu mempertimbangkan berbagai bentuk energi untuk berbagai lokasi.



Gambar 2 Bagan langkah de-karbonisasi^[9].

Mengingat pemanfaatan energi terbarukan sebagai energi alternatif itu rumit dan beraneka ragam; dipersulit oleh adanya bias politik, kurangnya pengetahuan tentang sains dasar, dan kurangnya apresiasi terhadap besarnya masalah yang dihadapi masyarakat yang terbiasa menggunakan energi fosil yang tidak mahal sebagaimana di era melimpahannya energi fosil. Meskipun bukan dalam daftar yang berurutan dan mudah dimengerti, tantangan utama energi terbarukan sebagai energi alternatif meliputi:

2.1 Energi terbarukan skala besar dan jangka waktu

Untuk memenuhi sumber energi terbarukan dalam skala yang ingin dicapai, yang harus disediakan dalam kurun waktu tertentu, dalam volume yang dibutuhkan, dan dengan biaya yang masuk akal. Banyak energi terbarukan sebagai energi alternatif telah berhasil ditunjukkan pada skala kecil (diesel berbasis alga, etanol selulosa, biobutanol, film tipis panel solar), tetapi skala demonstrasi tidak secara otomatis memberikan

indikasi potensi yang dapat diproduksi dalam skala besar.

Demikian pula, karena energi terbarukan bergantung pada rekayasa, manufaktur, dan konstruksi peralatan dan proses manufaktur untuk produksinya, maka kapasitas harus tumbuh secara bertahap karena kapasitas yang lebih besar baru hadir secara komersial, yang pada gilirannya bergantung pada pengadaan tepat waktu dari masukan energi dan bahan masukan lain yang dibutuhkan. Perbedaan antara "produksi" energi terbarukan dan "ekstraksi" bahan bakar fosil dapat mengakibatkan kendala yang ditandai pada kemampuan untuk meningkatkan produksi sumber energi terbarukan yang dibutuhkan.

2.2 Komersialisasi

Berkaitan erat dengan masalah skala besar dan waktu adalah komersialisasi, atau pertanyaan tentang seberapa jauh sumber energi terbarukan dapat sepenuhnya beroperasi dan komersial. Seringkali, laporan atau berita tentang terobosan laboratorium ilmiah disertai dengan saran bahwa terobosan tersebut adalah "solusi" untuk tantangan pemenuhan kebutuhan energi. Pada kenyataannya, kerangka waktu rata-rata antara hasil demonstrasi di laboratorium, kelayakan dan komersialisasi skala besar membutuhkan waktu, dari dua puluh hingga dua puluh lima tahun. Proses harus disempurnakan dan dioptimalkan, paten dikembangkan, tes demonstrasi dilakukan, pabrik prototipe dibangun dan dievaluasi, dampak lingkungan dinilai, dan teknik, desain, penentuan lokasi, pembiayaan, ekonomi, dan penelitian lain juga harus dilakukan.

2.3 Substitusi

Idealnya, energi terbarukan akan berintegrasi langsung ke dalam sistem energi saat ini sebagai pengganti dari sistem energi konvensional yang ada tanpa memerlukan perubahan infrastruktur lebih lanjut. Hal ini jarang terjadi, dan sekurangnya substitusi terutama dimaksudkan dalam hal kasus kendaraan listrik. Meskipun dimungkinkan untuk menghasilkan listrik yang dibutuhkan dari sumber energi terbarukan seperti angin atau tenaga surya, masih sangat banyak prasyarat untuk mencapai hal ini. Kesepakatan penggunaan mobil listrik pada skala besar yang berarti akan membutuhkan perubahan infrastruktur yang luas termasuk merombak pabrik untuk memproduksi kendaraan, mengembangkan industri baterai skala besar dan fasilitas pengisian ulang, membangun industri pemeliharaan dan suku cadang, mengintegrasikan pemantauan "perangkat pintar" dan perangkat lunak kontrol dan peralatan lainnya, dan tentu saja, membangun kapasitas pembangkitan dan transmisi tambahan, semua ini membutuhkan biaya yang mahal.

Pengembangan tenaga angin dan tenaga surya juga membutuhkan infrastruktur tambahan; angin dan listrik tenaga surya harus dihasilkan di mana sumber daya terbaik berada, yang sering jauh dari pusat beban atau populasi. Dengan demikian diperlukan investasi ekstensif dalam pembangunan infrastruktur transmisi untuk membawanya ke pusat beban atau konsumen. Saat ini, etanol dapat dicampur dengan bensin dan digunakan secara langsung, tetapi kecenderungannya untuk menyerap air dan kandungan oksigennya yang tinggi membuatnya tidak cocok untuk transportasi di sistem pipa yang ada dan untuk penggunaannya

secara luas harus merubah material yang digunakan dan membutuhkan pembiayaan yang intensif.

2.4 Persyaratan Material

Salah satu kunci dalam membangun proses energi terbarukan bukanlah dana, tetapi sumber daya dan energi; jenis energi dan volume dari sumber daya dan besarnya kebutuhan akan energi yang diperlukan. Pada gilirannya akan membatasi skalabilitas, mempengaruhi biaya dan kelayakan dari energi terbarukan. Hal yang sangat penting dalam proses yang bergantung pada teknologi canggih produksi dengan elemen mineral langka. Sel bahan bakar (Fuel cell), misalnya, membutuhkan platinum, paladium, dan elemen mineral langka. Teknologi fotovoltaik surya membutuhkan galium, dan dalam beberapa bentuk, indium. Baterai canggih mengandalkan lithium. Bahkan teknologi yang dirancang untuk menghemat energi, seperti lampu LED atau LED organik (OLED), membutuhkan indium dan gallium dari mineral tanah yang langka. Keberhasilan penerapan berbagai teknologi energi baru (dan beberapa teknologi canggih nonenergi) akan secara substansial meningkatkan permintaan untuk berbagai jenis logam di luar tingkat produksi dunia saat ini.

Produksi energi alternatif tidak hanya bergantung pada berbagai input sumber daya, tetapi juga pada bahan bakar fosil untuk penambangan bahan baku, transportasi, manufaktur, konstruksi, pemeliharaan, dan dekomisioning.

Saat ini, tidak ada energi alternatif tanpa masukan bahan bakar fosil,

dan tidak ada proses energi alternatif yang dapat mereproduksi dirinya sendiri, yaitu, memproduksi peralatan yang dibutuhkan untuk produksinya sendiri tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Dalam hal ini, energi alternatif berfungsi sebagai suplemen untuk basis bahan bakar fosil, dan persyaratan inputnya dapat membatasi perkembangannya dalam kasus-kasus dari sisi bahan atau kelangkaan energi.

2.5 Sumber yang Intermiten

Masyarakat modern mengharapkan elektron akan mengalir ketika sebuah saklar di posisi "ON", gas akan mengalir ketika sebuah tombol diputar, dan bahwa bahan bakar cair akan mengalir ketika tuas nosel pompa ditekan. Sistem penyediaan yang berkesinambungan ini dimungkinkan karena eksploitasi terhadap penyimpanan bahan bakar fosil yang besar, yang merupakan hasil dari alam dalam kurun waktu jutaan tahun. Selanjutnya cahaya matahari yang terputus-putus terkonsentrasi menjadi sumber energi yang terus-menerus dapat diekstraksi dan terbarukan. Energi alternatif seperti tenaga surya atau angin hanya menghasilkan sebentar-sebentar saat Matahari bersinar atau angin bertiup, dan bahkan bahan bakar berbasis biomassa bergantung pada panen panen musiman. Mengintegrasikan bentuk energi ini ke dalam sistem yang ada saat ini, merupakan tantangan dalam menyeimbangkan ketersediaan dan permintaan, dan masih meragukan bahwa energi terbarukan yang berselang atau *intermittent* ini dapat memberikan sebagian besar kebutuhan energi dimasa depan, sama seperti yang kita harapkan sebagai energi yang tersedia saat ini.

Kunci untuk mengakhiri dampak intermitensi atau berselang ini adalah penyimpanan (Storage); yaitu, mengembangkan teknologi dan pendekatan yang dapat menyimpan energi yang dihasilkan selama periode adanya energi dari angin dan matahari, untuk digunakan di waktu lain. Banyak solusi telah diusulkan dan diuji, termasuk penyimpanan udara terkompresi, baterai, dan penggunaan garam cair di pembangkit termal matahari. Kelemahan utama dari semua solusi ini termasuk kerugian yang terlibat dalam penyimpanan dan pelepasan energi adalah kepadatan atau kerapatan energi yang terbatas yang dapat dicapai oleh teknologi penyimpanan ini.

2.6 Kerapatan Energi (Densitas)

Kerapatan energi mengacu pada jumlah energi yang terkandung dalam satuan bentuk energi. Ini dapat dinyatakan dalam jumlah energi per satuan massa (berat), atau dalam jumlah energi per satuan volume. Kerapatan energi sangat mempengaruhi pilihan bahan bakar. Konversi energi dari penggunaan batu bara pada abad ketujuh belas dan kedelapan belas berhasil dengan baik karena batu bara memberikan energi dua kali lebih banyak daripada kayu untuk berat masa yang sama. Demikian pula, peralihan dari kapal-kapal berbahan bakar batu bara ke minyak bumi pada awal abad ke-20 didorong oleh fakta bahwa minyak bumi memiliki hampir dua kali lipat kerapatan energi dibandingkan dengan batu bara, sehingga memungkinkan kapal-kapal untuk bergerak lebih jauh tanpa harus berhenti untuk mengisi bahan bakar. Bahkan ketika digunakan dalam motor bakar (*ICE Internal Combustion Engine*) kendaraan bermotor yang tidak efisien, satu kilogram bensin dengan kerapatan energi yang

tinggi sekitar enam cangkir memungkinkan kita untuk memindahkan 2 ton logam sejauh 16 km. Dampak dari kerapatan energi rendah adalah untuk menyediakan jumlah energi yang sama diperlukan material atau sumber daya yang lebih besar sebagai bahan padat atau bahan bakar. Berbagai energi terbarukan sebagai energi alternatif dan teknologi penyimpanan (storage technology) dicirikan oleh kerapatan energi yang rendah, demikian pula distribusinya akan menghasilkan tingkat konsumsi sumber daya yang lebih tinggi. Baterai ion litium - fokus penelitian saat ini untuk kendaraan listrik hanya dapat berisi 0,5 megajoule per kilogram (MJ/kg) baterai dibandingkan dengan 46 MJ/kg untuk bensin. Kemajuan teknologi baterai secara berkala mengalami kemajuan dan disosialisasikan secara teratur, sementara ini penelitian dilakukan untuk meningkatkan batas teoritis kerapatan energi dalam baterai baru mencapai 3 MJ/kg.

Tabel 1 Densitas Energi

Sumber	Densitas Energi MJ/kg	Sumber	Densitas Energi MJ/kg
Uranium	6,60,E+07	Ethanol	29,6
Hydrogen	114	Batu bara	27 - 29
BBM	46 -47	Lignit	22 -24
Minyak Mentah	42-44	Hidro karbon	17
Minyak Sawit	37 -38	Kayu kering	14 -15
Gas Alam	33-37	Jerami	12 - 15

Sumber: NHK Broadcasting University text 2003

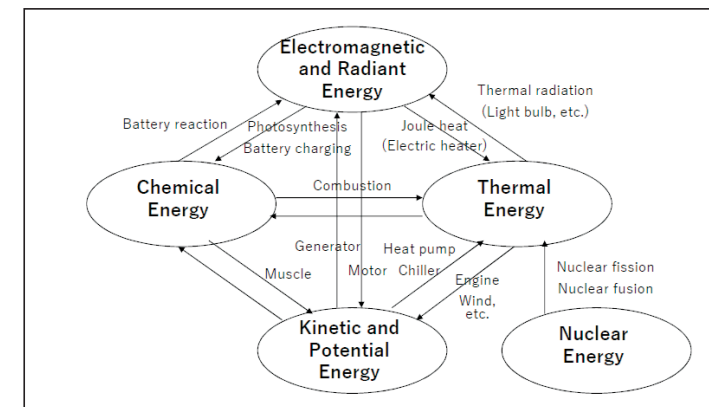
2.7 Pengembalian Investasi pengembangan Energi

Kompleksitas ekonomi dan masyarakat adalah fungsi dari jumlah energi neto yang dapat dimiliki. "Energi neto" adalah jumlah energi yang tersisa setelah kita mengkonsumsi energi untuk menghasilkan energi. Menggunakan energi untuk menghasilkan energi tidak dapat dihindari, tetapi hanya energi yang tidak digunakan untuk menghasilkan energi yang tersedia guna menopang kegiatan industri, transportasi, perumahan, komersial, pertanian serta militer. Perbandingan atau rasio jumlah energi yang digunakan dalam produksi energi dan jumlah energi yang dihasilkan disebut "pengembalian energi atas investasi" (*EROI Energy Return of Investment*). EROI bisa sangat tinggi (misalnya 100: 1, atau 100 unit energi yang dapat diproduksi untuk setiap satu unit yang digunakan untuk memproduksinya dari sebuah "sumber/penghasil energi"), atau rendah (0,8: 1, atau hanya 0,8 unit energi yang diproduksi untuk setiap unit yang digunakan dalam produksi "penyerap/pengguna energi"). Masyarakat membutuhkan sumber/penghasil energi, bukan penyerap/pengguna energi, dan besarnya EROI untuk sumber energi adalah indikator kunci dari kontribusinya terhadap pemeliharaan kompleksitas sosial dan ekonomi.

Pada beberapa abad yang lalu yakni pada abad ke 17 awal abad ke 18, masyarakat saat itu yang sudah maju peradabannya hanya mengandalkan energi terbarukan (Matahari, tenaga air, biomas dan tenaga hewan yang tergantung pada biomas). Jumlah energi neto yang dihasilkan jumlahnya masih sangat rendah dan sangat tergantung pada surplus hasil pertanian yang dihasilkan para petani. Pada saat itu hanya 10

sd 15 persen dari jumlah populasi (10 sd 15 persen yang hidup diperkotaan) yang tidak terlibat dalam proses produksi energi. Pada abad ke 19 di awal abad ke 20, ketika ekstraksi batubara, minyak dan gas alam (bahan bakar fosil) meningkat, masyarakat menggunakan energi fosil untuk menggantikan pekerjaan manual dan/atau hewan (kerbau minum solar adalah traktor tangan KUBOTA), sehingga membebaskan sejumlah besar masyarakat dari keterlibatan langsung dalam produksi energi.

Pada saat ini 50 persen penduduk Indonesia hidup di perkotaan dan selebihnya hidup di pedesaan sebagai petani; saat ini angkanya kurang dari 50 persen, dan setiap aspek produksi pertanian sekarang sangat bergantung pada minyak bumi atau gas alam. Hal yang sama berlaku di sektor energi lainnya: Saat ini, kurang dari 5 persen tenaga kerja Indonesia yang terlibat langsung dalam penambangan batubara, ekstraksi minyak dan gas, minyak bumi penyulingan, transportasi pipa, dan pembangkit listrik, transmisi, dan distribusi.

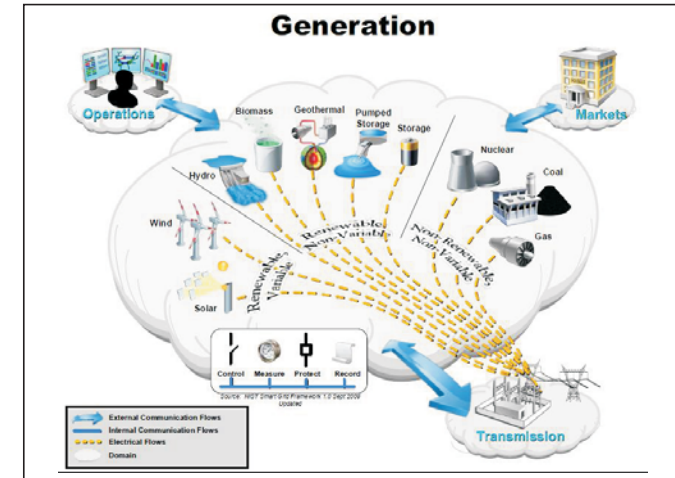


Gambar 3 Bagan konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya

Tantangan peralihan dari energi fosil ke energi alternatif atau energi terbarukan adalah apakah surplus energi neto semacam itu dapat dipertahankan dan dengan demikian apakah bentuk masyarakat sosial dan ekonomi yang menikmati energi fosil saat ini dapat dipertahankan. Memang, satu studi^[1] memperkirakan bahwa EROI (Energy Return Of Investment) minimum untuk pemeliharaan masyarakat industri adalah 5: 1, menunjukkan bahwa tidak lebih dari 20 persen sumber daya sosial dan ekonomi dapat didedikasikan untuk memproduksi energi tanpa merusak struktur masyarakat industri. Secara umum, sebagian besar sumber energi alternatif atau terbarukan memiliki nilai EROI yang rendah. Namun EROI yang tinggi tidak cukup untuk memastikan bahwa struktur masyarakat modern dan ekonomi dapat dipertahankan, tetapi ini merupakan prasyarat.

3. KONVERSI ENERGI

Bentuk energi terbarukan sebagai alternatif energi sangat penting untuk transisi global dari bahan bakar fosil, meskipun ada banyak tantangan dalam pengembangan, produksi dalam skala besar, dan integrasi kedalam sistem energi terpusat. Dalam menghadapi puncak produksi minyak global yang diikuti puncak ekstraksi gas alam dan batubara dan dilain pihak diperlukan pengurangan emisi karbon untuk mengurangi pemanasan global, maka sumber energi terbarukan (Gambar 4) diperlukan untuk membentuk tulang punggung sistem energi masa depan.

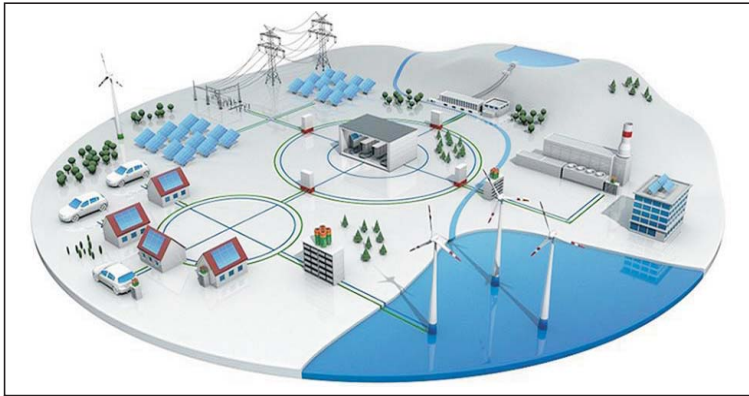


Gambar 4 Bagan pembangkitan energi final Smart Grid^[11].

Sistem energi terbarukan itu, bagaimanapun, tidak akan dapat berperilaku seperti sistem energi yang kita miliki saat ini berdasarkan pasokan terus menerus tanpa putus untuk memenuhi permintaan serta pertumbuhan energi yang dibutuhkan. Ketika kita menjauh dari karunia energi yang disediakan oleh bahan bakar fosil, kita akan menjadi semakin bergantung pada pemanfaatan energi terbarukan saat ini dari Matahari (angin, matahari) dan pada proses pabrikasi energi terbarukan yang akan membutuhkan sumber daya yang semakin besar (seperti untuk memproduksi *biofuel*, bahan bakar cair buatan lainnya, baterai, *energy storage*).

Bagaimana bentuk pembangunan masyarakat yang akan datang, dimana kemungkinan besar kita perlu lebih memperhatikan pengaturan permintaan energi untuk mengakomodasi keterbatasan pasokan energi di

masa depan. Apalagi sistem penyediaan energi yang modern, terutama produksi dan distribusi terpusat (Gambar 4), mungkin sulit untuk dipertahankan, karena kondisi lokal akan menjadi semakin penting dalam menentukan kelayakan produksi energi terbarukan atau energi alternatif.



Gambar 5 Sistem Mikro Grid EBT untuk kawasan terbatas^[11].

4. PEMBANGUNAN ENERGI DI INDONESIA

KEN (Peraturan Pemerintah 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional) sudah ada untuk menjadi pedoman dalam penyusunan RUEN (Peraturan Pemerintah 22/2011 tentang Rencana Umum Energi Nasional) dan RUED disusun berdasarkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan dengan sasaran:

- a. Tercapainya keamanan pasokan energi domestik dengan cara pengalokasian energi untuk kebutuhan domestik (bahan baku dan bahan bakar) dan ekspor serta pengalokasian energi perwilayah dengan tetap mengutamakan keberpihakan kepada masyarakat tidak

mampu;

- b. Tercapainya pemenuhan kebutuhan energi domestik (energi tersedia dalam jumlah yang cukup);
- c. Tercapainya nilai tambah ekonomi yang maksimal;
- d. Tercapainya pengelolaan, penyediaan dan pemanfaatan sumberdaya dan sumber energi secara optimal, terpadu, efisien dan berkelanjutan;
- e. Tercapainya pembangunan infrastruktur energi;
- f. Terjaganya kelestarian fungsi lingkungan hidup
- g. Tercapainya kemandirian pengelolaan energi.

Menanggapi tantangan atas kebutuhan energi terbarukan yang akan menjadi tulang punggung energi masa depan, Solusi akan kebutuhan energi, secara holistik sulit didapatkan. Mengingat Indonesia sebagai negara kepulauan yang mempunyai 17.500 pulau yang tersebar dari Sabang hingga Marauke. Beberapa solusi yang mungkin dapat diterapkan adalah menggunakan solar PV, namun sekali lagi bahwa energi matahari, selain intensitas beragam dan ketersediaannya juga secara harian dan musiman bervariasi.

Energi Terbarukan yang banyak digunakan, energi angin, energi potensial air, energi surya. Energi Baru, jenis energi yang baru digunakan untuk memperbaiki mutu atau cara penggunaan, misalnya memperbaiki mutu batu bara, dari batu bara lignite melalui suatu proses menjadi batu bara mutu lebih tinggi sub bituminous. Energi yang belum pernah dikembangkan di Indonesia, atau akan menjadi sumber energi baru, misalnya energi nuklir dengan tipe-tipe reaktor menggunakan bahan Uranium atau menggunakan bahan lainnya seperti Thorium.

Tabel 2 Kebutuhan Energi Nasional^[7,8,9]

BAURAN ENERGI	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Energi Total (MTOE)	215	290	380	480	740	980
Minyak (oil)						
share	39%	32%	25%	22%	21%	20%
Volume (MTOE)	84	93	95	106	155	196
Volume (M Barrel))	622	688	703	784	1147	1450
Gas						
share	22%	22%	22%	23%	24%	24%
Volume (MTOE)	47	64	84	110	178	235
Volume (TCF)	1,84	2,51	3,29	4,31	6,98	9,21
Batubara						
share	29%	29%	30%	30%	27%	25%
Volume (MTOE)	62	84	114	144	200	245
Volume (M Ton))	186	252	342	432	600	735
Energi Baru dan Terbarukan						
Share	10%	17%	23%	25%	28%	31%
Volume (MTOE)	22	49	87	120	207	304

4.1 Jenis dan potensi energi baru dan terbarukan di Indonesia^[7]:

Energi baru dan terbarukan (EBT), yang tidak termasuk biomasa tradisional untuk sektor rumah tangga, sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik dan sumber energi pengganti bahan bakar minyak. EBT (Tabel 2) dikembangkan sehingga pasokan energi nasional dari EBT pada tahun 2025 mencapai 25%. (PP no 79/2014 tentang KEN) dan di tahun 2050 paling sedikit sebesar 31%. Potensi EBT di Indonesia yang dapat dikembangkan menjadi energi final dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Potensi Energi Baru dan Terbarukan^[7,8,9]

No	Jenis Energi	Sumber Daya	Cadangan	Potensi	Kapasitas Terpasang
1	Panas Bumi			29.544,00 MW	1.438,50 MW
2	Hidro	75.091,00 MW		45.379,00 MW	8.671,00 MW
3	Mini-mikrohidro			19.385,00 MW	2.600,76 MW
4	Biomasa	32.654,00 MW			1.626,00 MW (of Grid)
					91,10 MW (on Grid)
5	Energi Surya	4,80 kWh/m ² /hr			14.006,50 kW
6	Energi Angin	970,00 MW			1,96 MW
7	Uranium	3.000,00 MW			30,00 MW
8	Shale gas	574,00 TSCF			
9	Gas methane batu	456,70 TSCF			
10	Gelombang Laut	17.989,00 MW			
11	Energi Panas Laut	41.012,00 MW			
12	Pasang Surut	4.800,00 MW			

Tabel 4 Status Pengembangan EBT PLN Desember 2017^[12]

Status	PLTP MW	PLTA MW	PLTM MW	PLTBm /PLTBg MW	PLTSa MW	PLTB MW	PLTAL MW	PLTD CPO MW	PLTS MW	PLTHybrid MW	TOTAL MW
Operasi	1.774,5	4.010,0	381,0	171,4	17,6				16,0		6.370,5
Konstruksi	330,0	2.192,0	230,0	24,0		75,0			4,0		2.855,0
PPA/Proses FC	55,0	200,0	451,0	75,0		60,0			45,0		886,0
Eksplorasi (PLTP)	2.651,0										2.651,0
Proses PPA		1.057,0	54,0	113,0	11,0			5,0	5,0		1.245,0
Tender oleh Pemerintah	1.775,0										1.775,0
Studi, Pendanaan dan pengadaan	1.204,0	9.493,0	98,0	110,0		270,0				899,0	12.074,0
Proposal		7.950,0	1.232,0	26,0		503,0	12,0	2,0	800,0	482,0	11.007,0
Total											38.863,5

4.2 Energi Panas Bumi: Indonesia sebagai negara yang memiliki sumber energi geothermal yang melimpah dan dikenal sebagai 10 negara terbesar yang mengembangkan geothermal untuk energi final (listrik). Industri geothermal ini, masih dihadapkan pada beberapa kendala, dimana pencarian sumber yang berisiko tinggi, saat masih difokuskan pada pengembangan teknologi untuk menurunkan risiko dan biaya efektif dalam pengeboran dan juga menurunkan risiko terhadap lingkungan.

Saat ini Indonesia memiliki PLTP (Pembangkit Listrik Panas Bumi) sebesar 1.774,5 MW yang dioperasikan oleh PT PLN(Pesero). Rencana pembangunan PLTP sampai dengan 2025, menurut data penambahan kapasitas terpasang sebesar 2.855 MW.



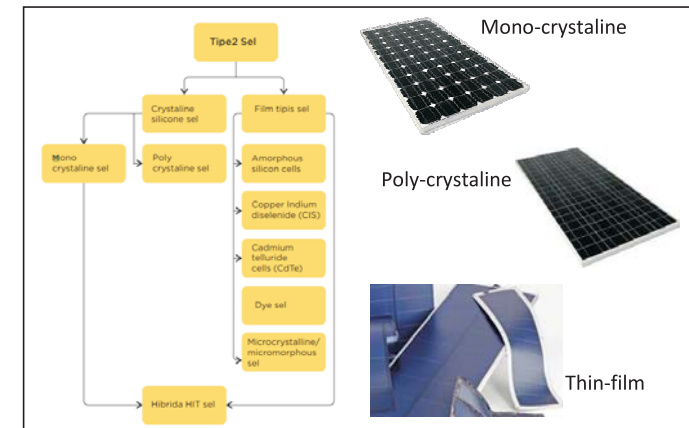
Gambar 6 Peta potensi Panas Bumi di Indonesia^[9]

4.3 Energi surya: Potensi energi surya Indonesia, kawasan barat Indonesia 4,5 kWh/m².hari, dan kawasan timur Indonesia 5,1 kWh/m².hari atau rata-rata Indonesia 4,8 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 9% atau setara dengan 207,9 GW. Teknologi untuk memanen energi surya, menggunakan *PhotoVoltaic*, *Solar Concentrator*, memanaskan secara langsung atau menggunakan *Collector* untuk memanaskan atau digunakan untuk pengeringan.

1) *Photovoltaic*: Tipe2 sel yang diproduksi saat ini terdiri dari *Mono-crystalline* dengan efisiensi tertinggi sekitar 22,5%; *Poly-crystalline*

dengan efisiensi 14% s/d 16%, dengan harga lebih murah; *Thin Film* kelebihan struktur lebih fleksibel namun efisiensi sekitar 7% s/d 13%.

2) *Solar-Concentrator*: Menggunakan reflector berupa cermin cekung untuk memanaskan boiler ataupun mesin pembakaran luar yang menghasilkan listrik atau CSP (*Concentrator Solar Power*).



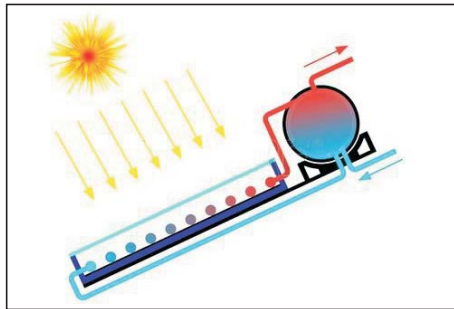
Gambar 7 Tipe-tipe Sel Surya^[10].



Gambar 8 Concentrator Solar Power (CSP)^[10].

Menggunakan mesin pembakaran luar (*Stirling Engine*) yang memutar generator maknit permanen untuk menghasilkan listrik.

- 3) *Solar-Collector*: Teknologi ini sudah lama dikenal untuk pemanas air, dapat digunakan sebagai evaporator dalam siklus pendingin maupun bolier dalam siklus Rankine.



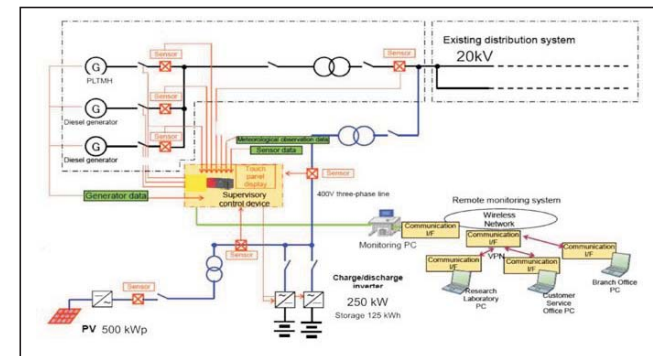
Gambar 9 Sistem pemanas air menggunakan *Solar Collector*^[11]

Seiring dengan kemajuan teknologi dengan meningkatnya efisiensi serta menurunnya harga Solar PV per kWp. Untuk beberapa daerah di Indonesia Timur penggunaan Solar PV menjadi menarik jika di padukan dengan sumber energi lain atau sumber energi *Hybrid*.



Gambar 10 PLTS dalam Smart Micro Grid^[13]

Sebagai contoh Hybrid antara PLTMH, PLTD dan, PLTS seperti pada Gambar 7 mengenai PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) serta Gambar 8 bagan dari *Smart Micro Grid* yang merupakan jaringan terisolasi didalam suatu kawasan terbatas. PLTS dapat dioperasikan pada siang hari untuk mengurangi penggunaan bahan bakar untuk mesin Diesel di PLTD dan Turbin Air dari PLTMH menjadi tulang punggung penyediaan listrik bilamana cukup potensi air.



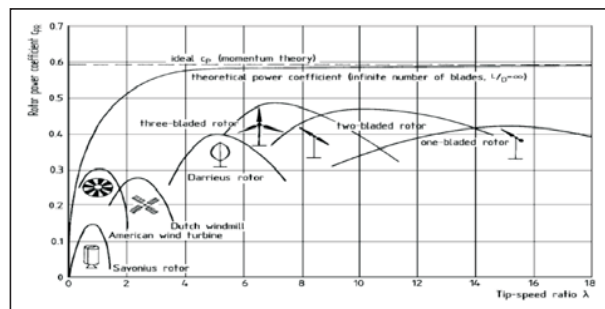
Gambar 11 Skema Smart Micro Grid PLTMH, PLTS dan PLTD^[13]

4.4 Energi angin: Potensi energi angin di Indonesia, hanya ada di beberapa daerah yang dapat dimanfaatkan, terutama di daerah Sulawesi, Nusa Tenggara dan sebagian di wilayah Indonesia. Potensi Angin di Indonesia mempunyai kecepatan angin antara 3 m/detik hingga 10 m/detik, dimana turbin angin tiga bilah (*blade*) mempunyai kecepatan rerata optimal pada kecepatan 10 s/d 12 m/detik. Pada Gambar 10 Koefisien daya berkisar dibilangan 0,45 dan daya yang dibangkitkan turbin angin adalah pangkat tiga dari kecepatan angin pada perbandingan

kecepatan putar turbin dan kecepatan angin (TSR) dikisaran 6. Untuk daya listrik yang diharapkan 1 MW, untuk kecepatan angin 10 m/detik, diperlukan diameter turbin sebesar 57 m. Mengingat potensi angin tergantung musim, maka diperlukan perkiraan produksi tahunan, selain itu diperlukan *back-up power* sebesar daya ladang turbin angin atau jika masuk pada jaringan yang luas, persentase daya EBT tidak melebihi 5% sampai dengan 10% maksimum.



Gambar 12 Peta Potensi Energi Angin di Indonesia^[9]



Gambar 13 Power Coefficient vs Speed Ratio TSR^[14]

Indonesia telah memiliki ladang turbin angin (PLTB) SIDRAP dengan daya total sebesar 75 MW dengan PPA (*Power Purchase Agreement*) sebesar 60 MW. Saat ini, 30 *Wind Turbin Generator* (WTG) yang terpasang pada PLTB Sidrap telah menghasilkan energi listrik untuk Sistem Sulawesi Bagian Selatan. Pembangkit yang berlokasi di Desa Lainungan, Kecamatan Watang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan ini menggunakan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) sekitar 40 persen dan menyerap sekitar 1150 tenaga kerja. Di lahan seluas 100 hektare, telah terpasang 30 turbin yang memiliki ketinggian 80 meter dan baling-baling sepanjang 57 meter.



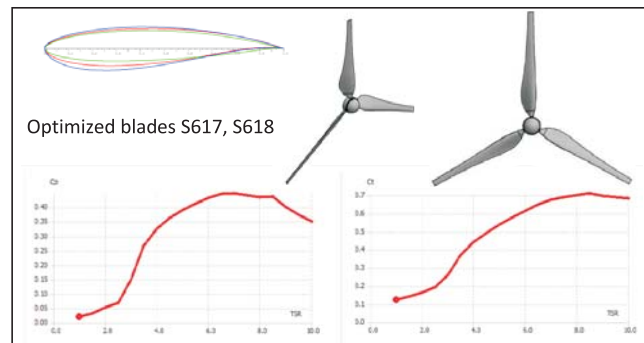
Gambar 14 PLTB SIDRAP 75 MW di Sulawesi Selatan^[12]



Gambar 15 PLTB Hibrid
Pantai Baru Ngentak-Bantul



Beberapa PLTB *hybrid* dengan Solar PV juga dikembangkan di Bantul Yogyakarta berkapasitas 13 kW digunakan untuk penerangan pedagang di pantai Bantul. Pengembangan Turbin Angin di Laboratorium Mesin Fluida FTMD ITB juga dilakukan dalam rangka mendisain, simulasi numerik, konstruksi model uji serta melakukan pengujian di laboratorium.



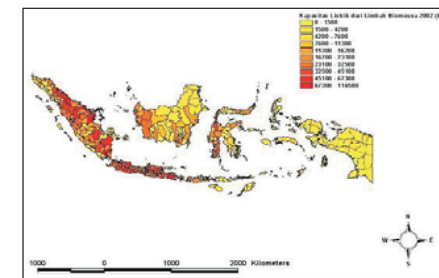
Gambar 16 Hasil rancangan dan simulasi Turbin Angin 3 bilah



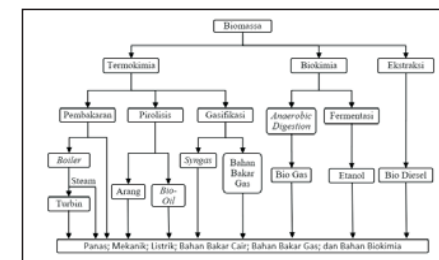
Gambar 17 Set Up model tes hasil rancangan & torque dynamometer

Diawali dengan optimasi *airfoil* jenis S816, S817, dan S818 hasil simulasi numerik menunjukkan peningkatan efisiensi. Selanjutnya membuat model uji serta diuji performansinya. Sebagai anggota dari *Asian Fluid Machinery Committee* (AFMC) secara periodik berpartisipasi serta menyertakan hasil penelitian mengenai Mesin Fluida di Asian International Conference on Fluida Machinery.

4.5 Biomasa: potensi biomasa tersebar diseluruh Indonesia dapat dilihat pada Gambar 10. Pemanfaatan biomasa dapat menjadi energi panas dengan cara pembakaran langsung, dimana panas dapat digunakan untuk proses maupun dijadikan energi listrik dengan memanfaatkan uap untuk memutar turbin generator.

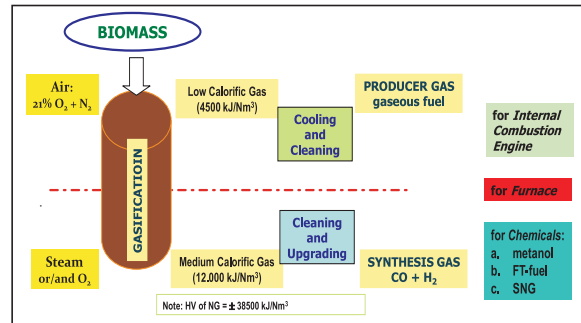


Gambar 18 Potensi biomasa di Indonesia^[7]



Gambar 19 Sistem konversi biomasa

Biomasa dapat dijadikan bahan bakar padat, cair maupun gas. Diagram alir pada Gambar 19 menunjukkan cara biomasa dijadikan bahan bakar cair, bahan bakar gas, maupun menjadi listrik.



Gambar 20 Konversi Energi Biomasa menjadi bahan bakar gas^[14]



Gambar 21 PLTD 100 kW untuk pedesaan BBG dari proses gasifikasi tandan kelapa sawit^[14]

Sedangkan Gambar 20 menunjukkan konversi energi dari biomasa menjadi bahan bakar gas untuk mesin Otto atau disel dan *syngas*.

Syngas digunakan untuk memproduksi bahan kimia lainnya seperti

methanol dll. Pembangkit Listrik Tenaga Disel (PLTD) berbahan bakar gas, hasil dari proses gasifikasi tandan kelapa sawit. Biomasa dengan berat 4 kg sampai dengan 8 kg dapat menghasilkan bahan bakar cair setara dengan 1 liter bahan bakar, sedangkan jika dikonversikan menjadi listrik 1 kg/jam sampai 1,2 kg/jam biomasa dapat menghasilkan listrik setara dengan 1 kWh.^[14]

4.6 Bioenergi, tumbuhan dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses biogas melalui bakteri yang menghasilkan gas, dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga bahkan sampai dengan skala pembangkit listrik menggunakan gas engine.

4.7 Biofuels, hasil tanaman berupa biji, misalnya sawit dapat diproses menjadi bahan bakar, misalnya untuk biodiesel. Praktiknya untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak mentah, maka bahan bakar diesel dicampur dengan minyak sawit sebanyak 20% dari total volume, dinamakan biodiesel B20 yang secara resmi dipasarkan oleh PT Pertamina.

4.8 Hidro: Berdasarkan Tabel 4 mengenai status pengembangan PLTA dan berdasarkan RUPTL 2016-2025, Daya terpasang PLTA saat ini adalah 4010 MW dan yang sedang dikembangkan sebesar 2192 MW.

Tabel 5 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia^[12]

NO	RENEWABLE TYPE	POTENCY	INSTALLED CAPACITY	ADDITIONAL CAPACITY PROGRAM (2011-2020)
1	Hydro power	75.670 MW	5.705 MW	5222 MW
2	Geothermal	29.038 MW	1.209 MW	6247 MW
3	Mini/Micro Hydro	769 MW	218 MW	501 MW
4	Biomass	49.810 MW	61 MW	374 MW
5	Solar power	4,80 kWh/m ² /day	13,5 MW	592 MW
6	Wind power	3 – 6 m/s (9.290 MW)	1,87 MW	140 MW

Source : RIPEBAT 2010-2025 updated from multiple sources and RUPTL 2011-2020

Menurut sumber potensi Hidro di Indonesia (Tabel 5) mempunyai 75.670 MW dan daya terpasang total keseluruhan PLTA sebesar 5.705 MW. Menurut rencana akan pada tahun 2018 akan bertambah 175 MW.

Tabel 6 Pengembangan EBT RUPTL 2016-2025^[12]

													(MW)
No	Pembangkit - EBT	Kap.	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Jumlah
1	PLTP	MW	85	350	320	590	580	450	340	935	1.250	1.250	6.150
2	PLTA	MW	45	57	175	1.405	147	330	639	2.322	2.031	5.950	13.100
3	PLTMH	MW	32	78	115	292	81	86	196	26	257	201	1.365
4	PLT Surya	MWp	26	122	70	50	118	11	10	17	10	10	444
5	PLT Bayu	MW	-	70	190	165	195	10	-	5	-	5	640
6	PLT Biomass/Sampah	MW	125	142	135	11	21	11	-	21	15	6	488
8	PLT Bio-Fuel	Ribu Kilo Liter	812	594	365	261	230	170	173	179	189	191	3.165
Jumlah		MW	312	819	1.005	2.513	1.142	898	1.185	3.326	3.563	7.422	22.186

Sumber: RUPTL PT. PLN Persero 2016-2025

4.9 Mini/Mikro Hidro: Pengarusutamaan Energi Baru dan Terbarukan serta Konservasi Energi, khususnya Mini/Mikro Hidro pengembangannya untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, bahwasanya potensi hidro masih berlimpah, terbarukan, bersih serta ramah lingkungan, seperti di perlihatkan pada Table 6, pengembangan PLTM/MH pada tahun 2016 dari 78 MW menjadi 115 MW pada tahun 2018, dan pada tahun 2025, diharapkan PLTM/MH secara total menghasilkan 1.365 MW. Namun perlu dicermati mengenai data yang dapat disediakan sebagai faktor utama penentu dari produksi energi di daerah: sumber atau potensi energi yang tersedia, desain dari tata letak peralatan dan performansi peralatan produksi energi (sesuai Standar Nasional Indonesia), Keberlanjutan PLT Skala besar: IPP ke Grid, PLT Skala kecil: perlu ada kegiatan produksi yang menggunakan energi listrik, tersedianya tenaga dalam keahlian operasi dan perawatan di daerah tersebut.



Gambar 21 Peta potensi Mini/Mikro hidro di Indonesia^[9]

Pembangunan PLTM/MH selain data2 awal, diperlukan survei lapangan untuk potensi energi untuk pembangunan: koleksi data2 cuaca dan curah hujan dari stasiun BMKG; pengukuran data tahunan di lokasi; survei dan pengukuran potensi H(head), Q(debit); Survei sosial ekonomi; Sosialisasi teknologi yg akan diterapkan; Training penggunaan energi untuk kehidupan; Pendidikan vokasi untuk operator dan perawatan.



Gambar 22 Sistem Pembangkit Listrik Mikro Hidro^[2]

Pembangkit Listrik Mini/Mikro Hidro, seperti terlihat pada Gambar 15 mengambil air dari sungai, konversi energi potensial air menjadi energi listrik, kemudian air dikembalikan kedalam sungai.



Gambar 23 Komponen Mekanik, Listrik dan Kontrol PLTMH^[2]

Komponen sistem PLTMH/MH (Gambar 23) terdiri dari dam penyadap air, saluran terbuka, bak penenang, pipa pesat, rumah daya: turbin air, generator, kontrol turbin generator, saluran pembuang, alat kontrol kelistrikan serta transmisi.



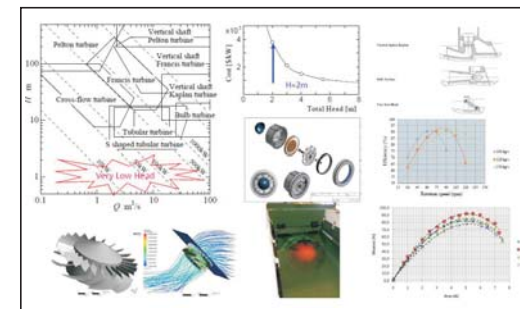
Gambar 24 Komponen Turbin, Kontroler dan peralatan listrik^[2]

Komponen maupun peralatan sistem PLTMH/MH dengan daya sampai dengan 100 kW maupun mini hidro daya sampai dengan 2 MW, seperti turbin generator, peralatan control turbin, maupun sistem kelistrikan mempunyai TKDN yang tinggi lebih dari 80% komponen mampu di diproduksi didalam negeri.

Mengingat 50% penduduk Indonesia hidup dipedesaan, selayaknya jika terdapat potensi sumber energi terbarukan hidro, PLTMH dikembangkan untuk membangkitkan energi listrik yang bersifat "on-grid" maupun "off-grid". Energi listrik yang dibangkitkan selain digunakan untuk penerangan, dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk proses produksi.

4.10 Pengembangan turbin.

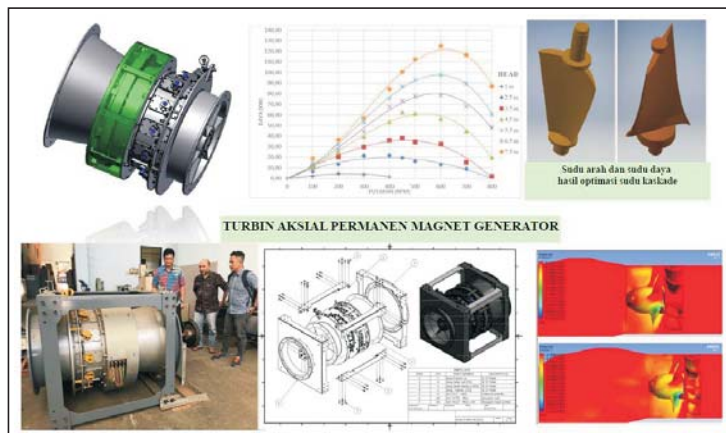
Perkembangan pabrikasi turbin, kontroler, serta peralatan listrik dengan tingkat komponen dalam negeri yang sudah lebih dari 80%. Seluruh jenis turbin *Pelton*, *Cross Flow*, *Francis*, *Propeller* yang dapat melayani potensi head antara 3 m sampai dengan 200 m, untuk skala kecil dan menengah sudah dapat dibuat didalam negeri, bahkan beberapa tipe turbin sudah diekspor berdasarkan pesanan.



Gambar 25 Turbin generator untuk head sangat rendah^[15]

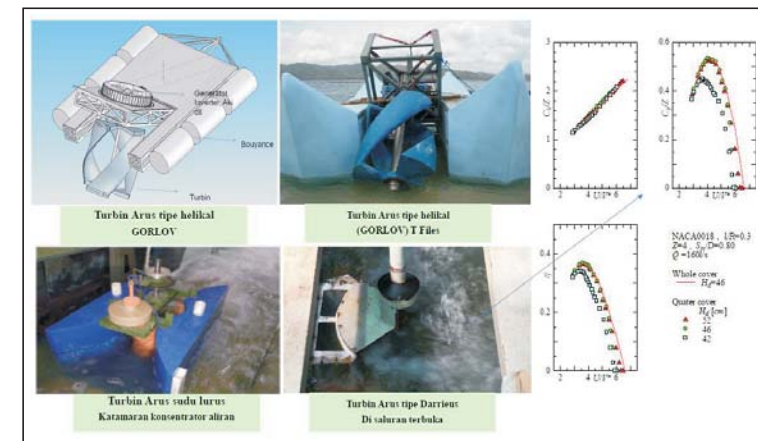
Potensi energi potensial untuk head dibawah 2 meter belum dapat sepenuhnya terlayani, akibat dari tingginya biaya konstruksi sipil, dalam rangka menyederhanakan konstruksi, dikembangkan turbin head sangat rendah (*Very Low Head Turbine*, lihat Gambar 25) untuk melayani potensi head dibawah 2 meter. Pengembangan turbin generator head sangat rendah merupakan hasil kerjasama antara Lab Mesin Fluida FTMD ITB dengan Telimek LIPI, selain pengembangan metoda desain (Inverse Design), optimasi performansi sebagai subjek penelitian S3, S2 dan tugas akhir S1, didapat juga paten turbin aksial generator maknit permanen untuk head sangat rendah.

Kerjasama penelitian antara P3TEKEBTKE ESDM, Telimek LIPI, dan PPEBT LPPM ITB dalam rangka mengembangkan Turbin Aksial Generator Maknit Permanen yang dapat bekerja rentang head yang cukup besar. (Gambar 26)



Gambar 26 Turbin Aksial Generator Maknit Permanen^[15]

Penguasaan teknologi sistem PLTM/MH mini maupun mikro hidro harus tetap dipelihara dan dikembangkan untuk mendapat metoda desain yang dapat mengoptimasi performansi, pengetahuan tentang aliran diantara sudu, lapisan batas turbulen dikembangkan untuk dapat meprediksi aliran separasi, vortex yang pada gilirannya digunakan untuk menyiasati dan meminimalkan kerugian di antara sudu-sudu dari mesin mesin turbo. Pengembangan kelimuan dapat sejalan dengan subjek Disertasi, Tesis, maupun Tugas Akhir Mahasiswa. Pengujian laboratorium dan lapangan merupakan validasi dari hasil desain optimasi dari keilmuan yang tengah dikembangkan.



Gambar 27 Turbin Arus tipe Darrieus, Gorlov, dan Catamaran^[15]

Untuk menangkap energi kinetik dari aliran air di saluran maupun aliran arus pasang surut dapat menggunakan turbin arus (Gambar 27) secara teoritis mempunyai koefisien daya maksimum sebesar 59,9 %. Kedua tipe turbin arus Helikal (Gorlov) maupun sudu lurus (Darrieus)

banyak digunakan sebagai turbin angin. Jika digunakan di dalam arus air dengan keunggulan densitas hampir mencapai 1000 kali lipat dibandingkan udara, mempunyai kelebihan selain intensitas daya yang jauh lebih tinggi, penggunaan di air, tidak memerlukan putaran awal agar gaya angkat dan gaya tahanan bekerja untuk menghaikan daya.

Pengetahuan desain, pabrikasi, pengujian performansi turbin sebagai sistem pembangkit listrik tenaga mini ataupun mikro hidro dapat menopang pembuatan Standar-standar Turbin dan peralatannya untuk pabrikasi, pengoperasian, pengujian maupun pemeliharaan.

5. KEBERLANJUTAN SISTEM ENERGI TERBARUKAN

Energi terbarukan secara alamiah tersedia berlimpah, seperti energi matahari, energi angin, energi gelombang, energi arus pasang surut yang tersedia menurut siklus alam musiman. Sumber energi terbarukan seperti hidro, biomasa, selain peralatan konversi energi yang perlu dioperasikan dengan baik dan mendapatkan perawatan, sumber potensi energi terbarukanpun perlu dijaga kelestariannya, misalnya energi hidro perlu dijaga sumber air di daerah hulu dan dijaga lingkungannya. Demikian pula pemanfaatan energi listrik digunakan untuk kerja produktif, serta sistem pengelolaan PLTMH yang memberdayakan swadaya masyarakat.

5.1 Menjaga daerah tangkapan air di hulu

Potensi energi potensial air, perlu dijaga kelestariannya dengan menjaga keutuhan daerah tangkapan air, daerah aliran sungai dan tentunya kelestarian hutan. Alih fungsi hutan konsevasi air dapat

mengakibatkan terganggunya pasokan air, tidak hanya untuk pembangkit listrik namun juga untuk pengairan lahan pertanian serta pasokan air baku untuk penggunaan rumah tangga. Pembangkit listrik skala kecil lebih mengutamakan tipe “Run of River”, (Gambar 22) air sungai disadap menggunakan bendungan dengan ketinggian lebih kecil dari 3 meter, disalurkan ke bak penenang kemudian disalurkan melalui pipa pesat selanjutnya energi potensial di konversikan menjadi energi final yakni energi listrik. Air keluaran turbin dikembalikan kembali ke sungai melalui *tail race*. Penyadapan air tidak 100% kapasitas sungai, sebagian dibiarkan mengalir untuk menjaga kehidupan biota sungai. Jika daerah hulu sungai kelestarian hutan tangkapan air terpelihara dengan baik, maka debit air akan terpelihara sepanjang tahun. Sesuai dengan Standar bahwasanya PLTMH yang tersisolir kapasitas terpasang harus dapat melayani 100% daya terpasang sepanjang tahun, sesuai dengan debit andalan dari FDC (*Flow Duration Curve*).



Gambar 28 Daerah tangkapan air dan daerah aliran sungai^[2]



Gambar 29 Contoh pengelolaan sumber daya air yang baik

Sudah selayaknya bahwa daerah tangkapan air, lingkungan hutan harus dijaga kelestariannya, kerusakan hutan disekitar daerah tangkapan air akan mengganggu keberlangsungan irigasi, pasokan air minum, dan keberadaan PLTM/MH.



Gambar 30 Kemiringan lahan, pembalakan hutan, dan alih fungsi lahan^[2]

5.2 Listrik untuk kerja produktif

Listrik yang tersedia yang dibangkitkan PLTM/MH (5 kW s/d 1000 kW) dimalam hari dapat digunakan untuk penerangan dan kegiatan belajar bagi pelajar. Di siang hari listrik selayaknya digunakan untuk kegiatan produksi, misalnya mengolah hasil pertanian, kegiatan pertukangan lainnya.



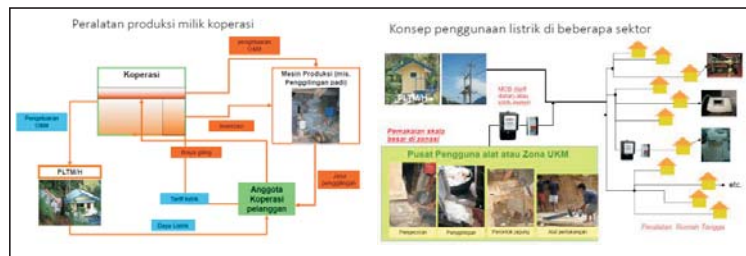
Gambar 31 Kegiatan produktif untuk meningkatkan nilai tambah^[4]

Peningkatan nilai tambah dari produk pertanian dapat dilakukan di sumber energi sehingga meningkatkan pendapatan penduduk lokal, yang pada gilirannya akan mampu membayar iuran listrik maupun untuk pengembangan kegiatan ekonomi lainnya.

5.3 Pengelolaan sistem pembangkit

Sistem PLTM/H yang terisolasi (*off-grid*) dapat bekerja 24 jam sehari memerlukan operator untuk menjaga operasional pembangkit keseharian, perlu perawatan harian, mingguan dan perawatan berkala,

selain peralatan mekanik, elektrikal diperlukan juga perawatan saluran air, mulai dari dam penyadap hingga tail race dimana air dikembalikan ke sungai. Perawatan harian sistem saluran air, menjaga dari sedimen yang dibawa oleh air, puing puing dedaunan, kayu dll yang tertahan di saringan, demikian juga dibagian mekanikal dan elektrikal. Saluran listrik ke para pelanggan, termasuk kelistrikan di sarana publik. Sehingga diperlukan sistem pengelolaan PLTM/MH dari air menjadi listrik, serta memungut pembayaran dari pelanggan rumah tangga, usaha dll.

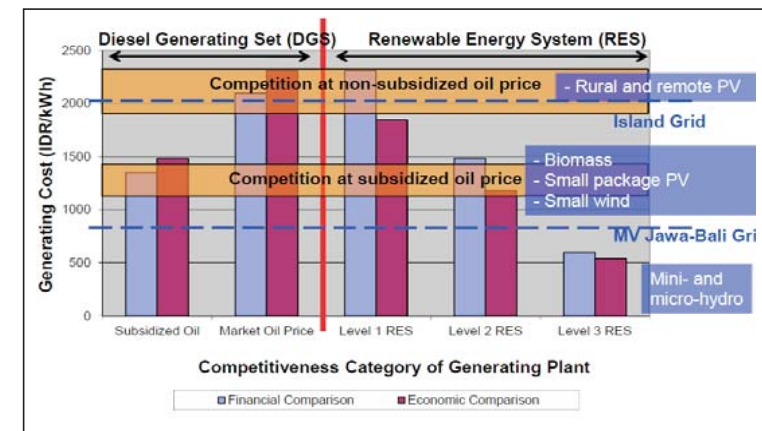


Gambar 32 Sistem pengelolaan PLTM/H^[4]

PLTM/MH sebagai sumber energi listrik, juga dapat membuka lapangan pekerjaan untuk operator, selain membuka peluang untuk usaha yang memerlukan listrik. Bentuk pengelolaan dapat berbentuk koperasi atau bentuk usaha lainnya. Jika sistem PLTM/MH masuk ke jaringan listrik ataupun sebagian daya dapat disalurkan ke jaringan, maka sistem ini harus memenuhi persyaratan, selain sertifikasi kelaikan operasi, demikian juga operator perlu disertifikasi untuk kehandalan operasi PLTM/MH.

5.4 Sentra pertumbuhan

Sistem pembangkit listrik energi terbarukan, diupayakan menggunakan potensi energi setempat, seperti energi matahari, energi angin, energi biomasa, maupun energi potensial maupun energi kinetik hidro. Sistem energi dapat menggunakan energi dari berbagai sumber atau sistem hibrida, dan bilamana sumber energi periodik musiman ataupun harian, maka dapat menggunakan *Smart Grid* dan untuk kawasan terbatas *Small Smart Grid* yang dilengkapi dengan penyimpan energi (*Energy Storage*). Indonesia mencakup daerah yang sangat luas, sebagian terdiri dari pulau pulau kecil. Pembangkit listrik dari energi terbarukan di pulau harus mempunyai potensi untuk berkembang, listrik dapat digunakan untuk membuat es bagi para nelayan untuk menyimpan ikan hasil tangkapan selama melaut, dapat menjalankan *Cold Storage* untuk menyimpan ikan dalam jangka panjang sebelum dapat dijual keluar pulau.

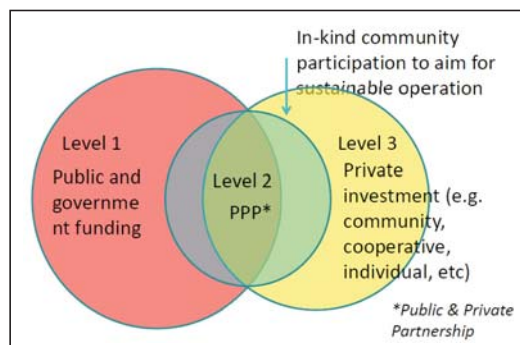


Gambar 33 Harga jual listrik dari berbagai sumber energi^[19]

Biaya pembangkitan listrik untuk PLTM/MH lebih kecil dari biaya listrik di jaringan Jawa-Bali. Perlunya dukungan agar biaya pembangkitan energi di pulau-pulau menggunakan potensi energi setempat, terutama energi matahari, angin dan biomasa yang mana biaya pembangkitan lebih mahal dari biaya rata pembangkitan di Jawa Bali (lihat Gambar 33)

5.5 Sistem pendanaan

Dalam mengembangkan PLTM/MH selain potensi head dan debit yang tersedia, demikian juga pusat beban listrik atau pelanggan yang terpusat akan lebih mempunyai nilai kelayakan yang tinggi, jika jarak yang tidak jauh dari PLTM/MH. Sehingga produksi listrik dapat terserap di sekitar tempat produksi tanpa harus membangun transmisi untuk penyaluran ke daerah jauh dari sumber. Skema pendanaan dihubungkan dengan produksi, pelanggan dan faktor pengembalian dana yang berhubungan dengan waktu. Didaerah yang perlu dikembangkan dengan adanya potensi energi listrik, air dan pangan. Dapat dilakukan dengan skema *Public & Private Pathnership*.



Gambar 34 Skema pembiayaan *Public & Private Partnership*^[19]

Mengingat penduduk Indonesia sebagian besar lebih dari 50% hidup di pedesaan, dan banyak desa yang mempunyai potensi energi potensial untuk PLTM/MH, maka sudah selayaknya pengembangan menjadi energi final (listrik) dapat dilakukan setempat *on grid* maupun *off grid*. Energi terbarukan dari biomasa didapat dari hasil pertanian, dan solar PV dari energi matahari. Semua peralatan produksi listrik maupun peralatan produksi komoditi lainnya untuk meningkatkan nilai tambah memerlukan tenaga teknis baik untuk operasi, produksi, perawatan, dan pengelolaan.

Suatu daerah dapat berkembang dengan baik jika tersedia energi, air dan pangan, dimana pangan dapat diproduksi setempat serta dapat menghasilkan energi terbarukan biomasa. Energi yang dibutuhkan untuk transportasi utamanya dari BBM (bahan bakar minyak) yang saat ini, Indonesia sudah mengimport sebanyak 409.000 Barel per hari^[20]. Melihat dari densitas energi, BBM dapat disubstitusi menggunakan BBG (Bahan Bakar Gas) yang dikompresikan sampai dengan 250 Bar. Biogas dapat diproduksi didaerah pertanian dan peternakan dipedesaan, selain untuk memasak dapat digunakan sebagai pengganti BBG. Gasifikasi biomasa sebagai bahan bakar mesin Diesel untuk memproduksi listrik maupun penggerak alat produksi sudah banyak digunakan di sentra produksi pertanian ataupun perkebunan. Pengembangan dan penelitian lanjutan maupun pelatihan masih diperlukan guna memperbaiki efisensi produksi gas dari biomasa serta penggunaan yang produktif.

5.6 Kebijakan Pemerintah dalam penyediaan energi.

Peraturan dan perundangan yang dipayungi oleh KEN dalam EBT

(Energi Baru dan Terbarukan), dimaksudkan untuk menunjang peran EBT pada energi mix di tahun mendatang. Kenyataan bahwa biaya pokok pembangkitan (BPP) dari sumber energi terbarukan setempat lebih tinggi dari BPP dari jaringan, kecuali BPP dari PLTA ataupun PLTM/MH (lihat Gambar 33). Namun pola pikir bahwa listrik harus disalurkan dari jaringan transmisi interkoneksi ke pusat beban terpencil perlu ditinjau kembali. Terutama ke pusat beban yang sudah lebih dahulu mempunyai jaringan dari pembangkit listrik setempat dari EBT. Pembangkit terisolasi atau *small grid* dalam pembangunan, pengoperasian serta pengelolaannya perlu mengacu pada Standard Nasional Indonesia dan disertifikasi. Dengan demikian jika jaringan nasional sudah tiba ditempat tsb dapat di interkoneksi, tanpa banyak penambahan peralatan.

Pengembangan EBT yang berkelanjutan membutuhkan perhatian bersama, kerjasama multi disiplin terutama:

- Teknologi EBT yang masih tergantung pada luar negeri (PV masih di import), perlu pengembangan dan penelitian alat produksi EBT.
- Data potensi dan cadangan EBT perlu diperbarui,
- Pengembangan pembangkit EBT skala kecil dan menengah segera dapat dilakukan di dalam negeri
- Skema bisnis dan insentif untuk pengembangan EBT belum optimal.
- Khusus untuk pengembangan EBT skala kecil dan menengah dalam rangka pembangunan pedesaan (50% penduduk Indonesia hidup di pedesaan) melibatkan masyarakat setempat, sebagai penciptaan lapangan kerja dan dalam rangka menaikkan nilai tambah produk pertanian, perkebunan setempat. Pengembangan EBT yang sesuai Standar Nasional Indonesia dan sertifikasi.

6. PENUTUP

Sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional (KEN) serta dalam rangka mendorong pemanfaatan EBT, mengingat Indonesia negara kepulauan dengan lebih dari 50% penduduk hidup dipedesaan. Pemanfaatan potensi energi EBT lokal selayaknya ditingkatkan baik dalam skala kecil maupun menengah untuk mendorong kemajuan serta kesejahteraan masyarakat setempat, dimana sumber kehidupan seperti air, energi dan pangan harus dikelola dengan baik, demikian pula lingkungan hidup dipelihara agar sumber dapat memberikan manfaat secara berkelanjutan. Pembangkit dibawah 1 MW^[21] tertutup bagi investasi asing (Perpres No:44/2016) dan TKDN lebih dari 90%. Kemampuan dalam negeri dalam memproduksi alat konversi energi, mendesain, mengoperasikan, memelihara, mengelola peralatan harus selalu ditingkatkan, melalui pendidikan, pengembangan, dan penelitian.

Penerapan Standard, Sertifikasi dan Kompetensi harus dilakukan untuk menjaga kualitas produk serta keamanan operasi. EBT in situ terutama energi matahari, angin, dan biomasa jika dikonversikan menjadi energi final listrik membutuhkan peralatan kontrol berupa Smart Grid. Konversi energi dari biomasa dapat menggunakan mesin pembakaran luar untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi.

Sesuai dengan komitmen untuk mengurangi emisi CO₂ jika diperlukan dapat dipasang peralatan CCS (Carbon Capture and Storage) untuk pembangkit berbahan bakar biomasa. PLTM/MH merupakan pembangkit netral CO₂ namun perlu dijaga lingkungannya terutama daerah hulu, daerah tangkapan air demikian pula mengenai kelestarian hutan harus dijaga.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, bahwasannya atas segala karuniaNya yang telah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat Prof. Kadarsah Suryadi selaku Rektor ITB dan segenap pimpinan ITB, Prof. Tutuka Ariadi sebagai ketua FGB ITB dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Ucapan terima kasih dan apresiasi saya sampaikan kepada dekan FTMD, Prof. Hari Muhammad, Wadep Prof. Zainal Abidin, Dr. Ignatius Pulung Prasetyo, serta rekan2 dosen FTMD. Terima kasih kepada Prof. Djoko Suharto yang telah memberikan rekomendasi serta Prof. Wiranto Arismunandar, yang memberikan rekomendasi dan yang selalu memberikan semangat serta menanyakan perihal sampai dimana usulan GB, dan terima kasih pak Wir selalu mengundang untuk mendengarkan tausiah dan bersilaturahmi dengan rekan2 MU serta memberikan inspirasi tentang kemajuan teknologi dalam kehidupan masyarakat mendatang. Terima kasih pada Kelompok Keahlian Konversi Energi, Prof. Aryadi Suwono (Alm), Prof. Ari Darmawan Pasek, Prof. TA Fauzi Sulaiman, serta rekan-rekan dosen KK, dalam pertemuan selain membagi tugas kuliah, cerita suka duka perkuliahan, penyelenggaraan kegiatan FTEC, CTSC dan juga berbagi keceriaan. Terima kasih kepada Prof. Soelarto, Dr. Hendrawan, Ir. Arianto Santoso MSc, I Nengah Diasta ST MT, Isnain Aliman ST.MT atas kerjasama selama bergabung di Laboratorium Mesin Fluida FTMD ITB.

Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Obi Sinnosuke, Prof. Zeghmati, Prof Kwang-Yong Kim, Prof. Budiarto serta Prof. Djatmiko Insani memberikan rekomendasi dan mengundang menjadi Asian Fluid Machinery Committee. Terima kasih pada para peneliti sejawat dari berbagai bidang ilmu yang tergabung di PPEBT LPPM ITB, Telimek LIPI, P3TEKEBTKE ESDM, Pusharlis PLN, Asosiasi Hidro Bandung, Himpunan Ahli Pembangkit atas kerjasamanya selama ini. Demikian pula terima kasih kepada Guyub M72 Plus ++ dan M707172 dengan “Solidarity For Ever”.

Tak lupa saya ucapkan terima kasih pada istriku tersayang Dr. Susanne Dida MM, yang selalu mendampingi, teman diskusi dalam berbagai hal dan saling mengingatkan beribadah, Ibu mertua Titing Dida yang selalu membaca Al Qur’an dan selalu mendoakan kami sekeluarga serta keluarga besar Dida Sugrida. Keluarga ananda Additya Prabowo SiKom, Sandra Yunita SE dan cucu Rania Mysha yang tumbuh kembangnya memberikan keceriaan tersendiri.

Terima kasih dan rasa hormat kepada ibu bapak Sri Mumpuni (alm) drh R Soetikno (alm) yang telah mendidik dan membesarkan kami berenam dengan penuh kasih sayang, mbakyu dra Daru Siswani, dra Daru Wiranti, drg Daru Indrawati SpG, Adik Ir. Daru Wiranto, Dr.Eng. Sarwono Sutikno MSME. Terima kasih kepada kakak2 ipar HE drs Rahardjo Yamtomo, drs Soedirman, Prof Ismu Suwelo (alm), serta adik2 ipar, Hendy Moedijarti, drg Suzana Salam, beserta keluarga yang telah banyak membantu, memberikan inspirasi, dan semangat. Terima kasih kepada keluarga besar eyang Indro Soemarto, eyang Siram Martoatmodjo serta

terima kasih kepada pihak yang tidak dapat saya sebutkan semuanya, sehingga acara orasi ilmiah ini berlangsung baik. Semoga kita semua selalu dalam lindunganNYA, diberikan rahmat serta magfiroh.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gustav Resch, Anne Held, Thomas Faber, Mario Ragwitz, Christian Panzer, Reinhard Haas. Renewable Energy Technology Trends in EU-25, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, Fraunhofer Institute systems and Innovation Research, Karlsruhe, Germany, 2008
2. Priyono Sutikno, Technical and engineering aspect on micro hydro power, International Training Program on Renewable Energy, Micro Hydro Power, NAM-CSSTC, 2015
3. Adjat Sudradjat, Status Solar Energy Technology Development In Indonesia, BPPT-GIZ, Renewable Energy Conference, Jakarta, 2011.
4. Amalia, Productive Use of Electricity, International Training Program on Renewable Energy, Micro Hydro Power, NAM-CSSTC, 2015
5. www.ecology.com (2018)
6. Karen Harbert, International Index of Energy Security Risk, Assesing Risk In a Global Energy Market, Global Energy Institute, 1615 H Street, Washington DC 20062. Globalenergyinstitute.org. (2018)
7. Outlook Energi Indonesia 2015, DEN
8. Out Look Energi Indonesia 2016, DEN
9. Outlook Energi Indonesia 2017, BPPT, ISBN 978-602-74702-2-4

10. NIST Framework and Roadmap for 6 Smart Grid Interoperability 7 Standards, 8 Release 3.0
11. Renewables 2018, Global Status Report. www.ren21.net
12. Realisasi 2017 dan Outlook Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan, Divisi Energi Baru dan Terbarukan PT PLN (Pesero), Jakarta 10 Januari 2018, www.pln.co.id
13. Edi Leksono, Inovasi, Disrupsi dan Revolusi Industri 4.0: Energi dan Lingkungan, Lab managemen Energi, Teknik Fisika, FTI-ITB, 2018
14. Heri Susanto, Economic Evaluation of Biomass Gasification for Generating Electricity in Rural Area in Indonesia, ICChESA 2017, Banda Aceh, 20 September 2017
15. www.ppebt.lppm.itb.ac.id
16. Priyono Sutikno, Numerical Simulation of the Francis Turbine and CAD used to optimized the Runner Design (2nd). American Institute of Physics Conf. Proc., June 28, 2010 Volume 1225, pp. 816-825. ISBN: 978-0-07354-0769-5
17. Priyono Sutikno and Deny Bayu Saepudin, Design and Blade Optimization of Contra Rotation Double Rotor Wind Turbine. International Journal of Mechanical & Mechatronics, International Journal of Engineering & Science, IJMME-IJENS Vol 11 No. 1, ISSN 2077-124X, 2011
18. Priyono Sutikno and Ibrahim Khalil Adam, Institut Teknologi Bandung. Design, Simulation and Experimental of the Very Low Head

Turbine with Minimum Pressure and Free Vortex Criteria.
International Journal of Mechanical & Mechatronics, International
Journal of Engineering & Science, IJMME-IJENS Vol 11 No. 1, ISSN
2077-124X, 2011

19. Chayun Budiono, *Financial aspect of Micro/Mini Hydro Power*. 2009.
20. Tumiran (DEN 2014-2019) Paradigma baru pengelolaan Energi Nasional. Strategi memenuhi energi mix nasional dan road map. 28 januari 2015.
21. *Power in Indonesia, Investment and Taxation Guide*, November 2017 5th Edition, www.pwc.com/id
22. SNI 8277: 2016, Panduan komisioning pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) kapasitas hingga 100 kW, ICS:27.140, Badan Standarisasi Nasional.

CURRICULUM VITAE



Nama : **PRIYONO SOETIKNO**
 Tmpt. & tgl. lhr. : Padang, 11 Juni 1953
 Kel. Keahlian : Konversi Energi
 Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung
 Nama Istri : Susanne Dida
 Nama Anak : • Additya Prabowo
 • Sandra Yunita (menantu)
 • Rania Mysha Belvya (cucu)

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Docteur d'Ingenieur, Energetique, Universite de Perpignan, France, 1984
- Diplome d'Etude Approfondie, Energetique, Universite de Perpignan, France, 1981
- Diplome d'Universite, Energie Solaire, Universite de Perpignan, France, 1980
- Diplome d'Etude Specialise, d'Automatique, Universite de Nantes, France, 1979
- Sarjana Teknik Mesin (Ir), Institut Teknologi Bandung (ITB), 1977.

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

- Staf Pengajar Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB, 1978 -
- Kepala Pusat Penelitian Energi Baru dan Terbarukan LPPM ITB 2016 -
- Direktur Operasional LAPI ITB, 1997 - 2002
- Sekretaris Lembaga Penelitian ITB, 1993 - 1997

- Sekretaris Kemahasiswaan Tahap Persiapan Bersama ITB, 1991 – 1993
- Peneliti di Laboratorium Mesin2 Fluida, FTMD ITB, 1986 -
- Peneliti di Pusat Rekayasa Industri ITB, 2004 -

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- CPNS, III/A 1 Maret 1978
- Penata Muda, III/A, 1 Nopember 1986
- Penata Muda TK 1, III/B, 1 April 1987
- Penata, III/C, 1 April 1990
- Penata TK.I, III/D, 1 Oktober 1992
- Pembina IV/A, 1 Oktober 1995
- Pembina TK.I, IV/B, 1 April 1999
- Pembina Utama Muda, IV/C, 1 April 2009
- Pembina Utama, IV/D, 1 Maret 2018

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya, 1 Maret 1978
- Asisten Ahli, 1 April 1987
- Lektor Muda, 1 Januari 1990
- Lektor Madya, 1 Juni 1992
- Lektor (Inpassing), 1 September 1995
- Lektor Kepala Madya, 1 Januari 1999
- Lektor Kepala (Inpassing), 1 Januari 2001
- Profesor/Guru Besar, 1 Maret 2018

V. KEGIATAN PENELITIAN (5 tahun terakhir)

- Program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi, "Turbin Air

Head Sangat Rendah ($H < 2$ m), Metoda Inverse Design dan Keseimbangan Radial. Pengujian serta Prototype PMG Turbine Skala Mikro-Hidro", 2015, Riset Unggulan PT

- Program Riset Desentralisasi Dikti, "Turbin Air Head Sangat Rendah ($H < 2$ m), Metoda Inverse design dan keseimbangan radial, pengujian serta prototype skala Mikro-Hidro", 2014, Riset Unggulan PT
- Pemanfaatan Energi Arus laut untuk Percepatan Rehabilitasi Habitat Ikan, Produksi Hibrida energi Alternatif Berbahan Baku Lokal Pembantu Persional Nelayan, dan Sumber Daya Rumpon Desain Baru. 2010, Riset Unggulan PT
- "Current Energy of Hydrokinetic Exploitation (Axial, Helical, Cross Flow Water Current Turbine) : Design, Development and Experimental Test", 2009, AUNSEED/NET
- Penelitian dan Pengembangan Sistem Turbin Mikro Hidro: Desain Cross Flow Turbine Daya 5 s/d 35 kVA sesuai dengan SNI, dan Prototipe berdaya 5 kVA. Desain dan Prototipe Turbin Aksial & Permanent Magnet Generator 15 kVA untuk Pembangkit Listrik Head Sangat Rendah (Head 0,4 s/d 4 m), 2015-2018, Kerjasama Penelitian P3TEKEBTKE ESDM, TELIMEK LIPI dan PPEBT LPPMITB

VI. PUBLIKASI

- **Priyono Sutikno**, Nono Suprayetno, Nathanael P. Tandian, Firman Hartono," Design and Performance Analysis of Axial Hydro Turbine with Criteria of Tangential Velocity and Constant Diffusion Factor", International Journal of Fluid Machinery and Systems, DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/IJFMS.2017.10.4.447> Vol.

10, No. 4, October December 2017, ISSN : 1882-9554

- Muis, A., **Sutikno, P.**, Soewono, A., and Hartono, F; "Optimal Design of Two-Dimensional Cascade with Shock Free Inflow Criterion". International Journal for Fluid Machinery and Systems., Vol. 9, No. 4, October-December 2016 ISSN: 1882-9554, <http://dx.doi.org/10.5293/IJFMS.2016.9.4.362>
- **Priyono Sutikno**, Yuliandra Syahrial N, Doddy Risqi, Eki Mardani, Erpinus Sihombing, "Experimental of Three Parallel Water Current Turbine With Optimized Straight Blades And Using Flow Concentrator Channeling Device To Augmented Performance and Self Starting Capability". Applied Mechanics and Materials Vol. 758 (2015) pp. 153-158. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.758.153., Switzerland, 2015.
- Abdul Muis, **Priyono Sutikno**, Aryadi Suwono, Firman Hartono, "Comparative Study on Performance of Very Low Head Axial Hydraulic Turbine Using a Single Rotor and a Contra-Rotating Rotor". Applied Mechanics and Materials Vol. 758 (2015) pp.165-172, DOI:10.4028/www.sciencetific.net/AMM.758.165.Switzerlan d, 2015.
- Pudji Irasari, **Priyono Sutikno**, Puji Widiyanto, Qidun Maulana, "Performance Measurement of a Compact Generator-Hydro Turbine System". International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol.5 No.6, December 2015, pp. 1252-1261. ISSN:2088-8708. <http://iaesjournal.co/online/index.php/IJECE>
- Abdul Muis, **Priyono Sutikno**, Aryadi Suwono, Firman Hartono, "Design Optimization of Axial Hydraulic Turbine for very low head application ". Energi Procedia, 68 (2015), 263-273. <http://www.sciencedirect.com>

- Abdul Muis, **Priyono Sutikno**, "Design and Simulation of Very Low Head Axial Hydraulic Turbine with Variation of Swirl Velocity Criterion". International Journal of Fluid Machinery and System, Vol. 7, No. 2, April - June 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/IJFMS.2014.7.1.068>. ISSN (Online) 1882-9554., p.68-79. 2013.
- **Priyono Sutikno**, Ibrahim Khalil Adam: "Design, Simulation and Experimental of the Very Low Head Turbine with Minimum Pressure and Free Vortex Criteria". International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol : 11 No 01, pp. 9 - 15, February, Saddar, Rawalpindi Cantt, Pakistan ,2011. Jurnal terindex SJR. <http://www.ijens.org/IJMME%20Vol%2011%20Issue%2001.html>.
- **Priyono Sutikno**, Deny Bayu Saefudin: "Design and Blade Optimization of Contra Rotation Double Rotor Wind Turbine". International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol: 11 No: 01, pp.16-24, February 2011, Saddar, Rawalpindi Cantt, Pakistan, 2011. Jurnal terindex SJR. <http://www.ijens.org/IJMME%20Vol%2011%20Issue%2001.html>
- Puji Widiyanto, **Priyono Sutikno**, Abdul Muis, Pudji Irasati, "Performance Test of the Low Head Axial Flow Turbine Prototype Integrated with Permanent Magnet Generator". The 13th Asian International Conference on Fluid Machinery, Tokyo, Japan, 2015
- I Wayan Marion Managi, Puji Widiyanto, **Priyono Sutikno**, "Design and CFD Analysis of 10kW Radial Turbo Expander on 9000rpm Using NACA0018 Profile and Working Fluid R134a ". The 13th Asian International Conference on Fluid Machinery

2015, AICFM13, Tokyo, Japan, 2015

- **Priyono Sutikno**, Rafil Fikriyan, "Model Test of the Water Current Catamaran Turbine and Their Stability". The 13th Asian International Conference on Fluid Machinery, 7th-10th September 2015, Tokyo, Japan, 2015
- Yuliandra Syahrial N, **Priyono Sutikno**, "Simulation of Straight Blade Darrieus Turbine with Channeling Device in Utilize with Parallel and Shifting Angle Configurations". The 12th Asian International Conference on Fluid Machinery, Yogyakarta, 25-27 September 2013, Paper ID-AICFM12-027.
- Sounthisack P., **Priyono Sutikno**, Aryadi Suwono, Obi Shinnosuke, "The Simulation and Experiment of the Ducted Water Current Turbine and Extremely Low Head Helical Turbine". The 12th Asian International Conference on Fluid Machinery, Yogyakarta, 25-27 September 2013. Paper ID: AICFM12-0001.
- Sounthisack P., **Priyono Soetikno**, Aryadi Suwono, Obi Shinnosuke, "The Experiment of the Ducted Water Current Turbine and Extremely Low Head Vertical Axis Turbine". FTEC2013 - The 8th International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Semarang, November, 8-11, 2013
- Doddy Rizqi, **Priyono Sutikno**: "Investigations on the performance of multi rotor DARRIEUS-type cross-flow water turbine in parallel configuration using computational fluid dynamics and experimental". The 12th Asian International Conference on Fluid Machinery, Yogyakarta, 25-27 September 2013. Paper ID: AICFM12-056
- **Priyono Sutikno**, I Nengah Diasta: "Simulation and Investigation of the Air-Foil Motion in the Extremely Low Head Ducted

Darrieus Type Water Turbine". The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on New and Renewable Energy, RCNRE 2012, Hanoi, September 26-27, 2012. ISBN: 978-604-911-121-1. p.183-192

- **Priyono Sutikno**, I Nengah Diasta: "Quasi 3-D Inverse Design Method, Optimization Criterion for Very Low Head Axial Turbine Design". FTEC2011 - Proceeding The 7th International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Zhengzhou, September 24-27, 2011. p.390-401
- **Priyono Sutikno**: "Numerical Simulation of the Francis Turbine and CAD used to Optimized the Runner Design (2nd)". American Institute of Physics Conference Proceedings, The 10th Asian International Conference on Fluid Machinery June 28, 2010 - Vol.1225, pp.816-825, USA
- **Priyono Sutikno**, Jefri Rosiadi: "Optimization of Straight Blade Darrieus Turbine used as Hydro Turbine". The International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Tongyeong, South Korea, December 7 -10, 2009 ISSN 0854 - 9346, pp.000-1 - 000-8.
- Abdul Muis, **Priyono Sutikno**, Aryadi Suwono, Firman Hartono, "Development of the Very Low Head Turbine for Pico and Micro Hydro Application". Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII), Bandar Lampung, 23-24 Oktober 2013. ISBN 978-979-8510-61-8

VII. PENGHARGAAN

- Piagam Penghargaan dan Lencana Pengabdian 40 tahun di ITB, 2018
- Satyalancana Karya Satya XXX, 2012

- Piagam Penghargaan dan Lencana Pengabdian 25 tahun di ITB, 2005
- Satyalancana Karya Satya XX, 2002
- Ganesa Wira Adi Utama dan Ganesa Bhakti Wira Madya, 2001
- Bakti Wira Madya ITB, 1998
- Satyalancana Karya Satya XV, 1998

VIII. SERTIFIKASI, PELATIHAN DAN KURSUS.

- Penataran Penghayatan dan Pengamalan Pancasila (P4) Tipe A, 1986
- Orientasi Pengembangan Pembinaan Kemahasiswaan, 1988,
- Penataran Kesadaran Bela Negara dan Peningkatan Kemampuan Pertahanan Sipil, 1990
- Sertifikasi Dosen, 2010. Kementerian Pendidikan Nasional RI
- Application of Fluid Machinery Focused on Energy Conservation, The Association Overseas Technical Scholarship, Japan AOTS-EBARA-ITB, 2008
- Unsteady Flow in Turbo Machinery, Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Belgium, 1996

IX. ASOSIASI

- ASME International (The American Society of Mechanical Engineers), 1995-
- KNI-WEC (Komitee Nasional Indonesia - World Energy Council)
- AHB (Asosiasi Hidro Bandung), 2008-
- AFMC (Asian Fluid Machinery Committee), 2011-
- HAKIT (Himpunan Ahli Pembangkit), 2018-

