

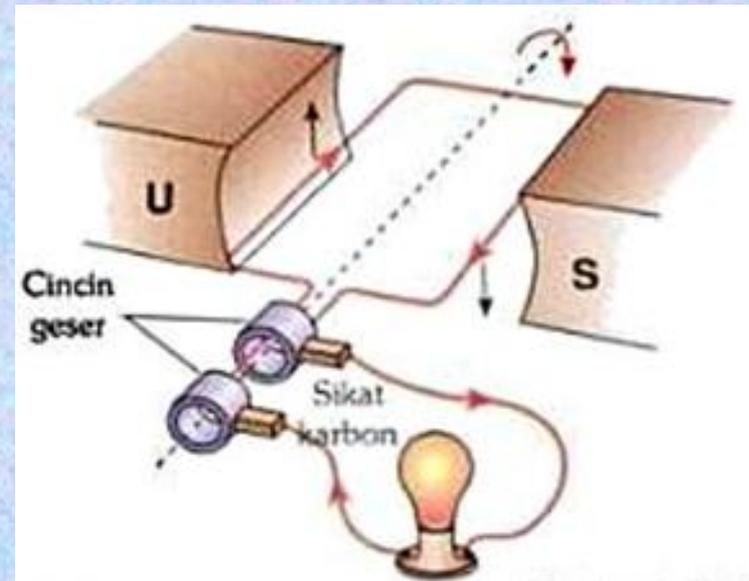
Aplikasi Generator Sinkron pada Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan



Pembangkit Energi Listrik (Generator/Alternator)

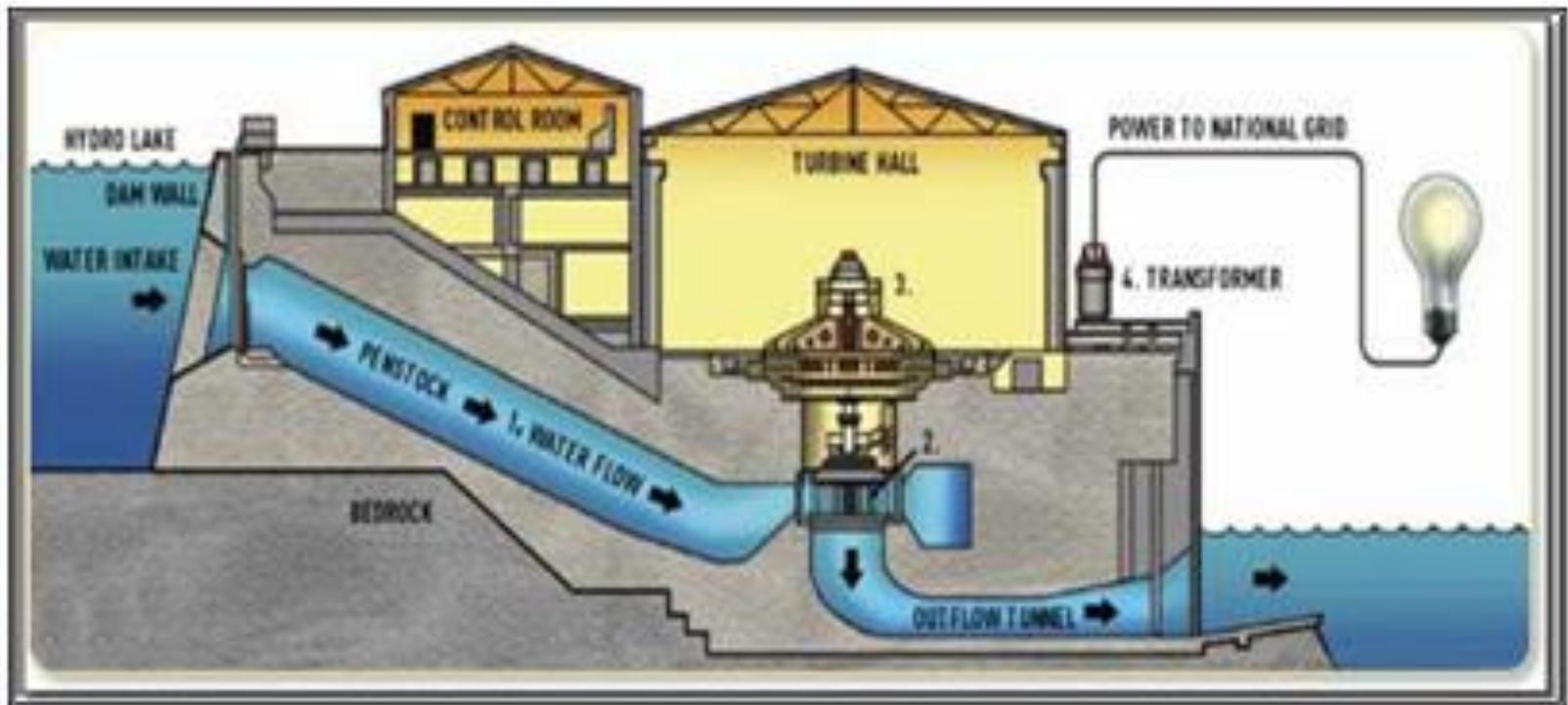
- Prinsip Kerja : Hukum Lenz → Arus listrik yang diberikan stator akan membangkitkan gaya gerak elektrik (electromotive force, EMF).
- Besarnya tegangan EMF = $44,4 K_C K_D T \Phi f$ [Volt]

di mana : K_C = jarak antar kumparan (*pitch factor*), K_D = faktor distribusi, T = jumlah lilitan, Φ = fluks per kutub [weber], f = frekuensi.



Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

- PLTMH : pembangkit listrik dgn air sbg penggerak turbin dan memutar generator dengan skala daya 5 ~ 50 kW. (NOTOSUDJONO, D. 2002).



Analisis PLTMH

- Daya teoritis yg bisa dibangkitkan oleh sebuah PLTMH :

$$P = 9,8 \cdot \rho \cdot Q \cdot H$$

Di mana :

- ρ : Masa jenis air (kg/m³)
- Q : Debit air dalam (m³/dt)
- H : Tinggi jatuh air dalam (m)

(ZUHAL, 1981)

- Daya akan berkurang setelah melalui turbin dan generator menjadi :

$$P = 9,8 \cdot \rho \cdot Q \cdot H \cdot \text{eff}_T \cdot \text{eff}_G$$

Dimana :

- eff_T : Efisiensi Turbin antara (0,8 s/d 0,95)
- eff_G : Efisiensi Generator (0,8 s/d 0,95)

- Kecepatan medan putar di dalam generator sinkron dinyatakan oleh persamaan :(THERAJA, BL. 2001).

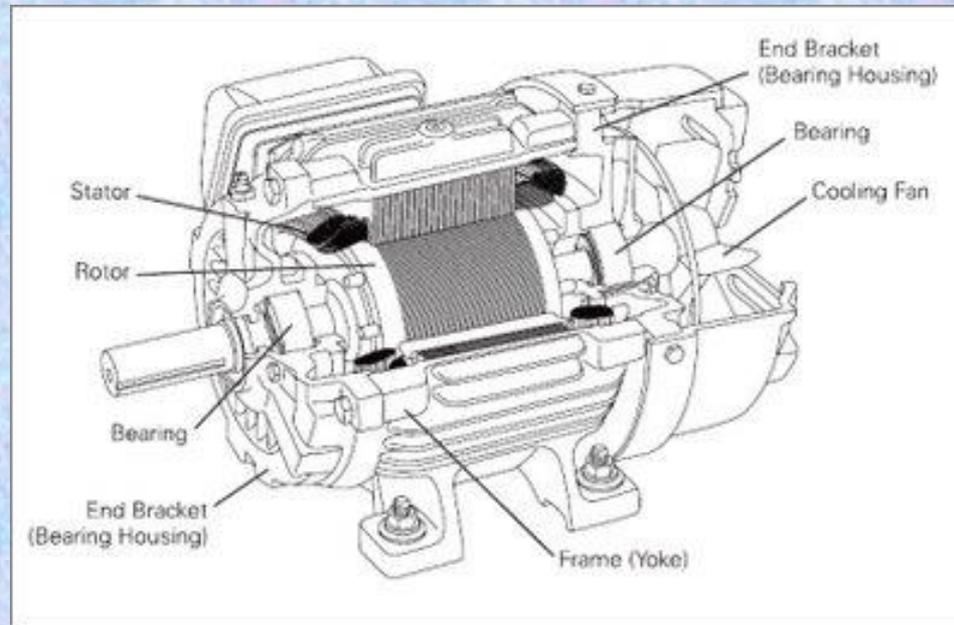
$$n_s = \frac{120.f}{p}$$

Dimana :

n_s = Kecepatan medan putar (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

p = Jumlah kutub motor induksi



Survei Potensi PLTMH

- a. Gambaran pencapaian dan akses lokasi.
- b. Pengukuran debit sesaat dari aliran air sungai.
- c. Pengukuran tinggi jatuh air (*head*).
- d. Menentukan alternatif konfigurasi PLTMH : bendung, *intake*, saluran, kolam, pipa pesat, gedung pembangkit, *tail race*, *switchyard*, jalan masuk, rute jaringan, dll.
- e. Survei yg berhubungan dgn aspek topografi, hidrologi, geologi/geoteknik, sistem kelistrikan, pembebanan, sosial-ekonomi, fasilitas pendukung, sumber material dlsb.

Karakteristik potensi :

- a. Kapasitas lebih dari 100 kW.
- b. Kemiringan dasar sungai min 2 %, debit air relatif besar.
- c. Jarak PLTMH ke pusat beban, max 20 km.
- d. Teknis pelaksanaan mudah. (MASONYI, 2007)

Tinggi Jatuh Air (Head)

- Gradien skematik rata-rata dirumuskan :

$$I = \frac{h_1 - h_2}{A}$$

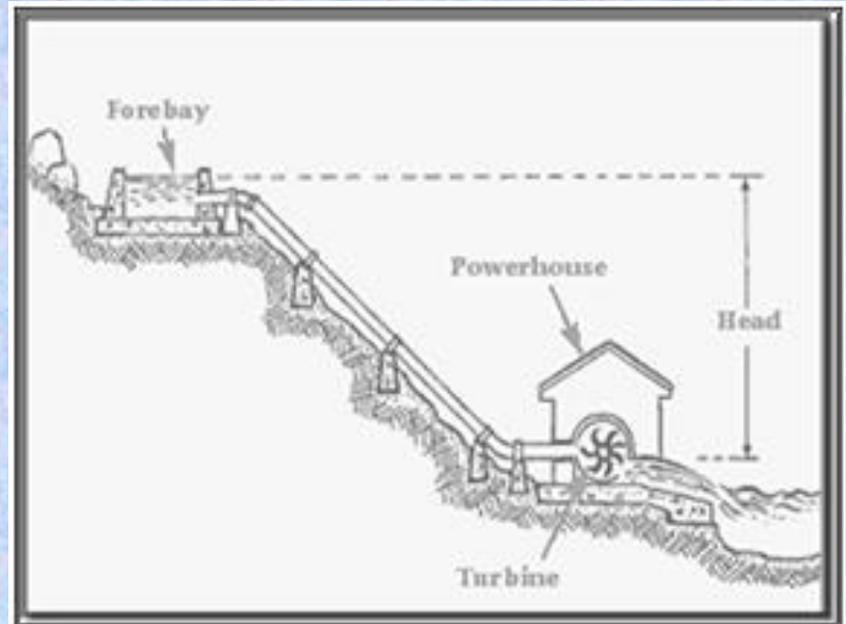
Di mana :

h_1 = Elevasi titik tertinggi (m)

h_2 = Elevasi titik terendah (m)

A = Luas areal (m²)

(WIBAWA, U. 2006)



Debit Air

Mengukur luas permukaan sungai kecepatan aliran air sungai :

- Pengukuran kedalaman sungai dilakukan di beberapa titik berbeda $X_1 - X_n$.
- Hitung kedalaman rata-rata, menggunakan rumus:

$$X_{rata} = \frac{\sum x}{n}$$

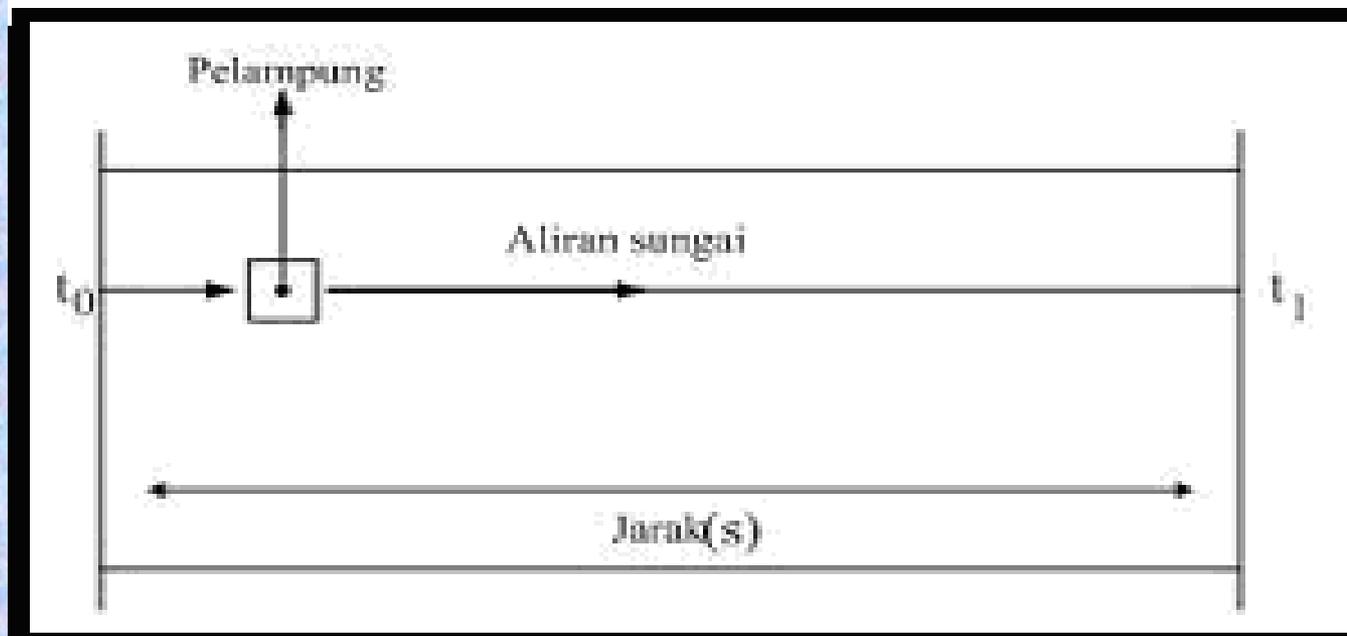
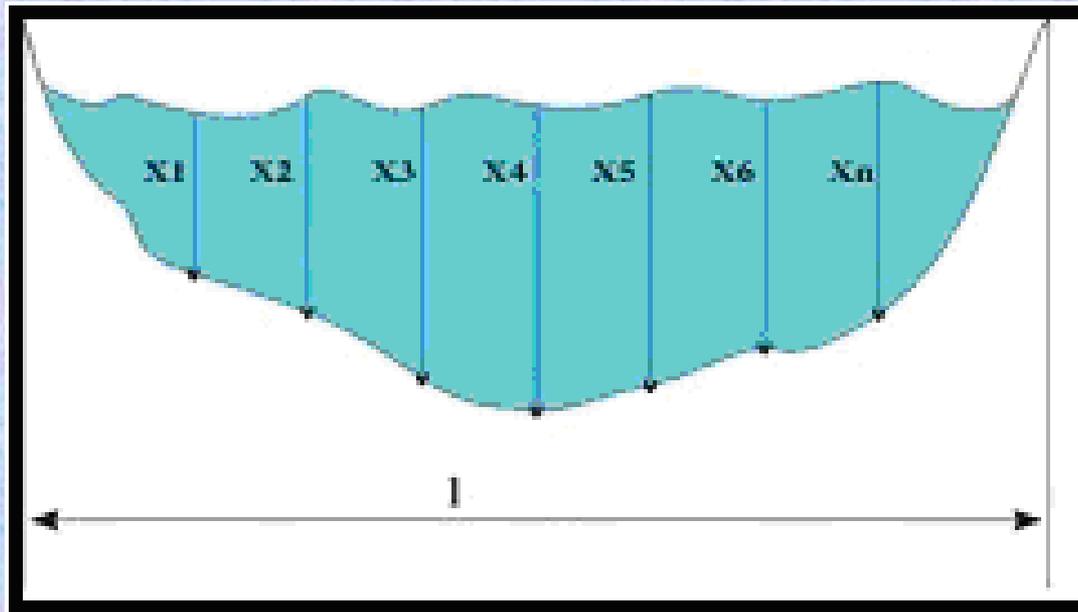
- Hitung luas = mengalikan kedalaman rata-rata dgn lebar sungai (L) :

$$A = X(\text{rata}) \cdot L$$

- Kecepatan aliran air sungai : $v = s / t_{rata}^2$
- Debit air :

$$Q = A \times v \quad (\text{m}^3/\text{det})$$

(SUBROTO, I . 2002).



Tugas

- Buatlah studi tentang pembangunan sebuah PLTMH dengan karakteristik sebagai berikut :
 - Daya keluaran 10 kW
 - Debit air 10 m³/detik
 - Jarak ke beban rata-rata 1 km
- ➔ Studi dilengkapi dengan perhitungan yang memadai untuk semua komponen yang diperlukan.

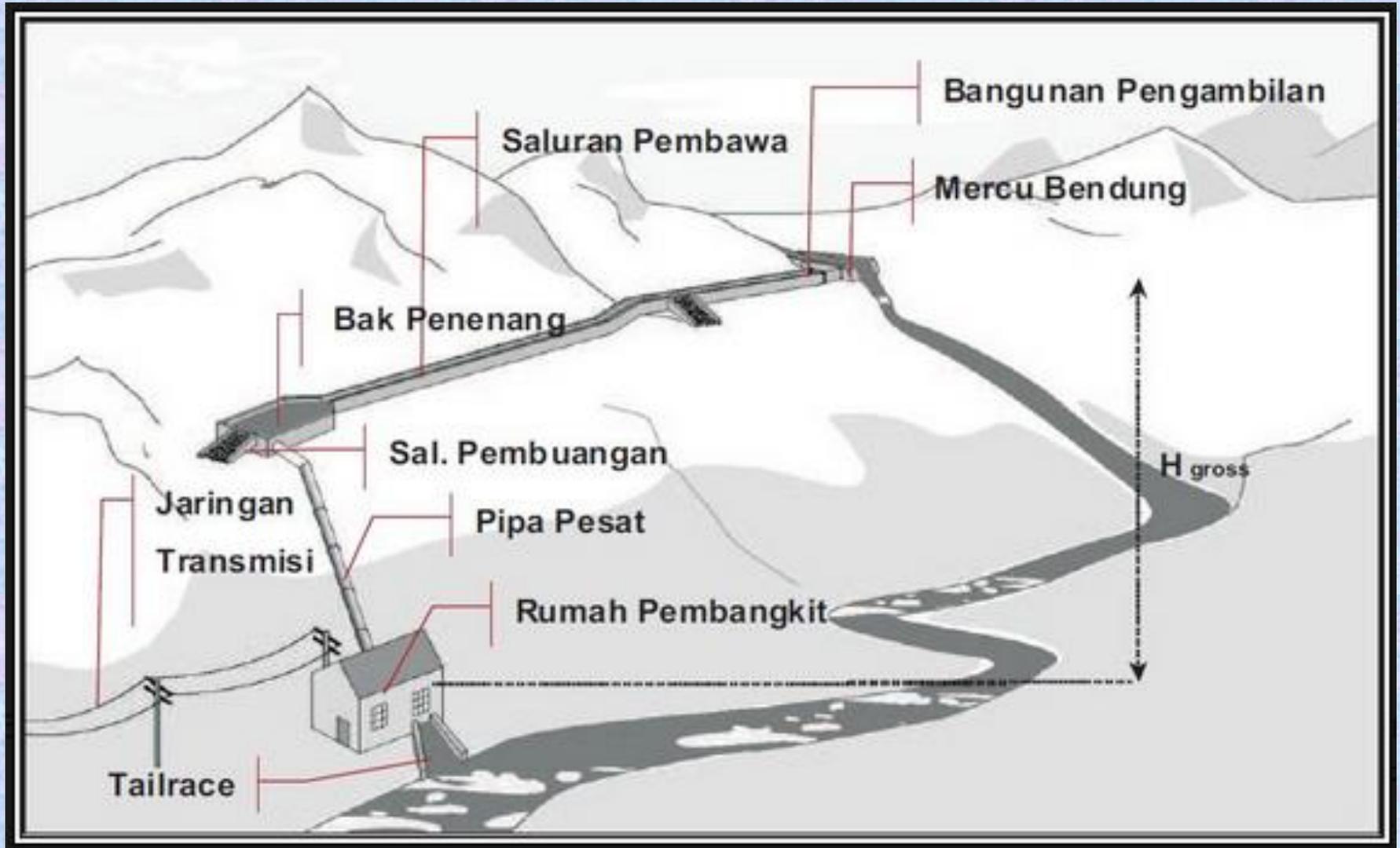
Problem Defining

1. Peran serta masyarakat setempat
2. Survei kurang memadai :
 - Kurangnya data
 - Tingginya biaya dan waktu yang dibutuhkan
 - Pemilihan lokasi yang tidak tepat
 - Rendahnya faktor beban
 - Ukuran pembangkit tidak tepat
 - Instalasi yang buruk
 - Desain kanal yang kurang baik dan tidak ekonomis
 - Dlsb.
3. Terjadi banjir
4. Pengelola mikrohidro tidak mampu mengganti generator yang rusak
5. Dst.

Presurvei

1. Masyarakat berunding untuk membuat kesepakatan dan rencana bersama.
2. Mengajak pakar untuk melakukan survey lapangan tentang potensi aliran air : mengukur debit dan ketinggian air.
3. Menganalisis dampak lingkungan yang timbul dari pembangunan PLTMH.
4. Menghitung kebutuhan listrik masyarakat pengguna → perlu perhitungan cermat untuk menghindari konflik masyarakat karena kapasitas PLTMH relatif kecil.
5. Menghitung biaya yang diperlukan : pembuatan bendungan, kolam penenang, pipa pesat, *power house*, pembelian perangkat turbin, pembangunan jaringan, dlsb.
6. Berunding mencari alternatif pembiayaan : swadaya, bantuan pemerintah, bantuan swasta, dlsb.

Contoh Rancangan PLTMH



Contoh Rancangan PLTMH

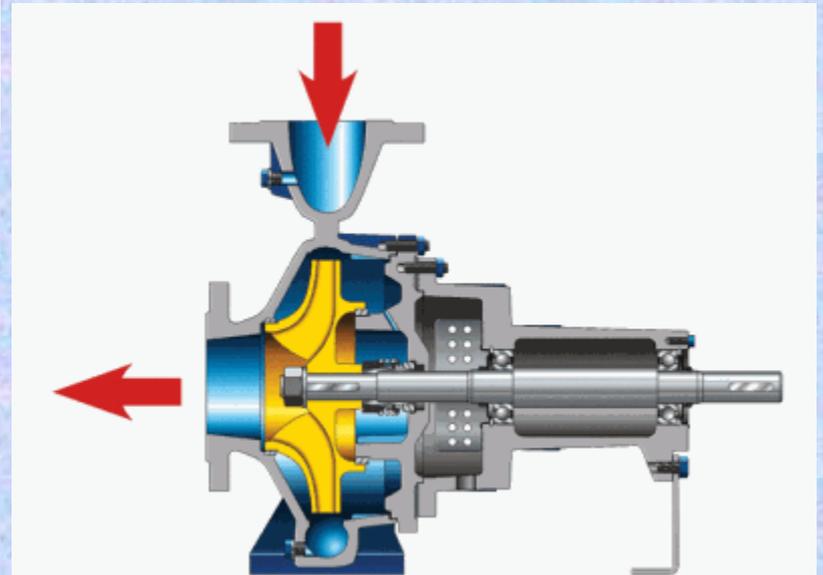
- Mercu Bendung (Wier) Bangunan yang berada melintang sungai yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran air
- Bangunan Pengambilan (Intake) Bangunan yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam Saluran Pembawa (Headrace).
- Bak Penangkap Pasir (Sand Trap) dapat menjadi satu (terintegrasi) dengan bangunan ini.
- Saluran Pembawa (Headrace) Bangunan yang berfungsi mengalirkan/membawa air dari Intake ke Forebay.
- Headrace dapat juga terbuat dari pipa.
- Bak Penampungan (Forebay) Bangunan yang mempunyai potongan melintang (luas penampang basah) lebih besar dari Headrace yang berfungsi untuk memperlambat aliran air.
- Saringan (Trash Rack) Terbuat dari plat besi yang berfungsi menyaring sampah-sampah atau puing-puing agar tidak masuk ke dalam bangunan selanjutnya.
- Trash Rack diletakkan pada posisi melintang di bangunan Intake atau Forebay dengan kemiringan $65 - 75^\circ$
- Saluran Pembuangan (Spillway) Bangunan yang memungkinkan agar kelebihan air di dalam Headrace untuk melimpah kembali ke dalam sungai.
- Pipa Pesat (Penstock) Pipa bertekanan yang membawa air dari Forebay ke dalam Power House.
- Rumah Pembangkit (Power House) Bangunan yang di dalamnya terdapat turbin, generator dan peralatan control.
- Tailrace Saluran yang berfungsi mengalirkan/membawa air dari turbin kembali ke sungai.
- Jaringan Transmisi Terdiri dari tiang, kabel dan aksesoris lainnya (termasuk trafo; jika diperlukan) yang berfungsi mengalirkan energi listrik dari Power House ke konsumen (rumah-rumah dan pabrik).

Jenis Turbin

1. Turbin Crossflow :

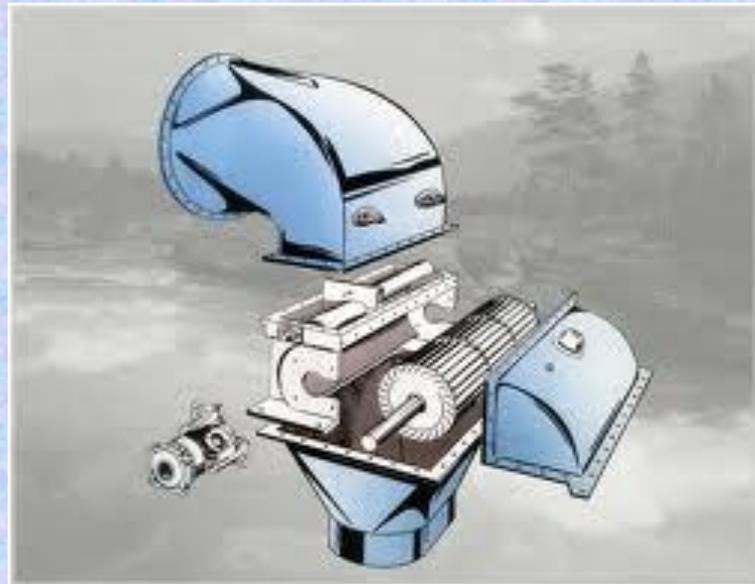
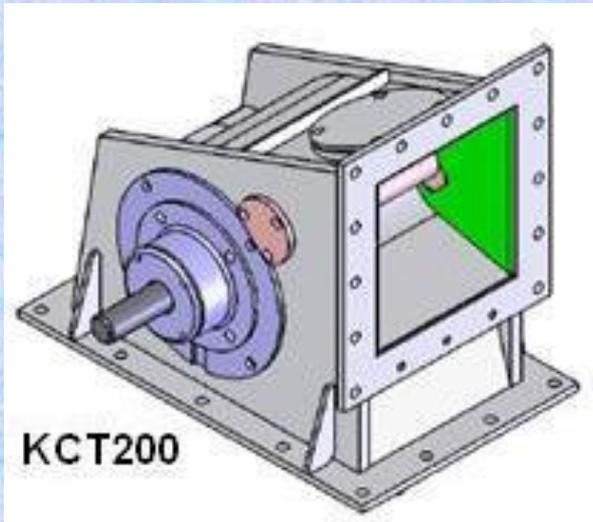
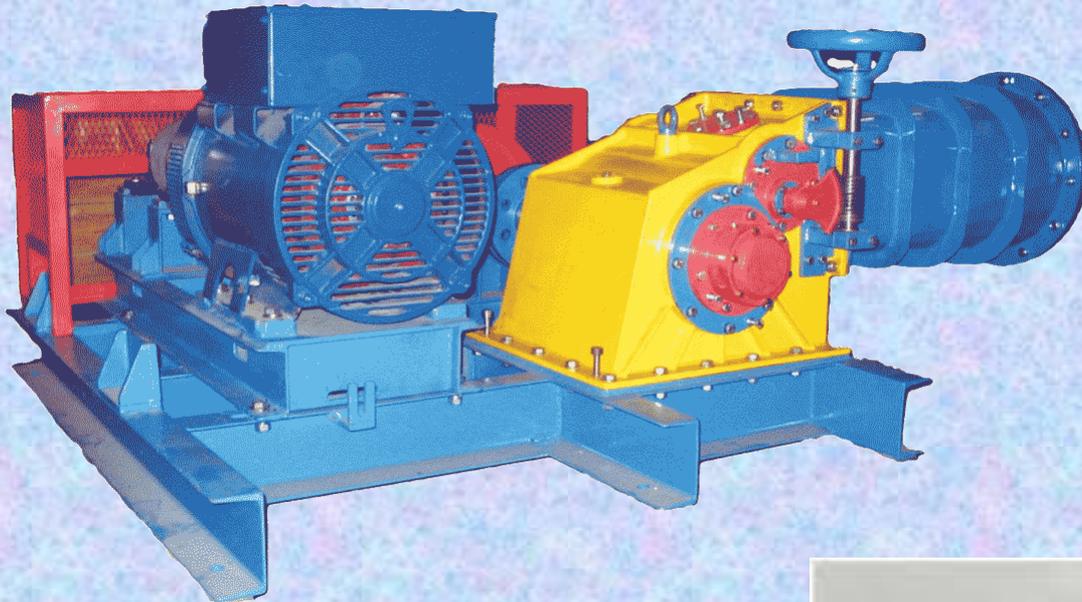


2. Turbin Pico Propeler :

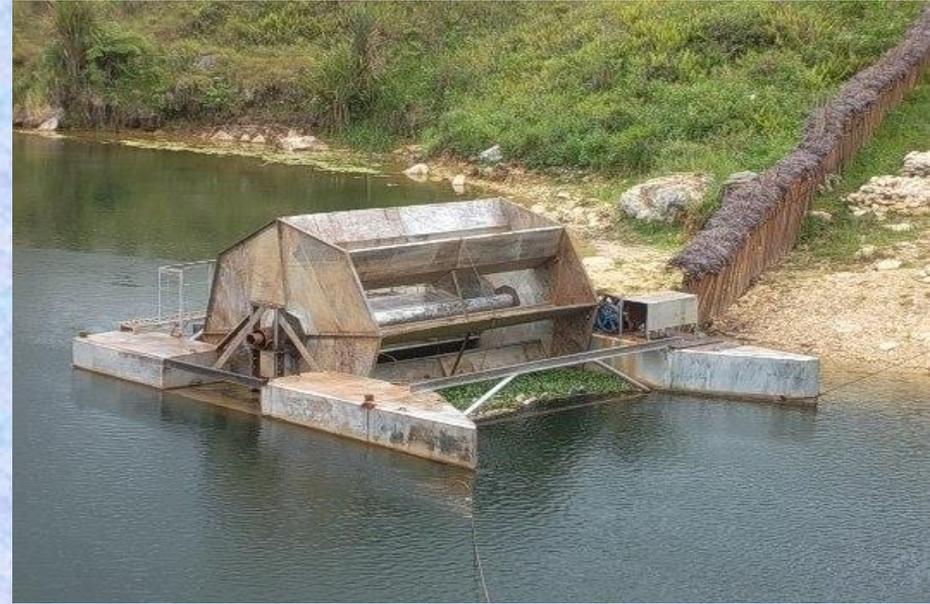


3. PAT (Pump As Turbine)

Konstruksi Turbin dan Generator



Konstruksi Turbin dan Generator



Langkah-Langkah

1. Menghitung jarak akses ke lokasi PLTMH lengkap dg sarana transportasinya yg digunakan utk masuk ke desa.
2. Melakukan pengukuran debit air sungai minimal pada 2 titik.
3. Menentukan titik letak rencana *Power House*, jalur *Penstock*, bak penenang, jalur saluran pembawa dan bendung.
4. Melakukan pengukuran beda tinggi (*head*) dari titik rencana *Power House* ke Bak penenang.
5. Membuat sketsa catment area sungai.
6. Mengukur jarak dari titik potensi ke pusat desa, panjang jalan desa dan membuat pata desanya.
7. Mendapatkan data-data penduduk, ekonomi dan sosial masyarakat.
8. Melakukan sosialisasi terhadap pembangunan PLTMH.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

- Potensi :
 - Tahun 2007 energi listrik yg dihasilkan oleh turbin angin mencapai 93.85 GW (lebih dari 1% dari total kelistrikan global).
 - Tahun 2010 total kapasitas pembangkit listrik secara global mencapai 170 GW.
 - Amerika, Spanyol dan China merupakan negara terdepan dalam pemanfaatan energi angin.
 - Di kawasan pesisir Indonesia, total kapasitas terpasang energi angin kurang dari 800 kW.
 - Hingga tahun 2025 PLTB ditargetkan mencapai 250 megawatt (MW).

Kelas Angin

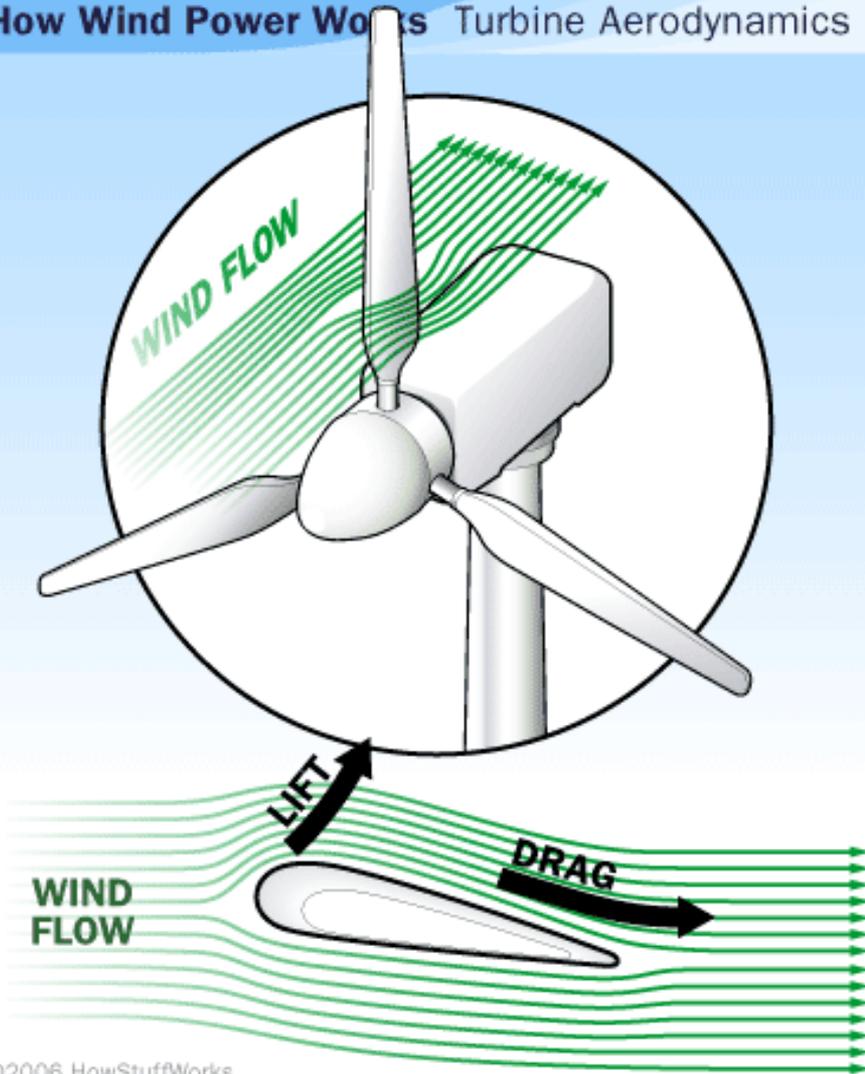
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/s	Kondisi Alam di darat
1	0,00 – 0,02	-
2	0,2 – 1,5	Angin tenang asap lurus keatas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angina
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,6 – 7,9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10 7	Ranting pohon bergoyang, berdera berkibar
7	10,8 – 12,1	Ranting pohon besar bergoyang, air kolam berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga
9	17,2 – 20,7	Dapat merubuhkan pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Dapat merubuhkan pohon, rumah rubuh
11	24,8 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,6 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,0	Tornado

Mekanisme Turbin Angin

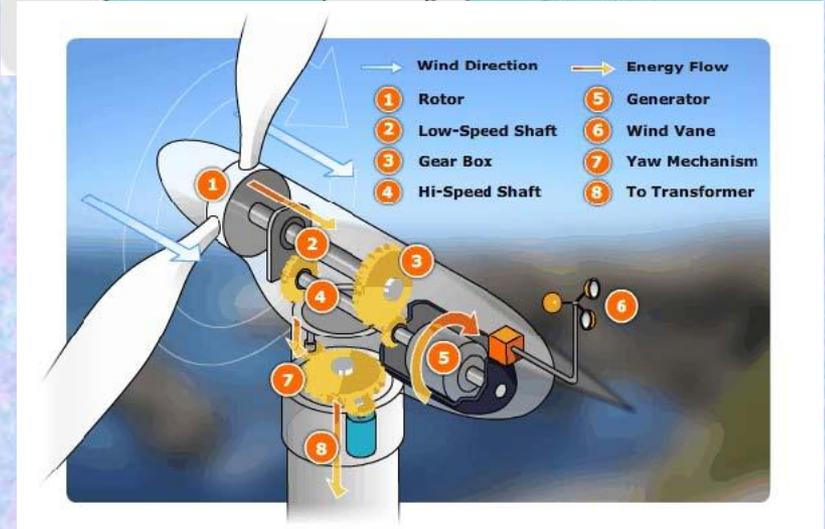
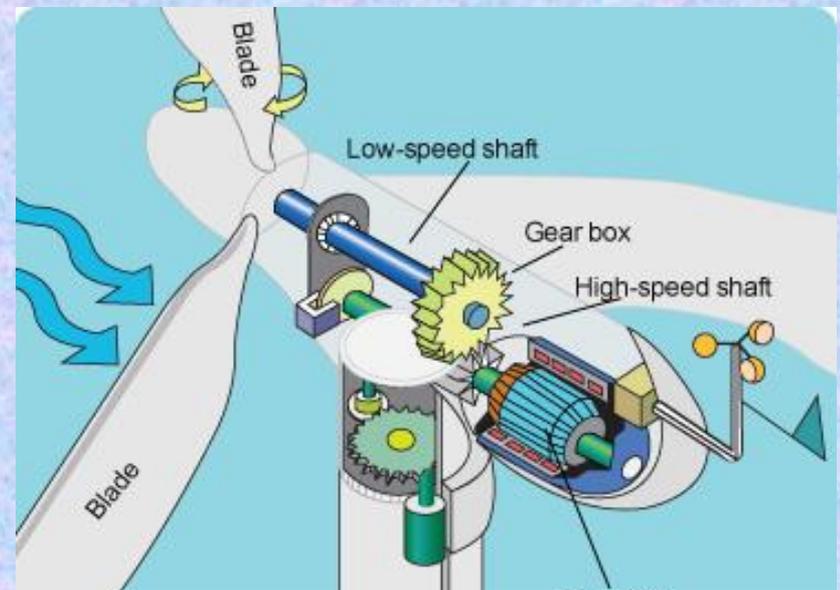
- Prinsip dasar : angin memutar sudut turbin, lalu memutar poros yang dihubungkan dengan generator.
- Turbin untuk PLTB biasanya berkapasitas 50-750 kW, turbin kecil kapasitas 50 kW biasa digunakan untuk perumahan sederhana.
- Kebanyakan turbin memakai *blade* berbentuk penampang sayap pesawat (*aerofoil*), karena efisiensinya tinggi dan menghasilkan beda tekanan yg besar diantara kedua sisi *blade* shg berputar dgn momen gaya yg cukup besar.
- Kebanyakan desain turbin dilengkapi dgn pengontrol sudut *blade* (*pitch*). Saat kecepatan angin turun, *blade* bergerak memutar menghadap arah angin, tetapi saat kecepatan angin sangat besar *blade* memutar menjauhi arah angin.
→ daya optimal dan konstan.

Mekanisme Turbin Angin

How Wind Power Works Turbine Aerodynamics

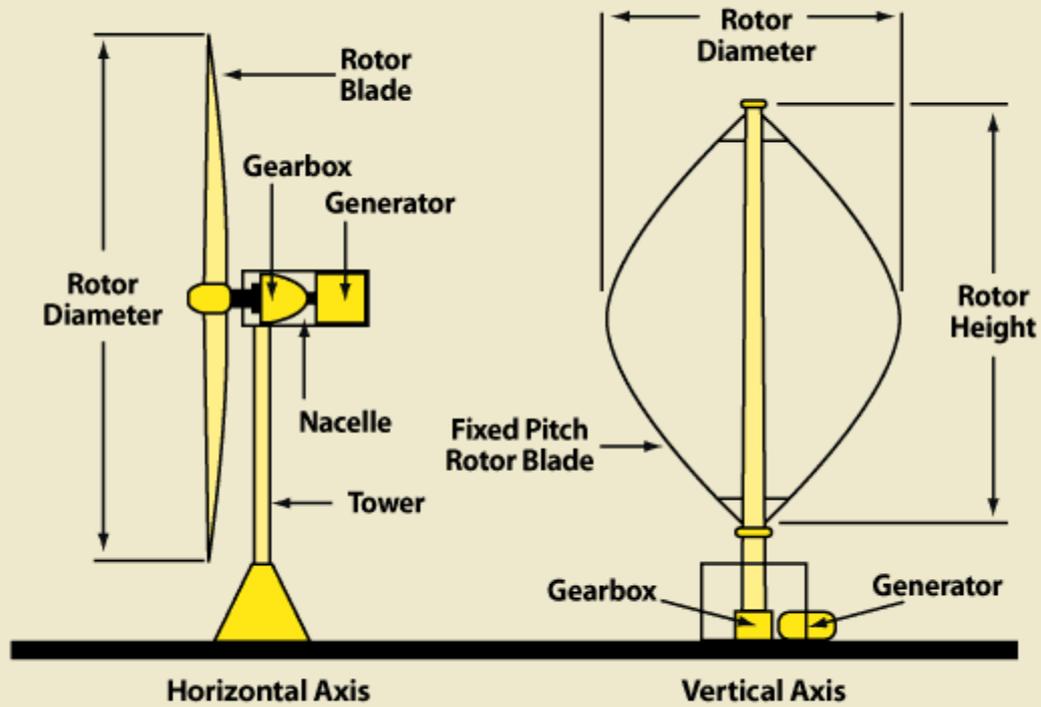


©2006 HowStuffWorks



Jenis Turbin Angin

Horizontal-Axis and Vertical-Axis Wind Turbines



Source: American Wind Energy Association.

Jenis Turbin Angin

1. *Horizontal Axis Wind Turbine* : sumbu putar turbin sejajar dengan bumi. Paling banyak dikembangkan di berbagai negara. Terdiri dari dua tipe :
 - a. *Mesin upwind* : rotor berhadapan dengan angin. Rotor didesain tidak fleksibel, dan diperlukan mekanisme yaw utk menjaga rotor agar tetap berhadapan dengan angin.
 - b. *Mesin downwind* : rotor ditempatkan di belakang tower, dapat dibuat lebih fleksibel, tanpa menggunakan mekanisme yaw, sehingga mengurangi berat. Kelemahannya angin harus melewati tower terlebih dulu sebelum sampai pada rotor, shg menambah beban (*fatigue load*) pd turbin.

Jenis Turbin Angin

2. *Vertical Axis Wind Turbine*: sumbu putar vertikal terhadap bumi. Jarang dipakai untuk turbin komersial. Rotornya berputar relatif pelan (di bawah 100 rpm), tetapi memiliki momen gaya yang kuat, sehingga bisa dipakai utk menggiling biji-bijian, pompa air, tetapi tak cocok untuk menghasilkan listrik (harus di atas 1000 rpm). Sebenarnya bisa diatasi dg gearbox utk menaikkan rpm, tetapi efisiensinya turun dan mesin sulit utk start. VAWT terdiri dari dua tipe, yaitu:
 - a. Tipe dorong : lebih banyak bagian *blade* yg mengalami gaya dorong spt pd mangkuk anemometer. Bentuknya bervariasi, seperti ember, dayung, layar, tangki. Kecepatan maks. *blade* hampir sama dgn kecepatan angin. Efisiensi dayanya rendah.
 - b. Tipe angkat : lebih banyak bagian *blade* yang mengalami gaya angkat. Ukuran *blade* relatif besar dan tinggi, shg menimbulkan getaran. Biasanya memakai dua atau tiga blade. Turbin jenis ini menghasilkan lebih banyak daya output sumbu putar turbin sejajar, efisiensinya tinggi.

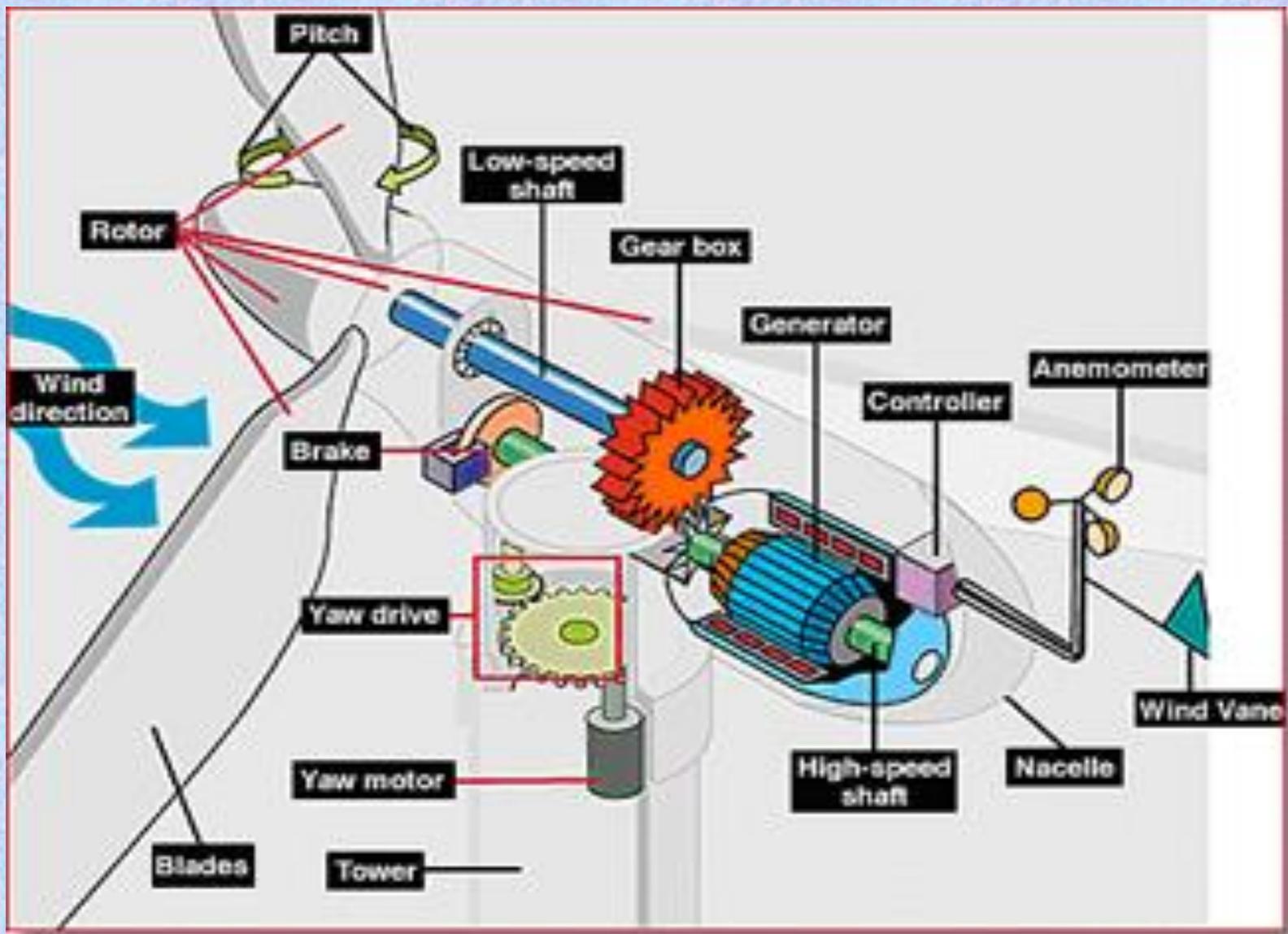
Jumlah *Blade*

- a. Konsep satu *blade*, sulit setimbang, membutuhkan angin yang sangat kencang utk menghasilkan gaya putar, dan menghasilkan *noise* di ujungnya. Konsep ini dikembangkan sukses di Jerman.
- b. Konsep dua *blade*, mudah untuk setimbang, tetapi masih mudah bergeser. Desain *blade* harus memiliki kelengkungan yang tajam utk bisa menangkap energi angin secara efektif. Pd kecepatan angin rendah (sekitar 3 m/s) putarannya sulit dimulai.
- c. Konsep tiga *blade*, lebih setimbang dan kelengkungan *blade* lebih halus untuk dapat menangkap energi angin secara efektif. Konsep ini paling sering dipakai pada turbin komersial.
- d. Konsep multi *blade* (misalnya 12 *blade*), justru memiliki efisiensi rendah, tetapi dapat menghasilkan momen gaya awal yang cukup besar untuk mulai berputar, cocok utk kecepatan angin rendah. Banyak dijumpai utk pompa air, menggiling biji-bijian, karena murah dan mampu bekerja pada kecepatan angin rendah sehingga tower tidak perlu terlalu tinggi dan air dapat dipompa secara kontinu.

Jumlah Blade



Komponen PLTB



Komponen PLTB

- **Anemometer** : mengukur kecepatan angin. Datanya dikirim ke pengendali.
- **Blades** : berupa bilah kipas, bisa 2 atau 3 bilah.
- **Brake** : berupa rem cakram, biasanya digerakkan dengan tenaga listrik.
- **Controller** : pengendali akan menghidupkan turbin pada kecepatan angin antara 12-25 km/jam dan menghentikannya pada 90 km/jam.
- **Gear Box** : roda gigi akan menaikkan putaran turbin 30-60 rpm menjadi \pm 1000-1800 rpm untuk memutar generator.
- **Generator** : sebagai pembangkit listrik.
- **Wind Vane** : tebang angin, mengukur arah angin berhubungan dengan penggerak arah angin.
- **Yaw Drive dan Yaw Motor** : motor dan penggerak arah turbin agar menyongsong angin (untuk jenis turbin yang menghadap angin).

Kelemahan PLTB

- Bunyi bising kincir
- Risiko sambaran petir
- Tidak cocok untuk daerah jalur penerbangan.

Pembangkit Listrik Berbasis Energi Samudera

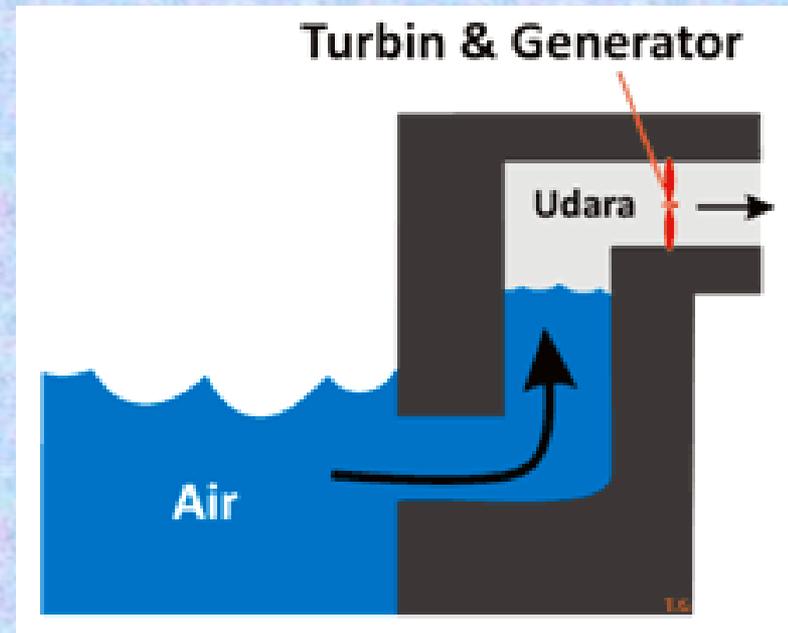


- Kategori energi samudera :
 1. Energi ombak (*wave energy*)
 2. Energi pasang surut (*tidal energy*)
 3. Energi hasil konversi panas laut (*ocean thermal energy conversion*).
- Prinsip sederhana dari pemanfaatan ketiga bentuk energi itu adalah: menggunakan energi kinetik untuk memutar turbin yang selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

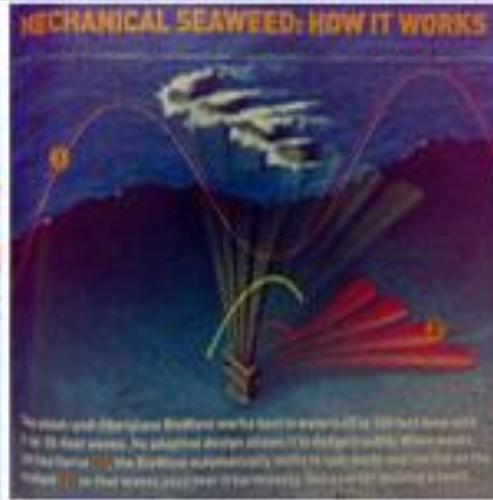
Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (PLTO)



- Ombak dihasilkan oleh angin yg bertiup di permukaan laut. → merupakan sumber energi yang cukup besar.
- Aliran masuk dan keluarnya ombak ke dalam ruangan khusus menyebabkan terdorongnya udara keluar dan masuk melalui saluran di atas ruang tersebut → aliran udara memutar turbin yang menggerakkan generator.
- Masalah utama dengan desain ini adalah ketahanan struktur bangunan PLTO terhadap ombak yang mengganas di musim angin barat.



Beberapa desain PLTO



Pelamis Wave Energy Converters dari Ocean Power Delivery. Proyek komersial pertama dengan kapasitas 2,25 MW telah dibangun di tengah laut 4,8 km dari tepi pantai Portugal

Biowave : rumput laut mekanik

Biostream : sirip ekor ikan hiu buatan

Hasil ciptaan Prof. Tim Finnigan dari Departemen Teknik Kelautan, University of Sydney.

Plus Minus PLTO

- Kelebihan:
 - Tidak butuh bahan bakar.
 - Tidak menghasilkan limbah.
 - Mudah dioperasikan.
 - Biaya perawatan rendah.
 - Bisa menghasilkan energi dalam jumlah memadai.
- Kekurangan :
 - Energi listrik yang dihasilkan tidak stabil karena bergantung pada kondisi ombak; kadang dapat energi, kadang pula tidak.
 - Hanya bisa dibangun di lokasi yang ombaknya cukup kuat dan muncul secara konsisten.

Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut (PLTPS)



- Fakta Indonesia :

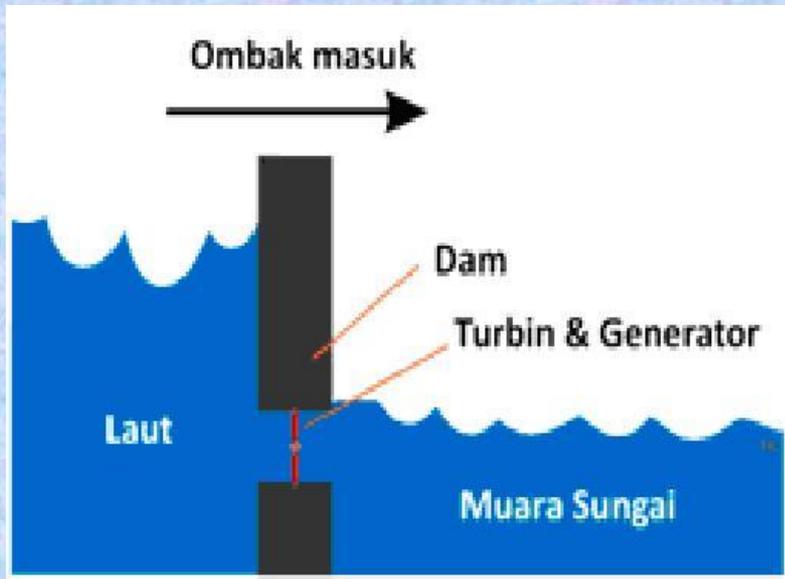
- Luas perairan Indonesia hampir 60% dari total luas wilayah sebesar 1.929.317 km²
- Panjang bentangan Timur ke Barat sepanjang 5.150 km dan bentangan Utara ke Selatan 1.930 km → Indonesia negara dgn garis pantai terpanjang di dunia.



- Pada musim hujan, angin umumnya bergerak dari Utara Barat Laut dengan kandungan uap air dari Laut Cina Selatan dan Teluk Benggala.
- Di musim Barat, gelombang air laut naik dari biasanya di sekitar P.Jawa. → menguntungkan PLT pasang surut.
- Pasang surut terjadi karena adanya gaya tarik benda langit (khususnya bulan dan matahari) pada air laut. → gaya tarik bulan 2.2x lebih besar dibanding gaya tarik matahari.
- Periode pasang laut : waktu antara puncak atau lembah gelombang ke puncak atau lembah gelombang berikutnya. Panjang periode pasang surut bervariasi antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit.



1. Metode Dam Pasang-Surut (*tidal barrages*)



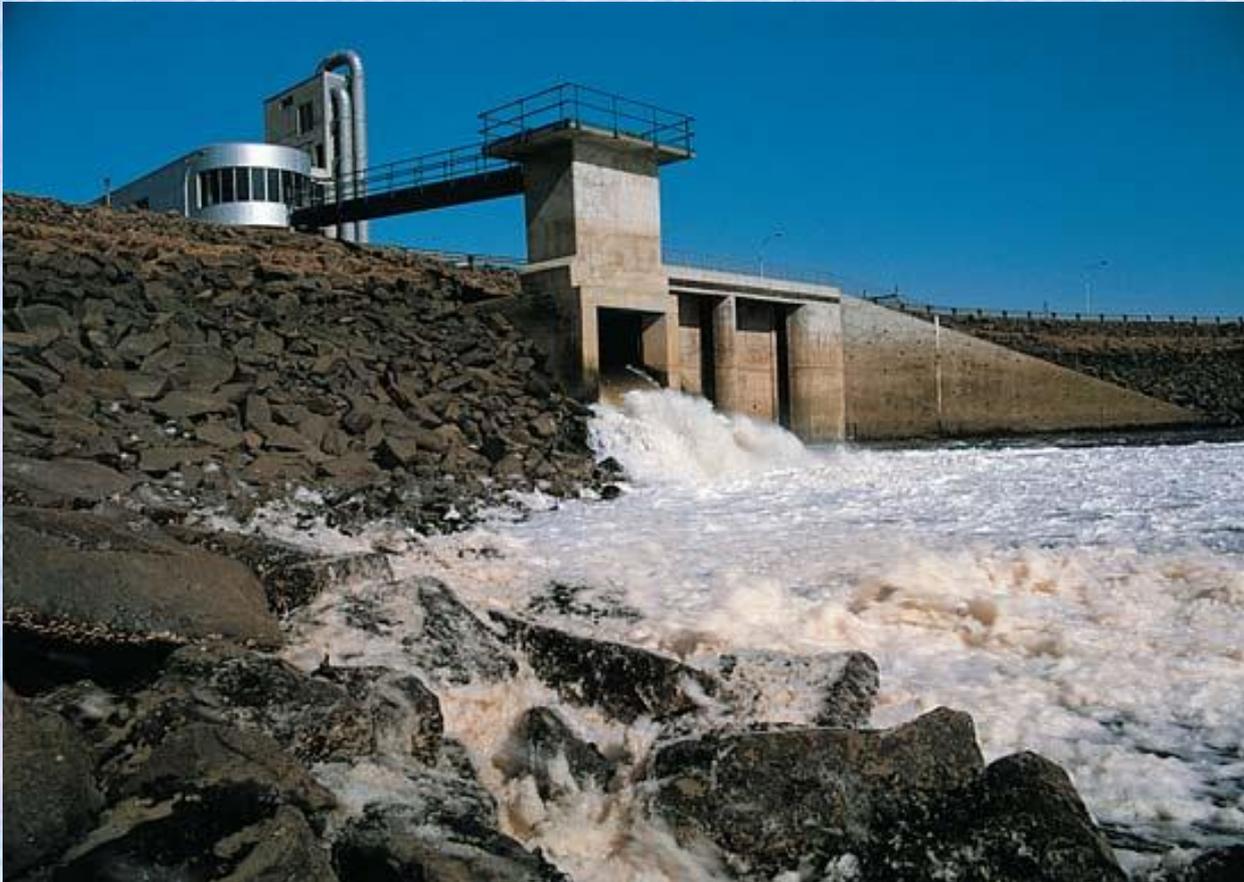
- Dam pasang-surut ukurannya jauh lebih besar dibanding dam air sungai untuk PLTA.
- Dam biasanya dibangun di muara sungai di mana terjadi pertemuan antara air sungai dengan air laut.
- Ketika terjadi pasang atau surut, air mengalir melalui terowongan yg terdapat di dam dan memutar turbin.

Contoh : La Rance, France



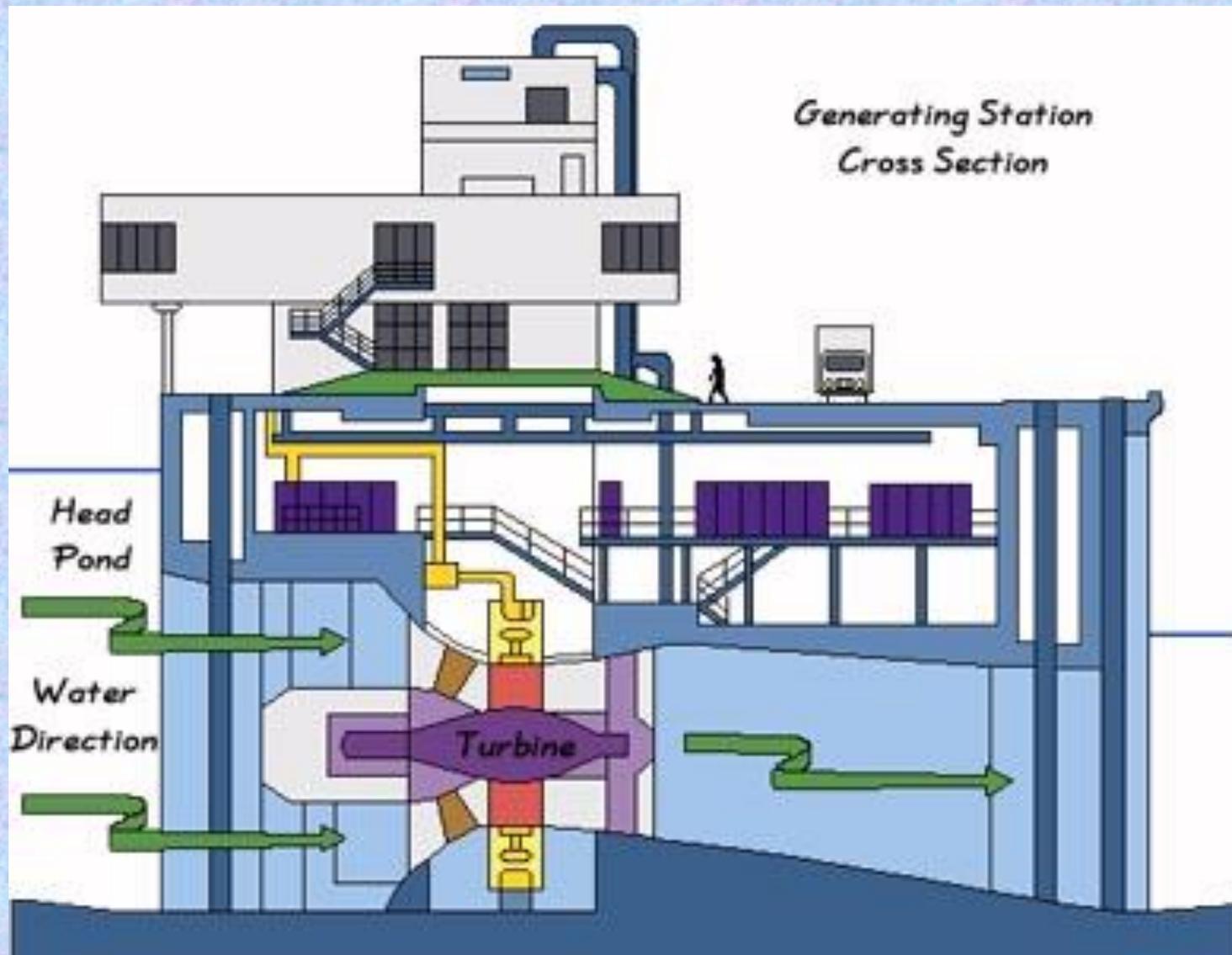
- Dibangun tahun 1966
- Kapasitas 240 MW.
- Beroperasi secara otomatis, hanya membutuhkan dua orang operator

PLTPS Annapolis, Nova Scotia, Kanada

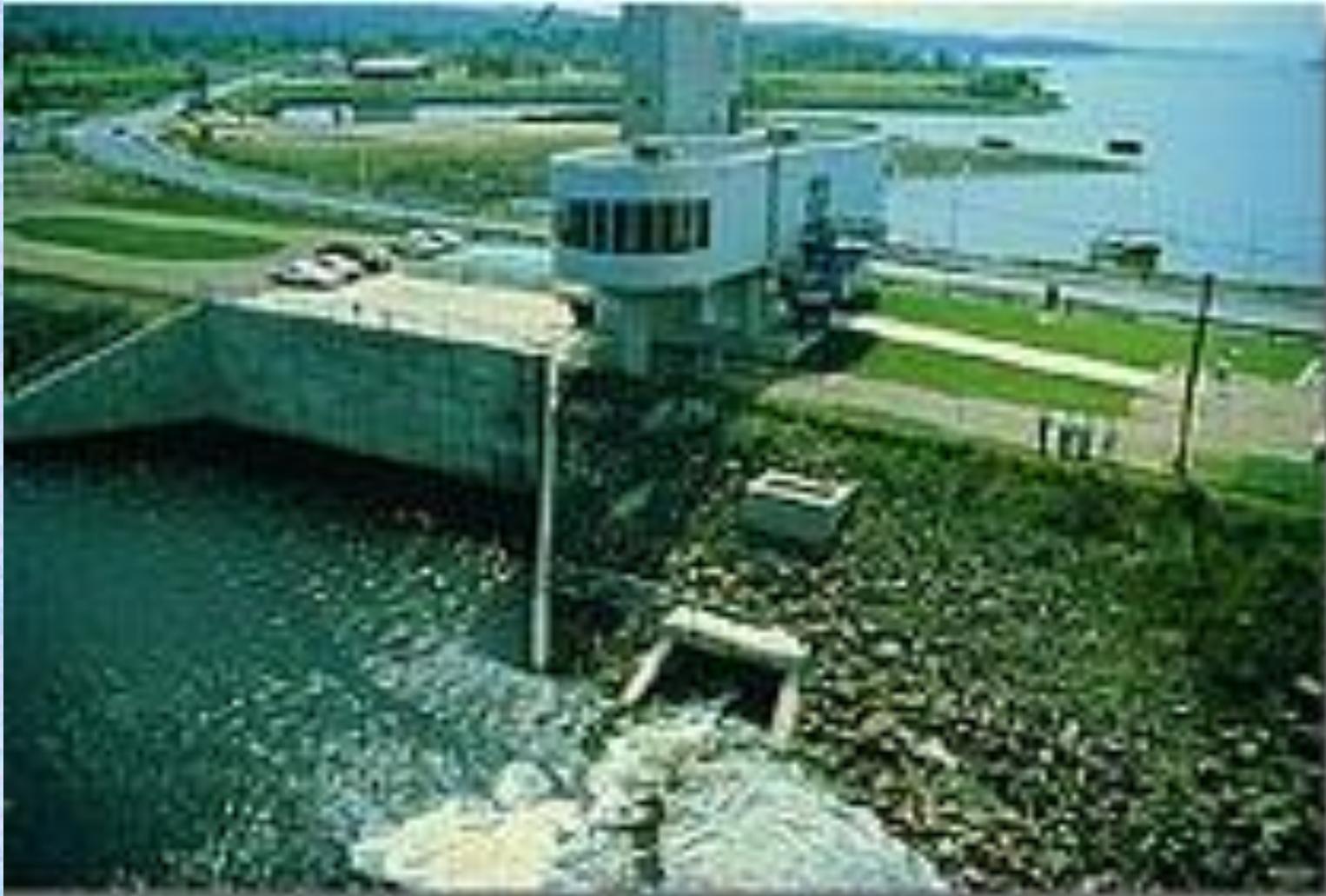


- Dibangun tahun 1980
- Kapasitas 16 MW bisa menghasilkan 30 juta kWh.
- Memasok lebih dari 4500 rumah.

PLTPS Annapolis, Nova Scotia, Kanada

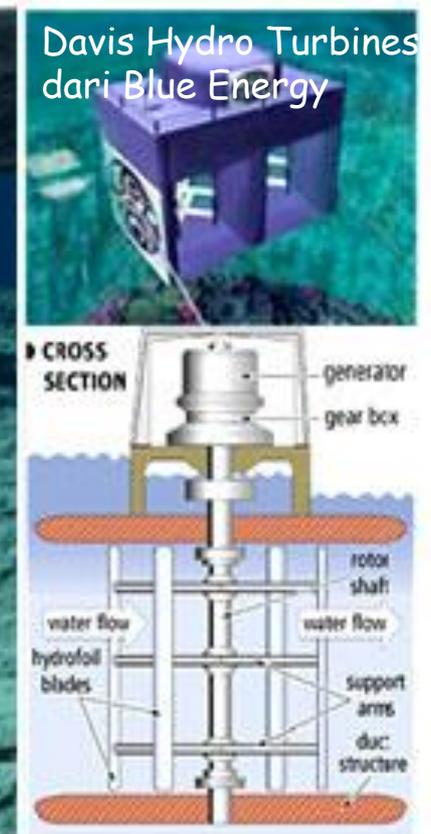
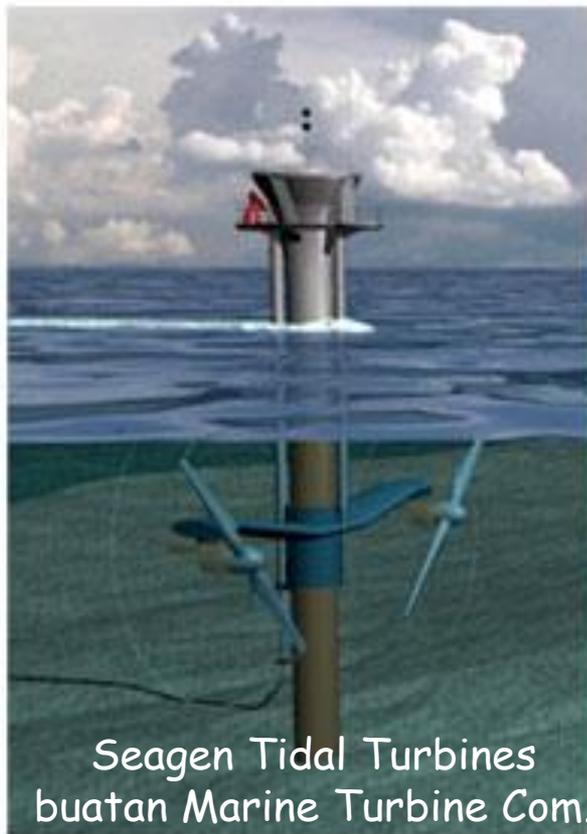


PLTPS Annapolis, Nova Scotia, Kanada



2. Turbin lepas pantai (*offshore turbines*)

- Turbinnya lebih menyerupai pembangkit listrik tenaga angin versi bawah laut.



- Keunggulannya dibandingkan metode dam :
 - biaya instalasi lebih murah.
 - dampak lingkungan relatif lebih kecil dibanding pembangunan dam.
 - persyaratan lokasi lebih mudah sehingga bisa dipasang di lebih banyak tempat.

Teknologi Marine Turbine Company :

- Teknologi MCT bekerja seperti pembangkit listrik tenaga angin yang ditenamkan di bawah laut.
- Menggunakan dua buah baling dengan diameter 15-20 meter memutar rotor yang menggerakkan generator yang terhubung kepada sebuah kotak gir (*gearbox*).
- Turbin mampu menghasilkan 750-1500 kW per unitnya, dan dapat disusun dalam barisan sehingga menjadi ladang pembangkit listrik berskala besar.
- Agar ikan dan makhluk lain tidak terluka oleh alat ini, kecepatan rotor diatur antara 10-20 rpm.

- Teknologi Swan Turbines memiliki perbedaan: baling-balingnya langsung terhubung dengan generator listrik tanpa melalui kotak gir. → lebih efisien dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan teknis pada alat.
- Perbedaan lain : ST menggunakan pemberat gravitasi (berupa balok beton) untuk menahan turbin tetap di dasar laut.
- Teknologi *Davis Hydro Turbines* milik *Blue Energy* : poros baling-balingnya vertikal (*vertical-axis turbines*).
- Turbin ini juga menggunakan pemberat beton dan bisa disusun dalam satu baris bertumpuk membentuk pagar pasang surut (*tidal fence*) untuk menghasilkan listrik berskala besar.

Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL)

- Perilaku arus laut mirip dengan arus pasang-surut, maka pada prinsipnya sama dengan PLTPS, hanya berbeda pada lokasi penempatannya.
- Indonesia mempunyai prospek yang bagus untuk pengembangan arus laut karena posisi Indonesia yang merupakan tempat pertemuan antara dua arus dari Samudra Hindia dan Samudra Pasifik.
- Indonesia yang terdiri dari 17.000 pulau dan memiliki banyak selat menyebabkan banyak arus laut, akibat adanya pasang-surut yang mengalami percepatan saat melewati selat.

Plus Minus PLTPS

- Kelebihan :
 - Tidak membutuhkan bahan bakar shg biaya operasi relatif rendah.
 - Tidak menghasilkan gas rumah kaca atau limbah lainnya.
 - Produksi listrik stabil.
 - Pasang surut air laut bisa diprediksi sehingga waktu produksi bisa diperhitungkan dengan tepat.
 - Biaya instalasi jenis turbin lepas pantai relatif rendah dan tidak menimbulkan dampak lingkungan.

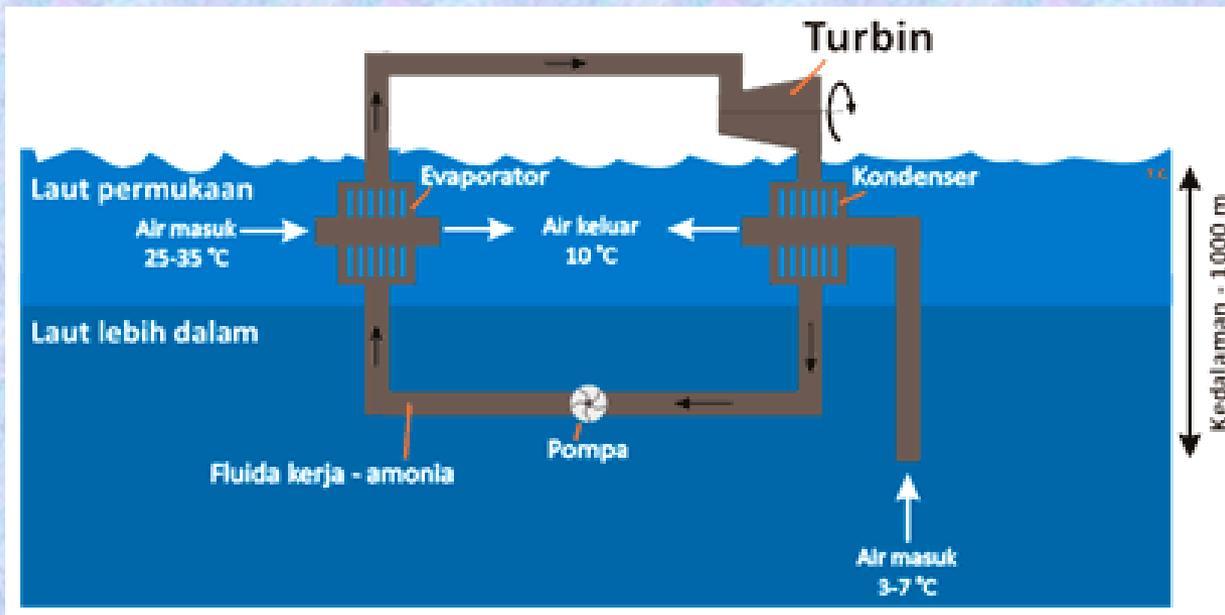
Plus Minus PLTPS

- Kekurangan:
 - Biaya pembangunan dam yang menutupi muara sungai sangat mahal.
 - Memerlukan area yang sangat luas shg berpotensi mengubah ekosistem lingkungan baik ke arah hulu maupun hilir hingga berkilo-kilometer.
 - Hanya bisa mensuplai energi kurang lebih 10 jam setiap harinya, yakni ketika arus laut bergerak masuk ataupun keluar dam.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut (PLTPL)



- Perbedaan kedalaman air laut menghasilkan perbedaan suhu. Suhu di permukaan laut lebih hangat karena panas dari sinar matahari diserap sebagian oleh permukaan laut, Suhu di bawah permukaan akan turun cukup drastis sebanding dengan kedalamannya.
- Perbedaan suhu yang bisa digunakan utk membangkitkan listrik minimal sebesar 77°F (25°C) agar bisa membangkitkan listrik dengan cukup.



- Disebut juga *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*
- Berdasarkan siklus yang digunakan, OTEC dapat dibedakan menjadi 3 jenis :
 - siklus tertutup
 - siklus terbuka
 - siklus gabungan (*hybrid*)
- OTEC siklus tertutup : air laut permukaan yang hangat dimasukkan ke dalam alat penukar panas untuk menguapkan fluida yang mudah menguap seperti amonia.
- Uap amonia akan memutar turbin yang menggerakkan generator. Uap amonia keluaran turbin selanjutnya dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan dikembalikan untuk diuapkan kembali.

- OTEC siklus terbuka : air laut permukaan yang hangat langsung diuapkan pada ruang khusus bertekanan rendah. Uap yang dihasilkan digunakan sebagai fluida penggerak turbin bertekanan rendah.
- Uap keluaran turbin dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan sebagai hasil samping diperoleh air desalinasi.
- OTEC siklus gabungan : air laut yang hangat masuk ke dalam ruang vakum untuk diuapkan dalam sekejap (*flash-evaporated*) menjadi uap (seperti siklus terbuka). Uap lalu digunakan menguapkan fluida kerja yang memutar turbin (seperti siklus tertutup). Selanjutnya uap kembali dikondensasi menjadi air desalinasi.

- Fluida kerja yang populer digunakan adalah amonia karena tersedia dalam jumlah besar, murah, dan mudah ditransportasikan. → Sayang amonia beracun dan mudah terbakar.
- Senyawa seperti CFC dan HCFC juga merupakan pilihan yang baik, sayangnya menimbulkan efek penipisan lapisan ozon.
- Hidrokarbon juga dapat digunakan, akan tetapi menjadi tidak ekonomis karena menjadikan OTEC sulit bersaing dengan pemanfaatan hidrokarbon secara langsung.
- Ukuran pembangkit listrik OTEC bergantung pada tekanan uap dari fluida kerja yang digunakan. → makin tinggi tekanan uapnya maka semakin kecil ukuran turbin dan alat penukar panas yang dibutuhkan, sementara ukuran tebal pipa dan alat penukar panas bertambah untuk menahan tingginya tekanan terutama pada bagian evaporator.

Plus Minus PLTPL

- Kelebihan:
 - Tidak membutuhkan bahan bakar shg biaya operasi rendah.
 - Tidak menghasilkan gas rumah kaca atau limbah lainnya.
 - Produksi listrik stabil.
 - Bisa dikombinasikan dengan fungsi lainnya: menghasilkan air pendingin, produksi air minum, suplai air untuk *aquaculture*, ekstraksi mineral, dan produksi hidrogen secara elektrolisis.

Plus Minus PLTPL

- Kekurangan:
 - Jika menggunakan amonia sebagai bahan yang diuapkan bisa menimbulkan potensi bahaya kebocoran yang mencemari lingkungan.
 - Efisiensi total masih rendah sekitar 1%-3%.
 - Biaya pembangunan tidak murah.

Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)



Bioenergi



- Biomassa : istilah yg digunakan untuk mengelompokkan bahan organik baik dari tumbuhan ataupun hewan yang kaya akan cadangan energi → bioenergi
- Finlandia, Belanda, Jerman dan Inggris telah memanfaatkan bioenergi dalam skala besar untuk pembangkit listrik.
- Di Indonesia, walau potensinya besar, penggunaannya baru dalam skala kecil.

Bahan Dasar

- Tanaman : menyerap energi matahari → proses fotosintesis (memanfaatkan air dan unsur hara dari tanah serta CO_2 dari atmosfer) → menghasilkan bahan organik untuk memperkuat jaringan dan membentuk daun, bunga atau buah.
- Hewan herbivora : tidak mampu berfotosintesa sendiri shg memanfaatkan energi yg telah berubah bentuk menjadi daun, rumput atau yang lain dari bagian tumbuhan secara langsung untuk hidupnya.
- Hewan carnivora : memanfaatkan energi yang telah berubah bentuk menjadi daging pada hewan lain.



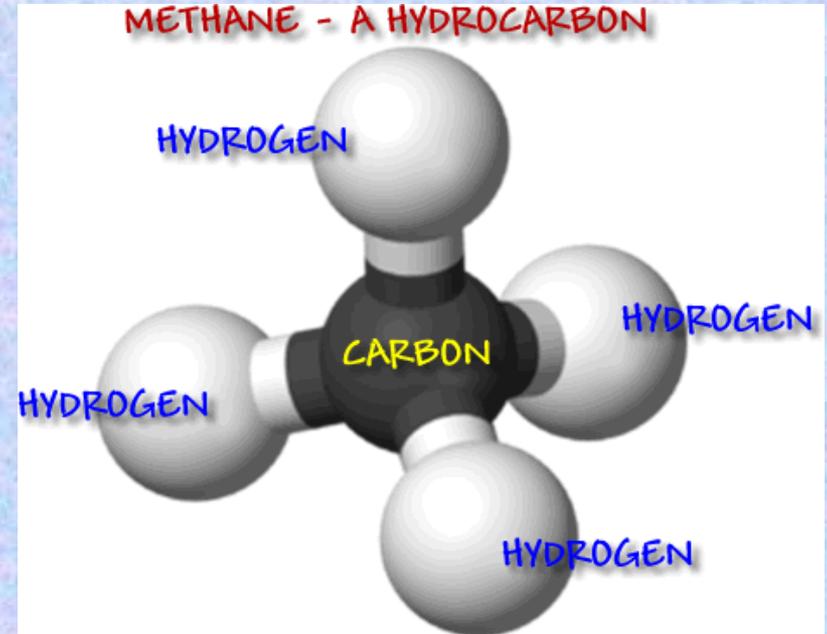
Biomassa

- Biomassa dari bahan tanaman : limbah pertanian, limbah industri pengolahan kayu, jerami, sekam atau dari tanaman yang memang ditanam secara khusus utk menghasilkan bioenergi → biomassa kering
- Industri kayu menghasilkan $\pm 50\%$ limbah yang bisa dimanfaatkan sebagai biomassa.
- Pada umumnya pemanfaatan biomassa kering dengan cara pembakaran untuk menghasilkan panas → memanaskan air → uap yang dihasilkan memutar turbin → memutar generator → energi listrik.

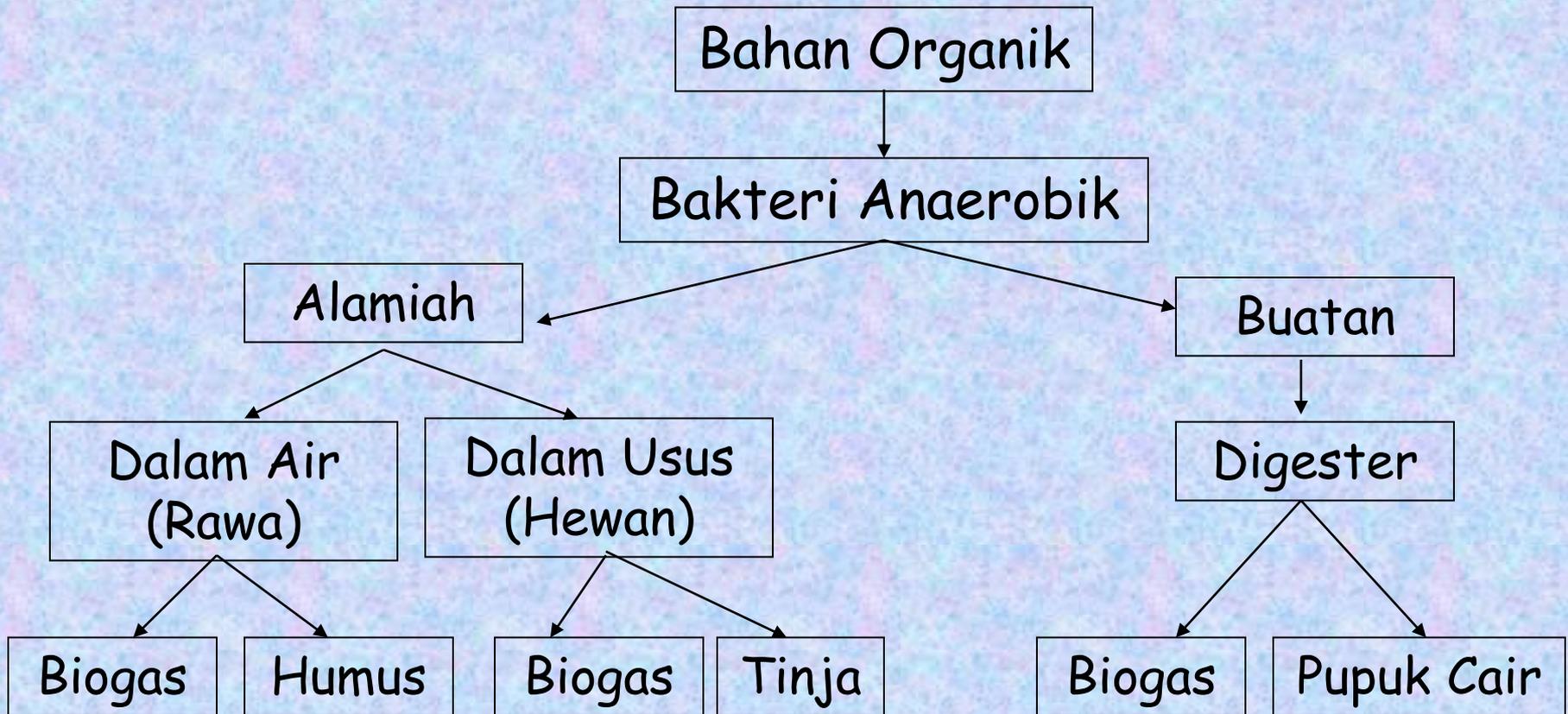


Biomassa

- Biomassa dari hewan dan rumah tangga : limbah peternakan (kotoran) dan limbah/sampah rumah tangga.
→ biomassa basah.
- Kotoran ternak diubah melalui proses anaerobik untuk menghasilkan biogas dengan komposisi : 60% CH_4 (metana), 38% CO_2 , dan 2% gas N_2 , H_2 , H_2S dan O_2 .



Digestifikasi



Kesetaraan



Digester Fiber



Digester Plastik



Digester Semen

Faktor yg Mempengaruhi Terbentuknya Biogas

- Pengaruh pH dan Alkalinitas : Alkalinitas → besaran yg menunjukkan jumlah karbonat dalam larutan. Keasaman (pH) sangat berpengaruh terhadap proses dekomposisi anaerobik, karena bakteri yang terlibat dalam proses ini hanya bisa bertahan hidup pada interval pH 6,5-8.
- Pengaruh Suhu : Bakteri anaerob sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Suhu optimum utk terjadinya proses dekomposisi anaerobik adalah sekitar 35°C. Bila suhu terlalu rendah aktivitas bakteri akan menurun dan mengakibatkan produksi biogas akan menurun. Bila suhu terlalu tinggi bakteri akan mati dan produksi biogas akan terhenti.
- Ukuran Reaktor Biogas (digester anaerob) : semakin besar semakin banyak gas dihasilkan.

Nisbah C/N

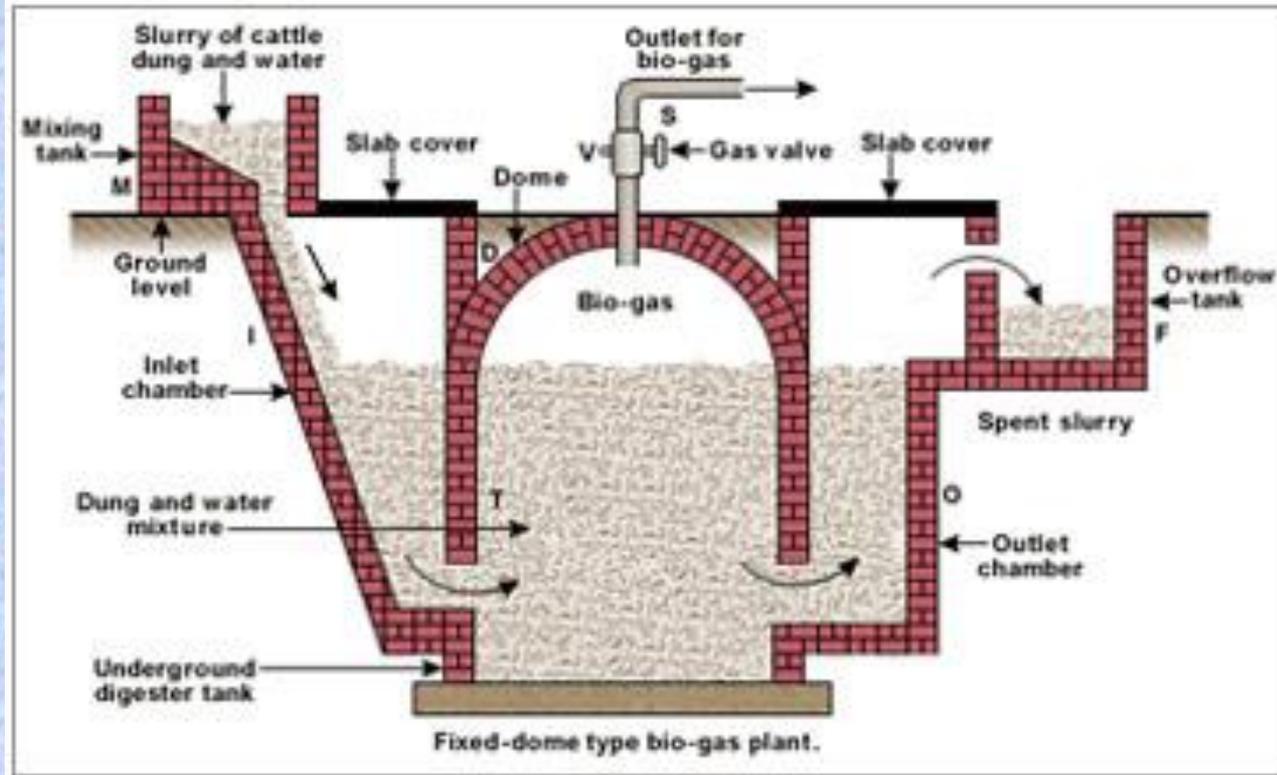
- Nisbah karbon (C) dan nitrogen (N) berpengaruh pd kondisi kerja bakteri anaerobik.
- Jika C/N rendah maka nitrogen akan terlepas dan berkumpul membentuk amoniak shg menaikkan pH.
- Jika pH >8.5 maka bakteri akan terracuni sehingga mati dan proses berhenti.
- Agar ideal bahan dg C/N tinggi dicampur dengan bahan dg C/N rendah.

Bahan Organik	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran kerbau/sapi	24
Enceng Gondok (water hyacinth)	25
Kotoran gajah	43
Jerami (jagung)	60
Jerami (padi)	70
Jerami (gandum)	90
Sisa gergajian	diatas 200

Jenis Reaktor Biogas (Digester)

- Reaktor kubah tetap (Fixed-dome) : disebut juga reaktor China karena dibuat pertama kali di China pd th. 1930-an, Reaktor ini memiliki 2 bagian yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentu gas metana.. Strukturnya harus kuat krn hrs menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian yang kedua adalah kubah tetap (fixed-dome). Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (fixed). Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah.

Reaktor Kubah Tetap

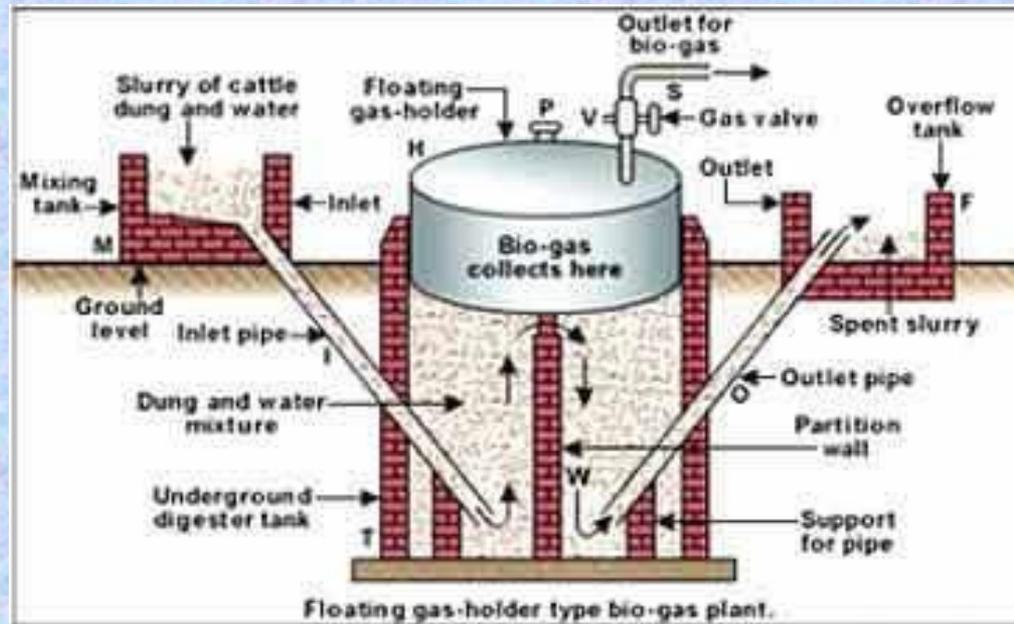


- Keuntungan : biaya konstruksi lebih murah dibanding reaktor terapung dan perawatannya lebih mudah.
- Kerugian : sering terjadi kehilangan gas pada bagian kubah, tekanan gas tidak stabil/fluktuatif.

Jenis Reaktor Biogas (Digester)

- Reaktor *floating drum* : pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 → disebut Reaktor India. Memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak menggunakan drum.
- Drum bisa bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam digester. Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan.

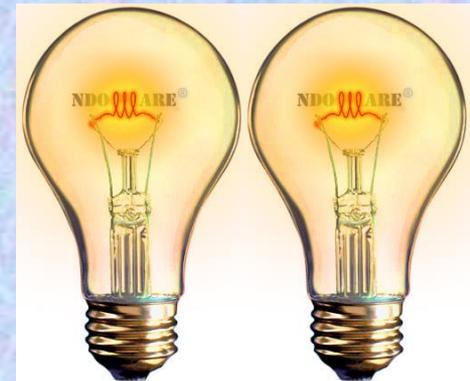
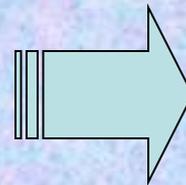
Reaktor *Floating Drum*



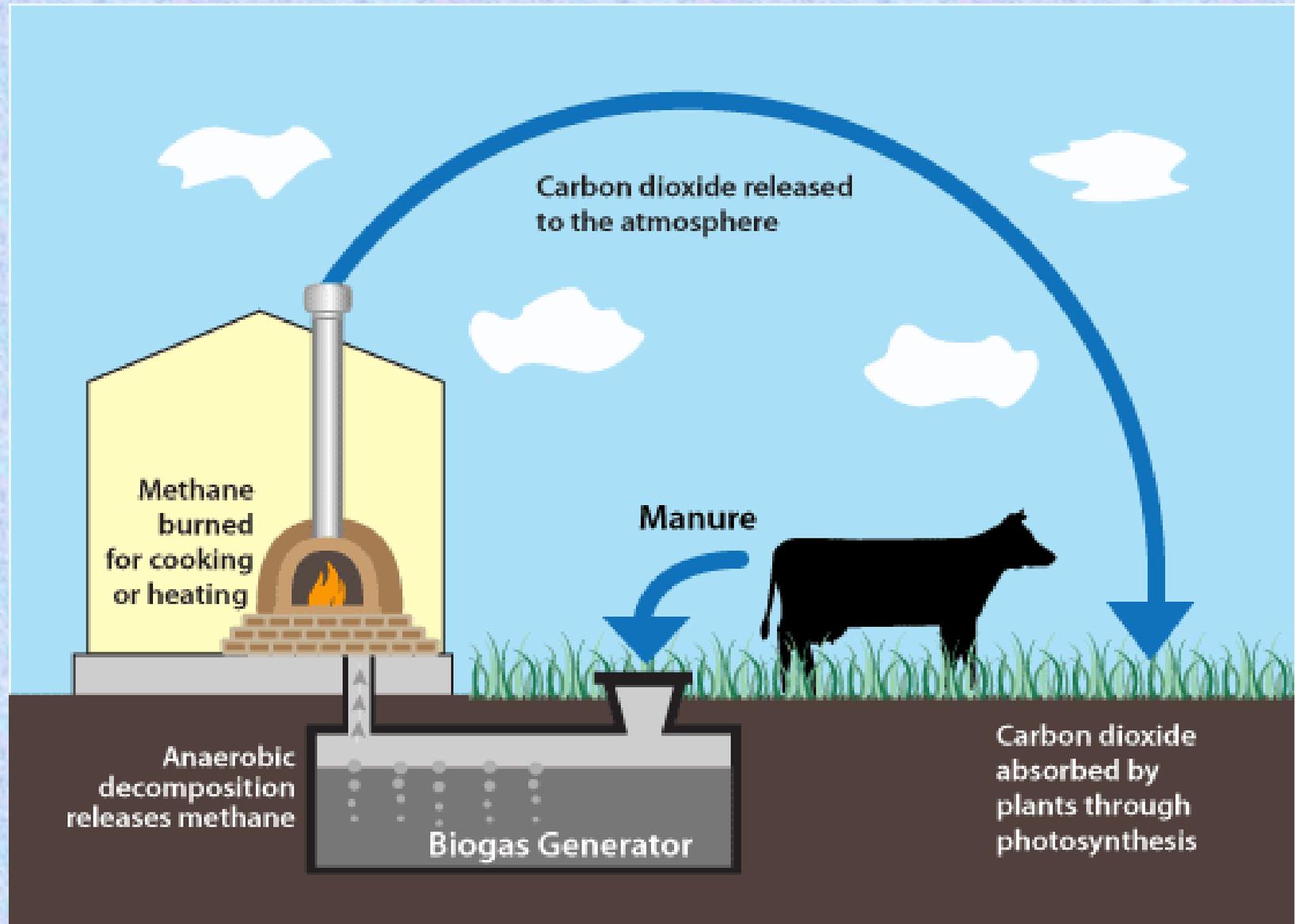
- Keuntungan : bisa melihat langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Karena tempat penyimpanan yang terapung sehingga tekanan gas konstan.
- Kerugian : biaya material konstruksi dari drum lebih mahal, drum mudah berkarat shg bagian pengumpul gas memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan jenis kubah tetap.

Metana

- Metana bisa digunakan sebagai bahan bakar → digunakan untuk berbagai keperluan termasuk menggerakkan generator listrik.
- Jika konsentrasi gas metana kurang dari 65% → hanya cocok untuk kompor gas → harus dilakukan pemurnian.
- Hasil eksperimen : kotoran 2 ekor sapi bisa menghasilkan biogas utk menyalakan 2 buah lampu 45 watt selama 5 jam.



Siklus Biomassa

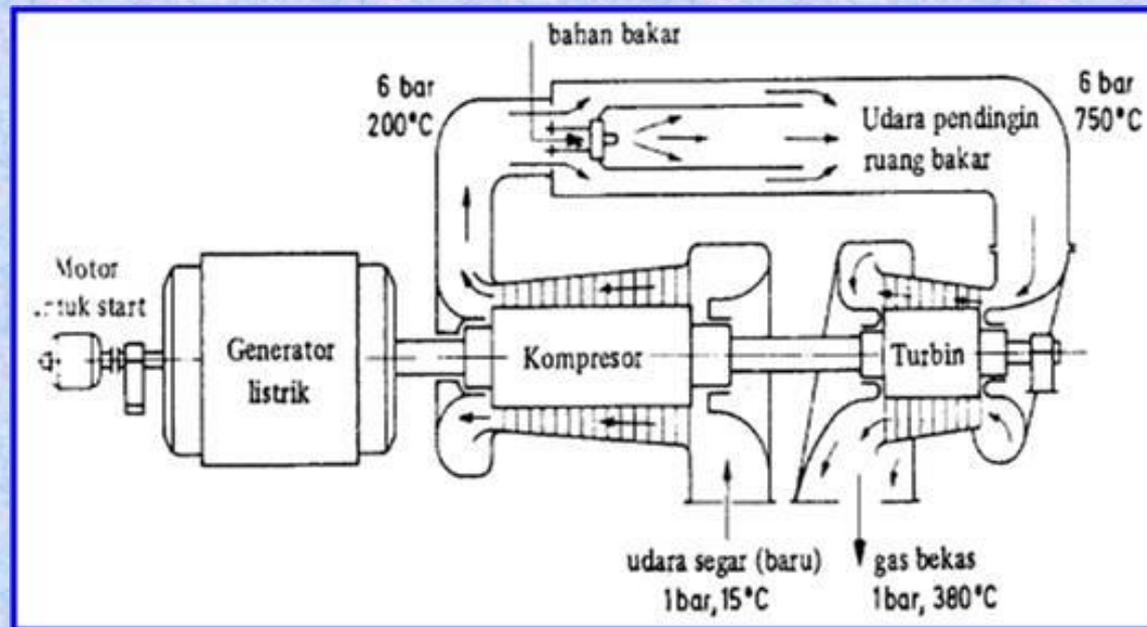


- Sampah rumah tangga sebagian besar berupa bahan organik (74%) dan sisanya (26%) berupa bahan yang sulit terurai, cukup banyak digunakan untuk biogas.
- Secara umum, unsur dalam sampah yang dapat dimanfaatkan menjadi biogas adalah sebesar 69% saja.
- Sampah rumah tangga yang volumenya amat besar di perkotaan seharusnya bisa dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik.

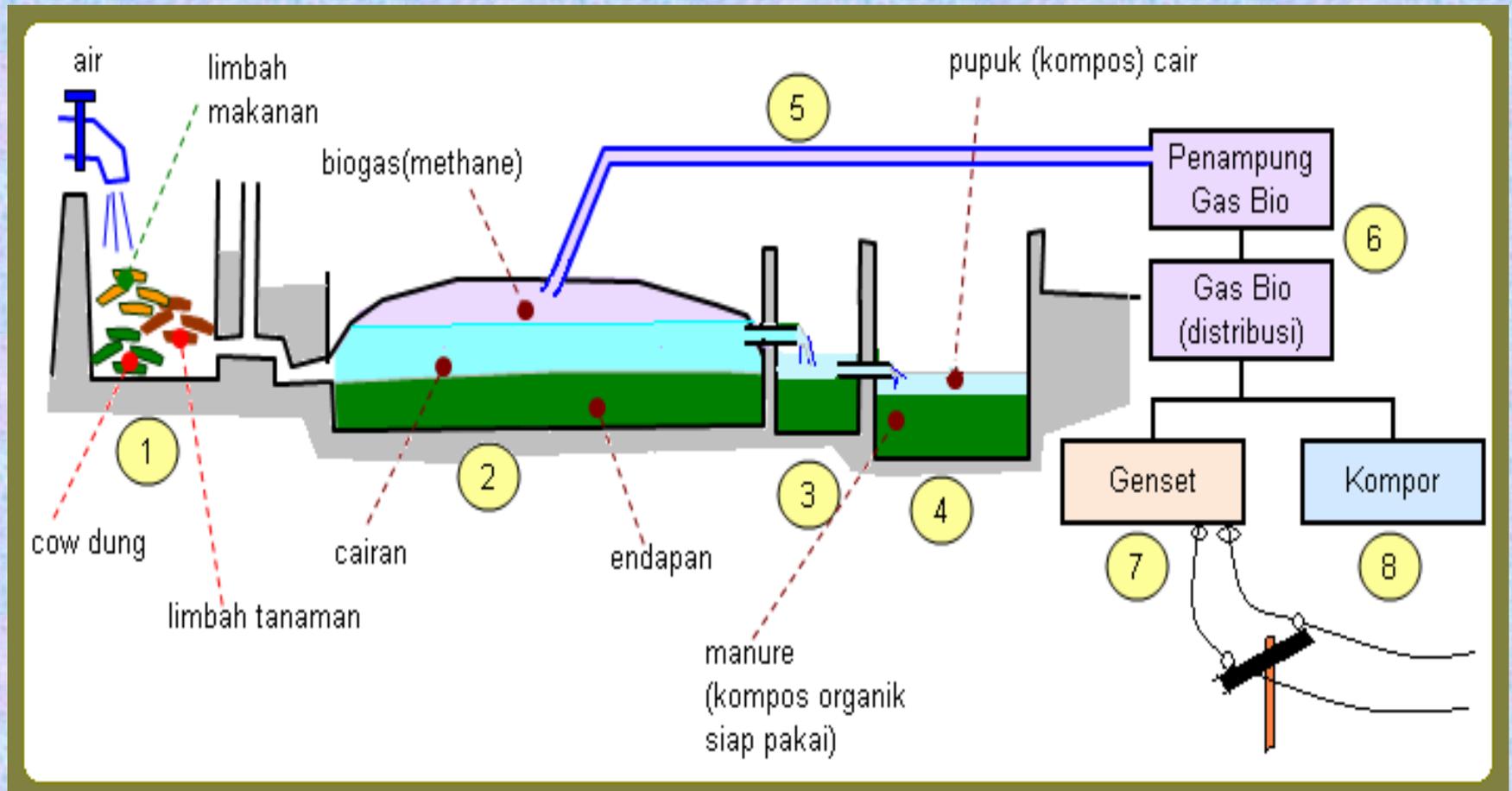


Pemanfaatan Biogas

- Biogas digunakan pada mesin bakar internal untuk menghasilkan energi gerak.
- Biogas juga bisa menggerakkan turbin gas sebagai penghasil tenaga gerak dengan cara membakar gas metana hingga menghasilkan tekanan gas.



Pemanfaatan Biogas



Tugas :

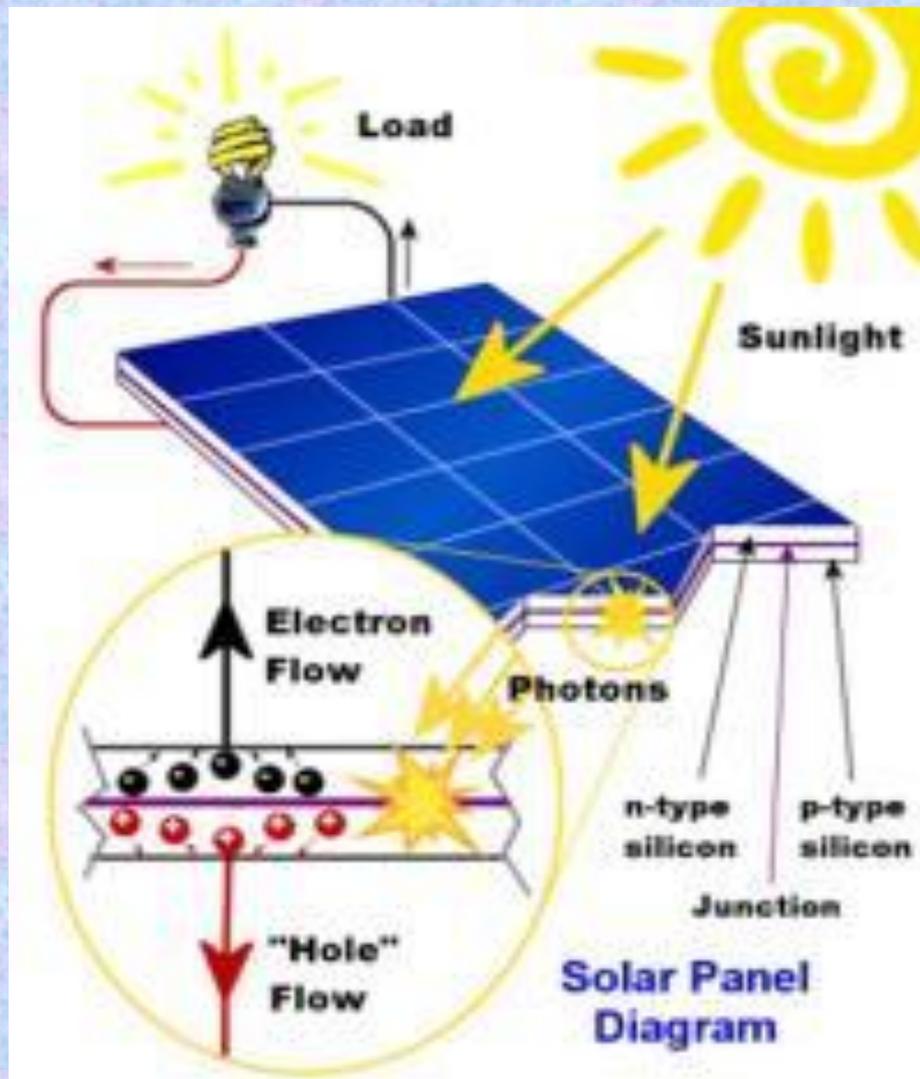
Buat studi tentang pembangunan sebuah PLTBg dengan ketentuan sebagai berikut :

- Daya keluaran 100 kilo Watt.
- Bahan organik dari sampah rumah tangga (misalnya dari TPA sampah) atau dari peternakan sapi.
- Rancang digester yang sesuai.
- Pilih jenis pembangkit yang sesuai (mesin bakar atau turbin)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Teknologi Solar PV



- Merupakan bahan photovoltaics (PV) yang tersusun dalam bentuk silikon monocrystalline, silicon polycrystalline, silikon amorf, telluride kadmium, dan tembaga indium gallium selenide /sulfida.
- Modul PV mengubah energi surya menjadi arus listrik searah (DC) dan diubah ke AC menggunakan inverter.

Jenis dan Sifat

1. Polikristal (Poly-crystalline)

- Susunan kristal acak krn dipabrikasi dng proses pengecoran.
- Memerlukan luas permukaan lebih besar dibanding jenis monokristal utk menghasilkan daya yg sama.
- Efisiensi lebih rendah dibanding monokristal.
- Harga lebih murah.

2. Monokristal (Mono-crystalline)

- PV yg cukup efisien (15%).
- Daya listrik per satuan luas paling tinggi.
- Kelemahan : tidak bisa bekerja optimal jika cahaya matahari kurang (teduh).

3. Amorphous (a-Si)

- Digunakan untuk beban daya rendah (kalkulator, dsb).
- Biaya pembuatan sangat murah (hanya 1% dibanding c-Si).

4. Compound (Ga As)

- Efisiensi dan daya keluaran sangat baik.
- Kelemahan : beracun → banyak dipakai utk satelit.

Jenis dan Sifat

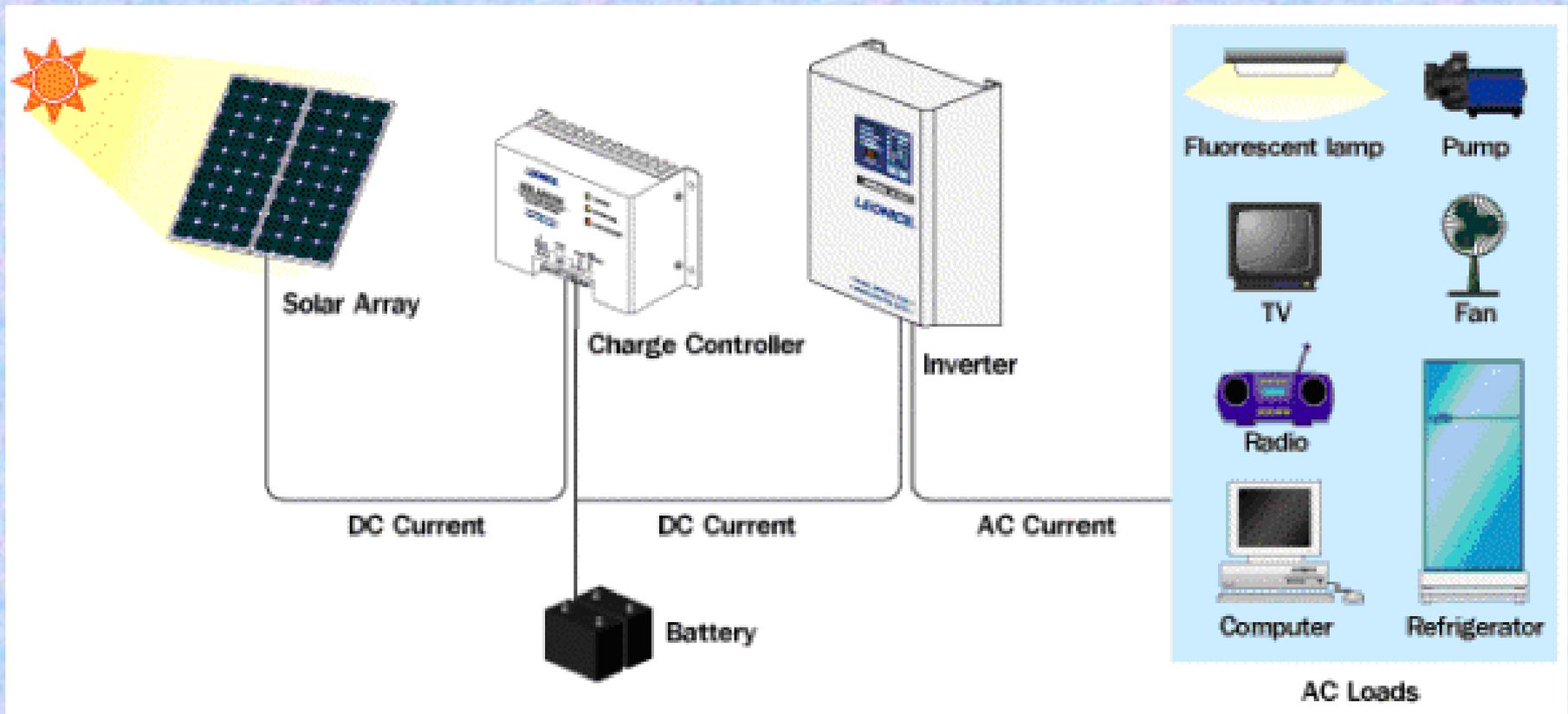
Efisiensi	Perubahan Daya	Daya Tahan	Biaya	Keterangan	Penggunaan
Mono	Sangat Baik	Sangat Baik	Baik	Kegunaan Pemakaian Luas	Sehari-hari
Poly	Baik	Sangat Baik	Sangat Baik	Cocok untuk produksi massal di masa depan	Sehari-hari
Amorphous	Cukup Baik	Cukup Baik	Baik	Bekerja baik dalam pencahayaan fluorescent	Sehari-hari & perangkat komersial (kalkulator)
Compound (GaAs)	Sangat Baik	Sangat Baik	Cukup Baik	Berat & Rapuh	Pemakaian di luar angkasa

Solar Home System (SHS)

- SHS : PLTS mandiri yg bisa dikombinasikan dg sumber *backup* cadangan seperti PLN/Genset.
- Sistem *switching* sederhana sampai otomatis.
- SHS biasanya dirancang *portable* sehingga mudah dipindahkan, dan bisa disesuaikan dengan kebutuhan pengguna (*Custom*).
- Merupakan solusi mengatasi krisis energi listrik pada daerah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.



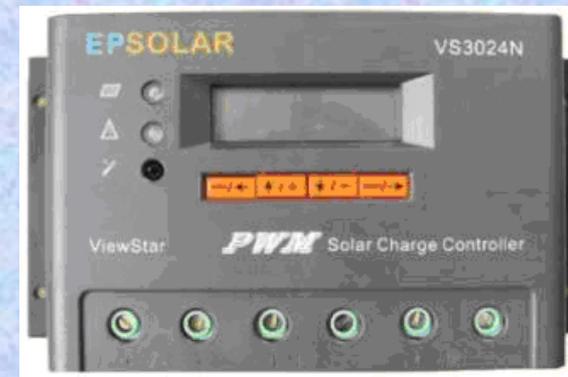
Solar Home System (SHS)



Charge Controller : pengatur arus listrik (*current regulator*) baik arus yg masuk (dari panel PV) maupun arus beban keluar.
→ menjaga baterai dari over charge,

Charge Controller

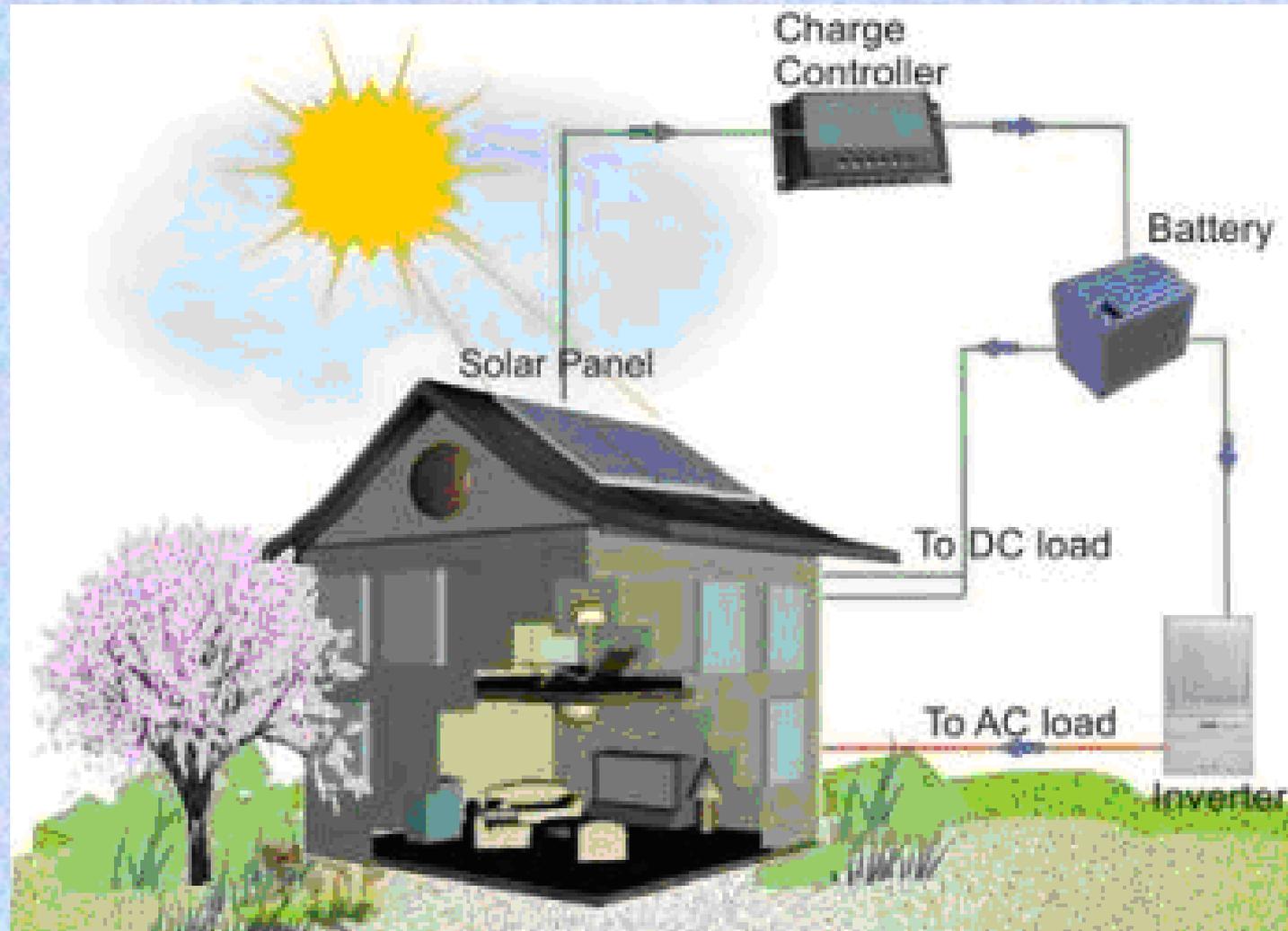
- Kebanyakan Solar PV 12 Volt menghasilkan tegangan keluaran sekitar 16-20 volt DC.
- Umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt.
- Saat tegangan pengisian telah tercapai, *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah over charge → listrik dr panel surya akan langsung terdistribusi ke beban.
- Saat daya baterai hampir kosong, *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dr baterai oleh beban → umumnya sekitar 10% sisa daya di baterai dilakukan pemutusan arus beban.



Inverter

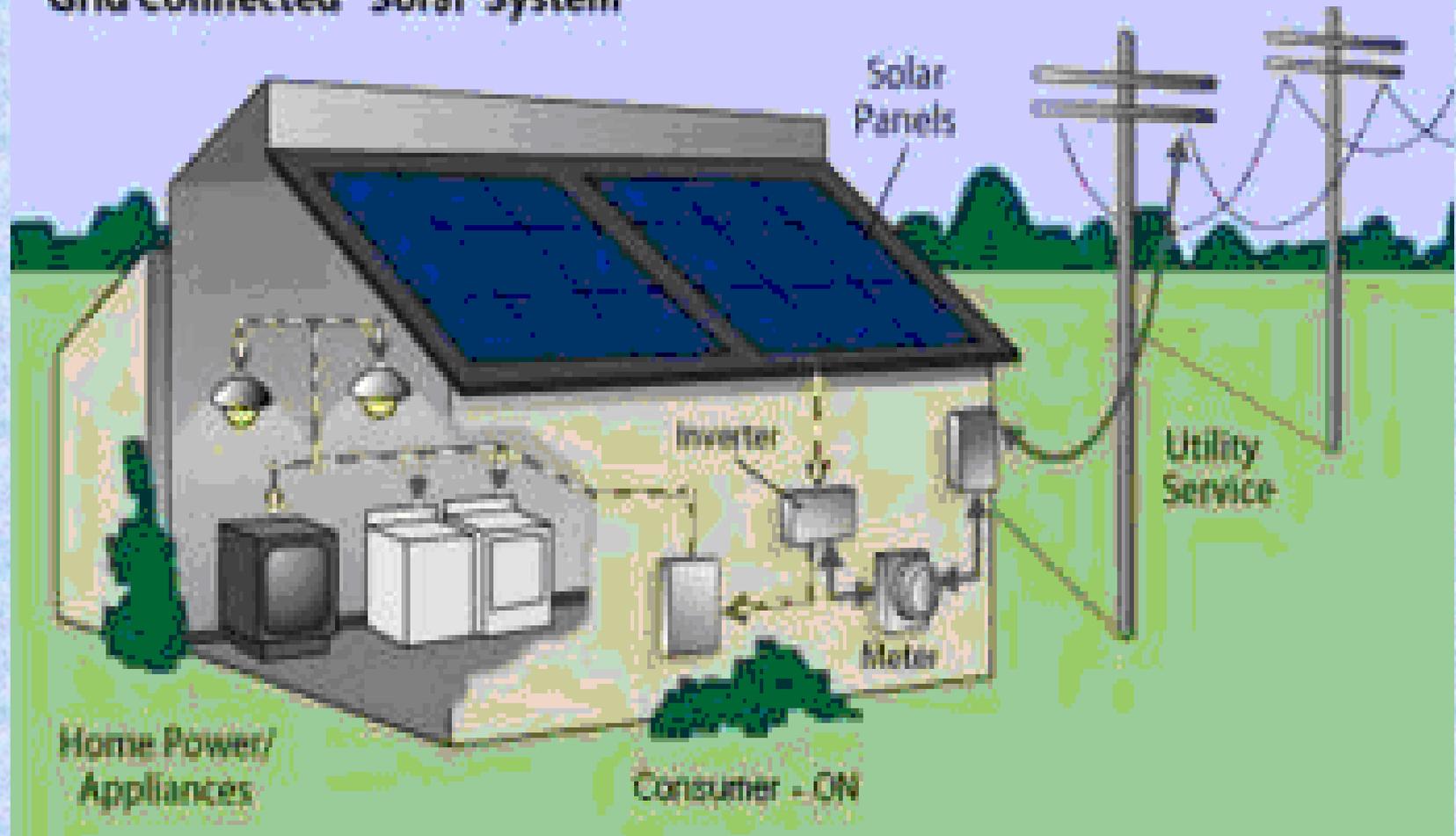
- **Square sine wave inverter:** menghasilkan gelombang sinus persegi → tidak cocok untuk beban AC tertentu seperti motor induksi atau transformer.
- **Modified sine wave inverter:** menghasilkan gelombang sinus persegi yang disempurnakan/persegi kuasi (kombinasi antara square wave dan sine wave) → masih bisa menggerakkan perangkat yang menggunakan kumparan, tidak cocok utk perangkat elektronik yang sensitif.
- **Pure sine wave inverter:** menghasilkan gelombang sinus murni setara PLN.
- **Grid Tie Inverter:** inverter khusus yg dirancang untuk menyuntikkan arus listrik ke sistem distribusi tenaga listrik (PLN) → harus disinkronkan dg frekuensi grid, → disebut *synchronous inverter*.

Sistem Off-Grid (Stand Alone PV)



Sistem On-Grid

Grid Connected Solar System



Perancangan Solar Home System

- Perancangan dilakukan untuk menentukan ukuran sel PV dan baterai untuk sistem energi matahari dengan kapasitas tertentu.
- Langkah perancangan :
 1. Menentukan Arus Beban Total dlm *Ampere-Jam (Ah)*.
 2. Menghitung Rugi-rugi dan Faktor Keamanan Sistem.
 3. Menentukan Jam Matahari Ekuivalen (*Equivalent Sun Hours, ESH*) terburuk.
 4. Menentukan Kebutuhan Arus Total Panel Surya.
 5. Menentukan Susunan Modul Optimum Panel Surya.
 6. Menentukan Kapasitas Baterai utk Waktu Cadangan Yang Dianjurkan.

1. Menentukan Arus Beban Total dalam Ampere-Jam (Ah)

- Ampere-jam dr peralatan dihitung dlm DC Ampere-jam/hari.
- Arus beban bisa ditentukan dengan membagi rating daya (watt) dari berbagai alat yang menjadi beban dengan tegangan operasi sistem PV nominal.

$$I_{\text{totalbeban-DC}} = \frac{\text{Watt}}{V_{op}} \times \text{jam pakai sehari} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{\text{totalbeban-AC}} = \left(\frac{\text{Watt}}{V_{op}} \times \text{jam pakai sehari} \right) / 0.85 \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{\text{total-beban}} = I_{\text{total-beban-DC}} + I_{\text{total-beban-AC}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana : $I_{\text{tot-beban}}$ = Arus total beban dalam Ah

2. Menghitung Rugi-rugi dan Faktor Keamanan Sistem

- Untuk sistem PLTS dengan daya <1000 Watt, harus ditambahkan faktor 20% ke pembebanan sebagai pengganti rugi-rugi sistem dan utk faktor keamanan.
- Oleh karena itu Ah beban yg ditentukan pada langkah sebelumnya dikalikan dengan 1,20 :

Total beban + Rerugi & Safety Factor

$$= I_{\text{total-beban}} \times 1,2 \dots\dots (4)$$

3. Menentukan Jam Matahari Ekivalen (*Equivalent Sun Hours, ESH*) terburuk :

- Jam matahari ekivalen suatu tempat ditentukan berdasarkan peta insolasi matahari dunia yang dikeluarkan oleh Solarex (*Solarex, 1996*).

Contoh :

ESH untuk Jawa Tengah = 5,4 jam

4. Menentukan Kebutuhan Arus Total Panel Surya :

- Arus total panel surya yang dibutuhkan ditentukan dengan cara membagi Total beban + Rerugi & Safety Factor dengan ESH :

$$I_{\text{total panel}} = (I_{\text{total beban}} \times 1,20) / \text{ESH} \dots\dots\dots(5)$$

Intensitas Radiasi Matahari

Tabel 1. Intensitas Radiasi Matahari di Indonesia

Propinsi	Lokasi	Tahun Pengukuran	Posisi Geografis	Intensitas Radiasi (Wh/m ²)
NAD	Pidie	1980	4°15' LS; 96°52' BT	4.097
SumSel	Ogan Komering Ulu	1979-1981	3°10' LS; 104°42' BT	4.951
Lampung	Kab. Lampung Selatan	1972-1979	4°28' LS; 105°48' BT	5.234
DKI Jakarta	Jakarta Utara	1965- 1981	6°11' LS; 106°05' BT	4.187
Banten	Tangerang	1980	6°07' LS; 106°30' BT	4.324
	Lebak	1991 - 1995	6°11' LS; 106°30' BT	4.446
Jawa Barat	Bogor	1980	6°11' LS; 106°39' BT	2.558
	Bandung	1980	6°56' LS; 107°38' BT	4.149
Jawa Tengah	Semarang	1979-1981	6°59' LS; 110°23' BT	5.488
DI Yogyakarta	Yogyakarta	1980	7°37' LS; 110°01' BT	4.500
Jawa Timur	Pacitan	1980	7°18' LS; 112°42' BT	4.300
KalBar	Pontianak	1991-1993	4°36' LS; 9°11' BT	4.552
KalTim	Kabupaten Berau	1991-1995	0°32' LU; 117°52' BT	4.172
KalSel	Kota Baru	1979 - 1981	3°27' LS; 114°50' BT	4.796
		1991 - 1995	3°25' LS; 114°41' BT	4.573
Gorontalo	Gorontalo	1991-1995	1°32' LU; 124°55' BT	4.911
SulTeng	Donggala	1991-1994	0°57' LS; 120°0' BT	5.512
Papua	Jayapura	1992-1994	8°37' LS; 122°12' BT	5.720
Bali	Denpasar	1977- 1979	8°40' LS ; 115°13' BT	5.263
NTB	Kabupaten Sumbawa	1991-1995	9°37' LS; 120°16' BT	5.747
NTT	Ngada	1975-1978	10°9' LS; 123°36' BT	5.117

Sumber: BPPT, BMG

5. Menentukan Susunan Modul Optimum Panel Surya

- Penyusunan optimum menghasilkan arus total panel yang dibutuhkan dengan jumlah modul minimum.
- Jumlah modul yg tersusun secara paralel :

$$\sum \text{Modul - paralel} = \frac{I_{\text{total-panel}}}{I_{\text{op-modul}}} \dots\dots\dots(6)$$

Di mana $I_{\text{total-panel}}$ = arus total panel, $I_{\text{op-modul}}$ = arus operasi modul

- Jumlah modul yg tersusun seri :

$$\sum \text{Modul - seri} = \frac{V_{\text{sistem}}}{V_{\text{modul}}} \dots\dots\dots(7)$$

Di mana V_{sistem} = tegangan nominal sistem, V_{modul} = tegangan nominal modul

- *Jumlah total modul = jumlah modul seri x jumlah modul paralel*
..... (8)

6. Menentukan Kapasitas Baterai untuk Waktu Cadangan Yang Dianjurkan :

- Baterai digunakan untuk menyediakan energi ketika beroperasi pada malam hari atau saat cahaya matahari kurang.
- Kapasitas waktu cadangan yang disarankan bervariasi berdasarkan garis lintang daerah tempat pemasangan panel surya.
- Indonesia terletak pada 10° LS - 10° LU \rightarrow Waktu cadangan untuk seluruh wilayah Indonesia 5 - 6 hari.

Tabel 1. Hubungan antara lokasi pemasangan dan waktu cadangan modul PV buatan Solarex

Garis Lintang Lokasi	Waktu Cadangan (t_{rec})
0° - 30° LU atau LS	5 - 6 hari
30° - 50° LU atau LS	10 - 12 hari
50° - 60° LU atau LS	15 hari

Sumber : Solarex, 1996

- Kapasitas Ah minimum baterai dihitung dengan :

$$\text{Bateraicap} = (I_{\text{tot beban}} \times 1,2) \times t_{\text{rec}} \dots\dots(9)$$

Contoh Perancangan SHS

- Beban :
 - Beban DC : 3 buah lampu TL DC 6 Watt, beroperasi 12 jam sehari dan 1 buah radio tape 12 Watt, beroperasi 8 jam sehari. Tegangan operasi sistem adalah 12 Volt.
 - Beban AC : 1 buah TV berwarna 175 Watt, beroperasi 8 jam sehari
- Jumlah Total Ah/hari :
 - Beban DC (3 Lampu TL DC + 1 buah Radio tape) = $(3 \times 6 \text{ Watt}/12 \text{ Volt} \times 12 \text{ jam}) + (12 \text{ Watt}/12 \text{ Volt} \times 8 \text{ jam}) = 24 \text{ Ah}$
 - Beban AC (TV warna) = $(75 \text{ Watt} \times 6 \text{ jam})/0,85/12 \text{ Volt} = 45 \text{ Ah}$
- Total Ampere-jam perhari :
$$I_{\text{tot}} = (24 \text{ Ah} + 45 \text{ Ah}) = 69 \text{ Ah}$$

Contoh Perancangan SHS (lanjut)

- Beban Total + Safety Factor = $69 \text{ Ah} \times 1,2 = 83 \text{ Ah}$
- Jam matahari ekuivalen (ESH) Jawa Tengah = 5,4 jam
- Total Arus Panel PV = $(83 \text{ Ah})/5,4 \text{ jam} = 15.37 \text{ Ampere}$
- Jumlah total modul yg diperlukan : pertama dipilih jenis modul yg akan digunakan, misal jenis MSX 60 (Solarex) dgn spesifikasi : arus operasi 3,5 A; teg. nominal = 12 V, maka :
 - Jumlah modul tersusun paralel = $15.37 \text{ A}/3,5 \text{ A} = 6$ buah
 - Jumlah Modul tersusun Seri = $12 \text{ Volt}/12 \text{ Volt} = 1$ buah
- Jumlah total Modul = $6 \times 1 = 6$ buah

Contoh Perancangan SHS (lanjut)

- Kapasitas minimum baterai yang diperlukan : dengan memilih waktu cadangan selama 5 hari, maka :

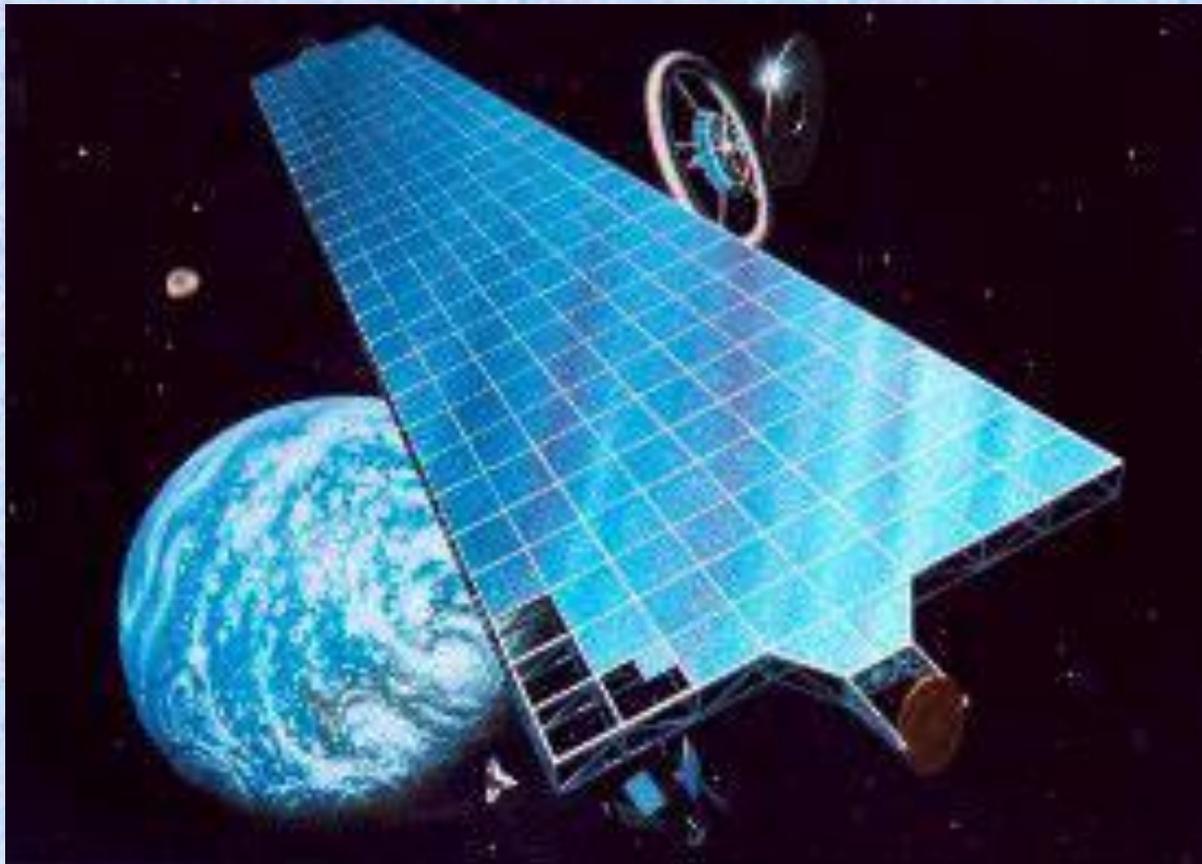
$$\begin{aligned} \text{Bateraicap} &= (I_{\text{tot beban}} \times 1,2) \times t_{\text{rec}} \\ &= 83 \text{ Ah/hari} \times 5 \text{ hari} = 415 \text{ Ah} \end{aligned}$$

- Karena umumnya baterai mempunyai kemampuan maksimal sampai 80%, maka kapasitas minimum baterai yang akan dipilih harus dibagi lagi dengan faktor 0,8 sehingga kapasitas minimum baterai menjadi :

$$415 \text{ Ah} / 0,8 = 518,75 \text{ Ah}$$

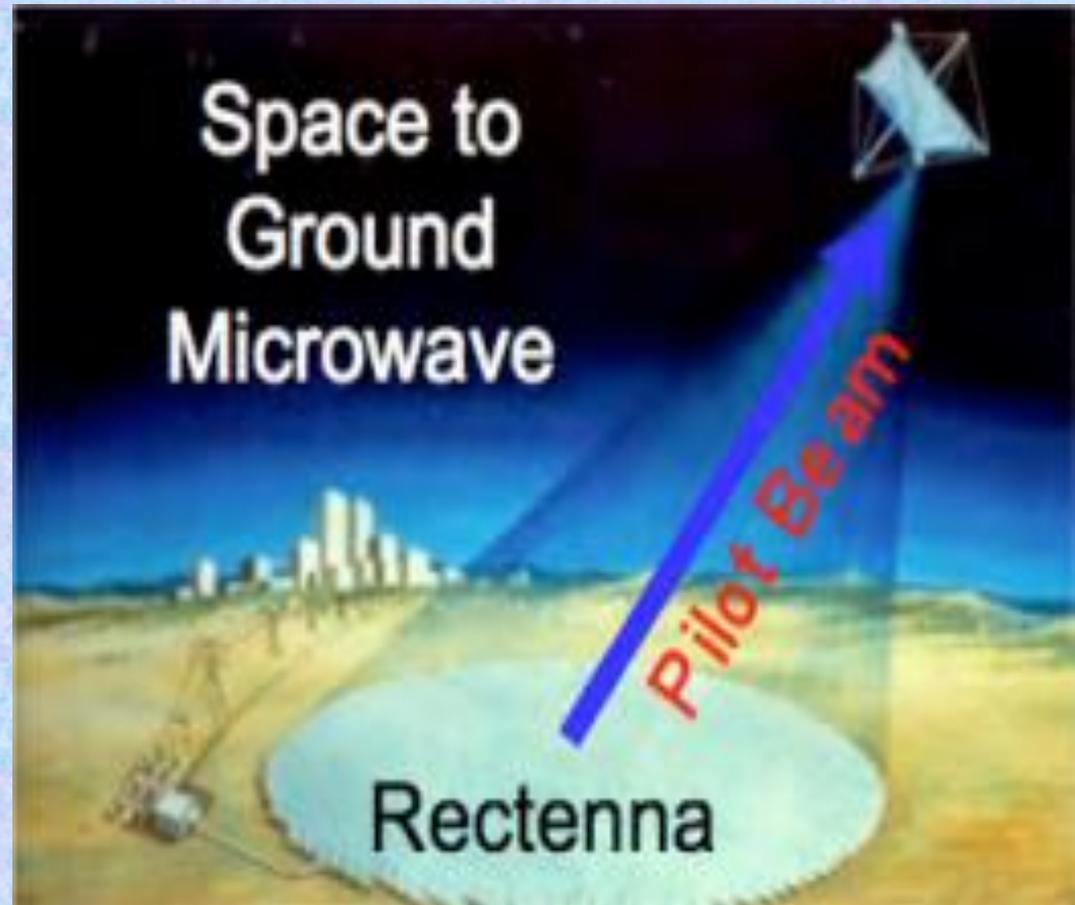
- Baterai atau aki yang dipilih harus mempunyai kapasitas di atas 519 Ah.
- Baterai dengan kapasitas sebesar ini bisa diperoleh dengan memparalelkan 10 buah baterai 12 V/60 Ah.
- Perhitungan di atas belum menyertakan efisiensi Inverter.

Solar Power Satellite (SPS)

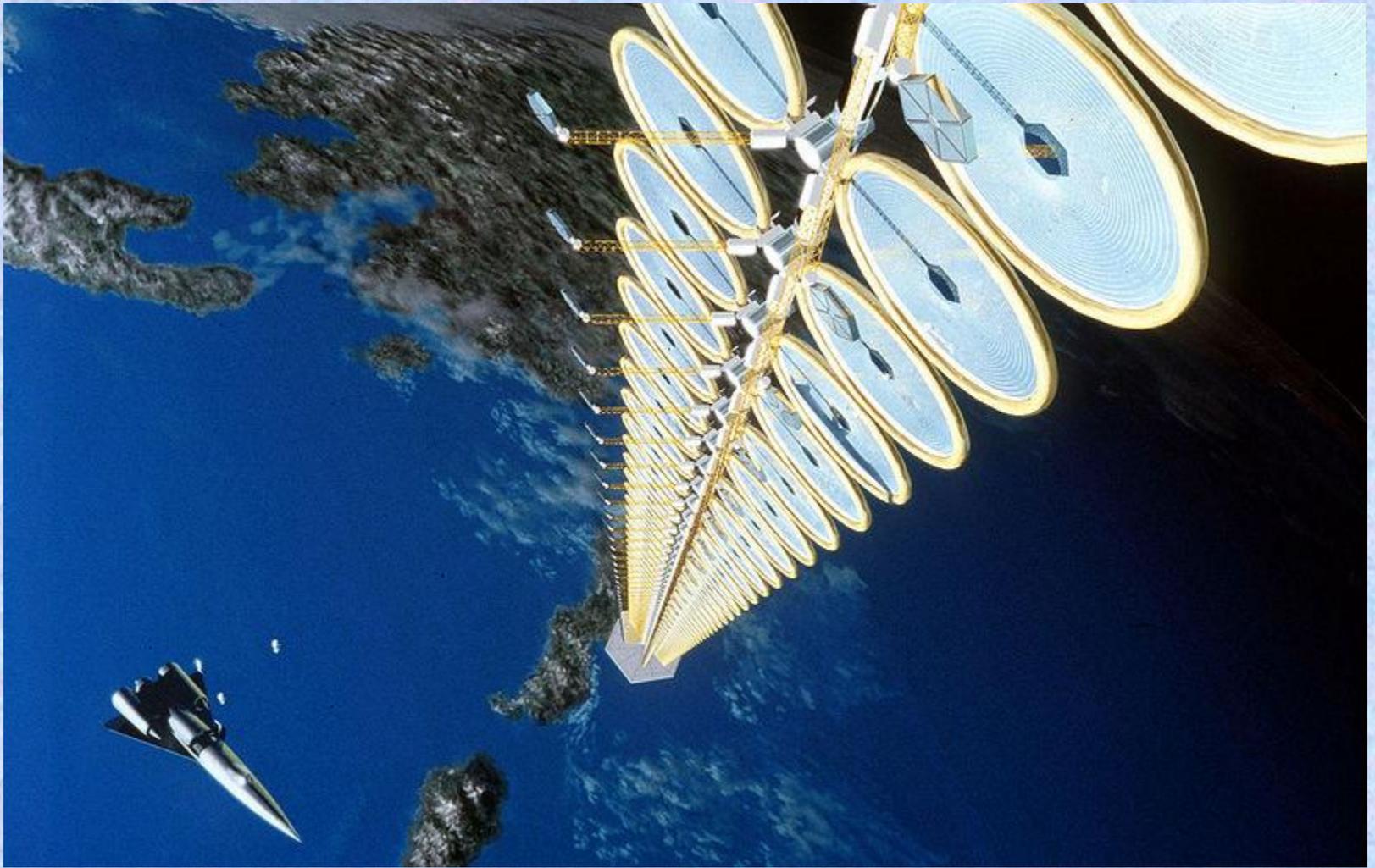


SPS

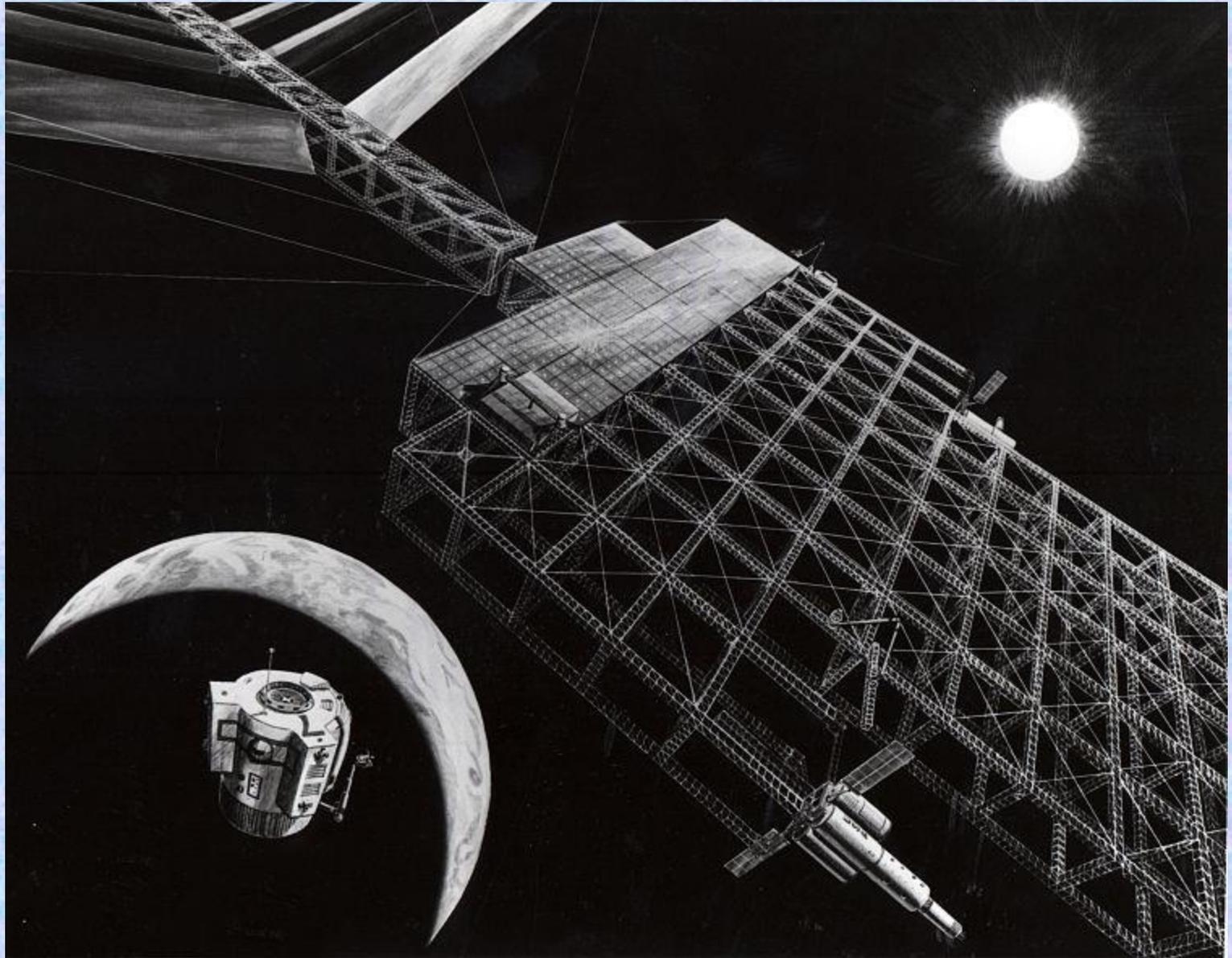
- Pembangkitan daya elektrik dilakukan di angkasa luar sehingga disinulasi cahaya matahari mendekati 24 jam per hari.
- Energi listrik dikirim ke bumi dengan menggunakan energi elektromagnetik (microwave).
- Energi EM diterima oleh antena penerima (rectenna) yang lalu diubah ke energi listrik yang siap pakai.



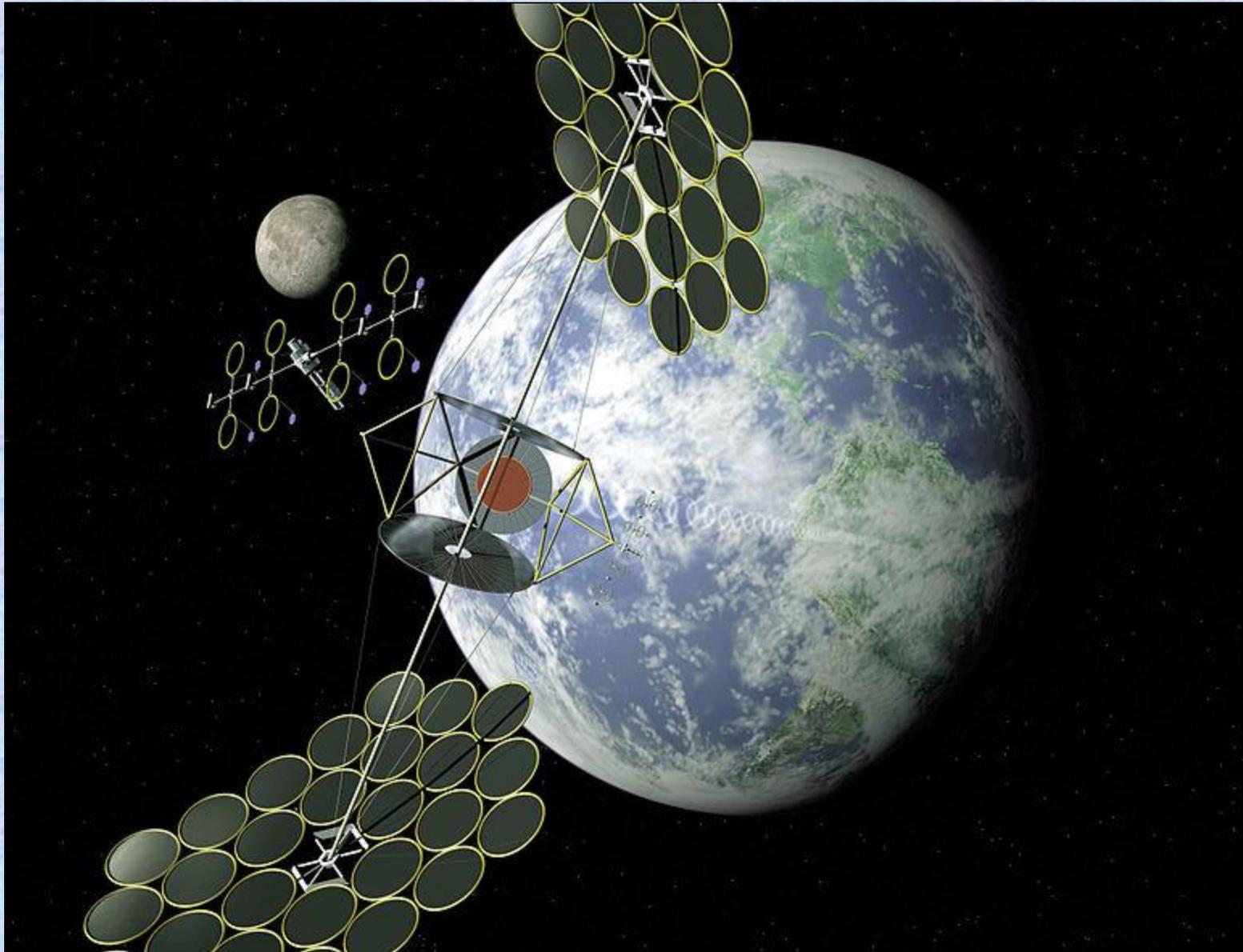
SPS



SPS



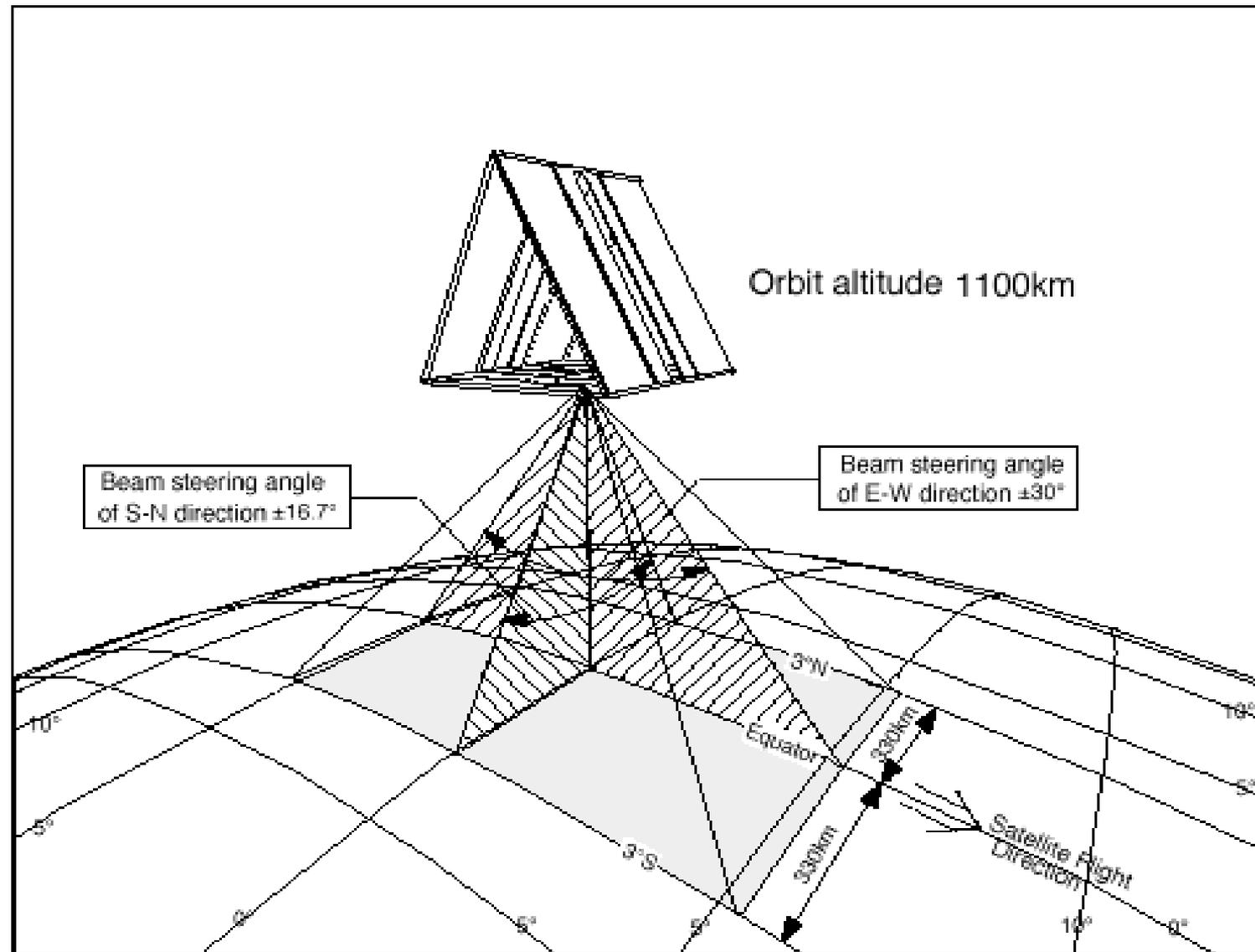
SPS



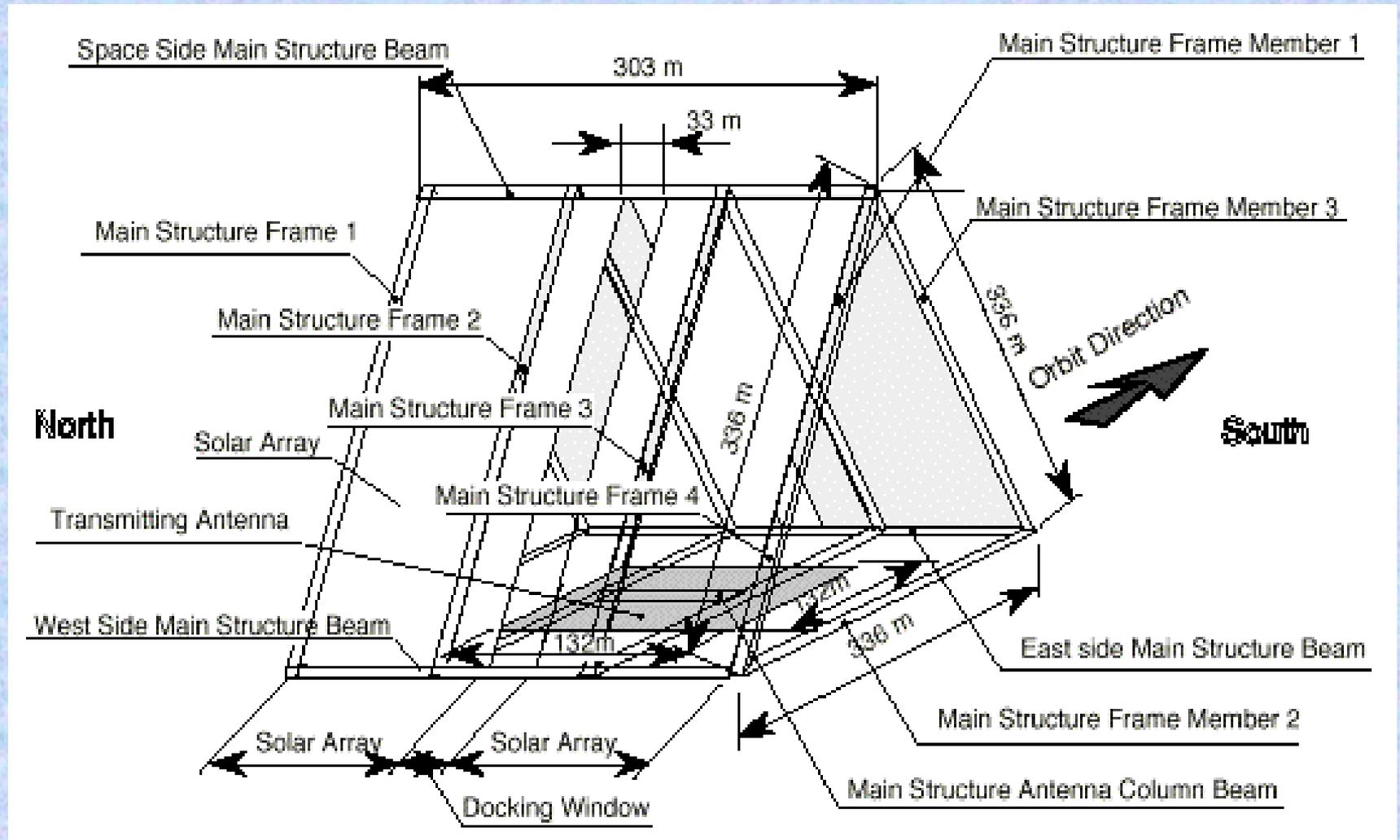
SPS 2000



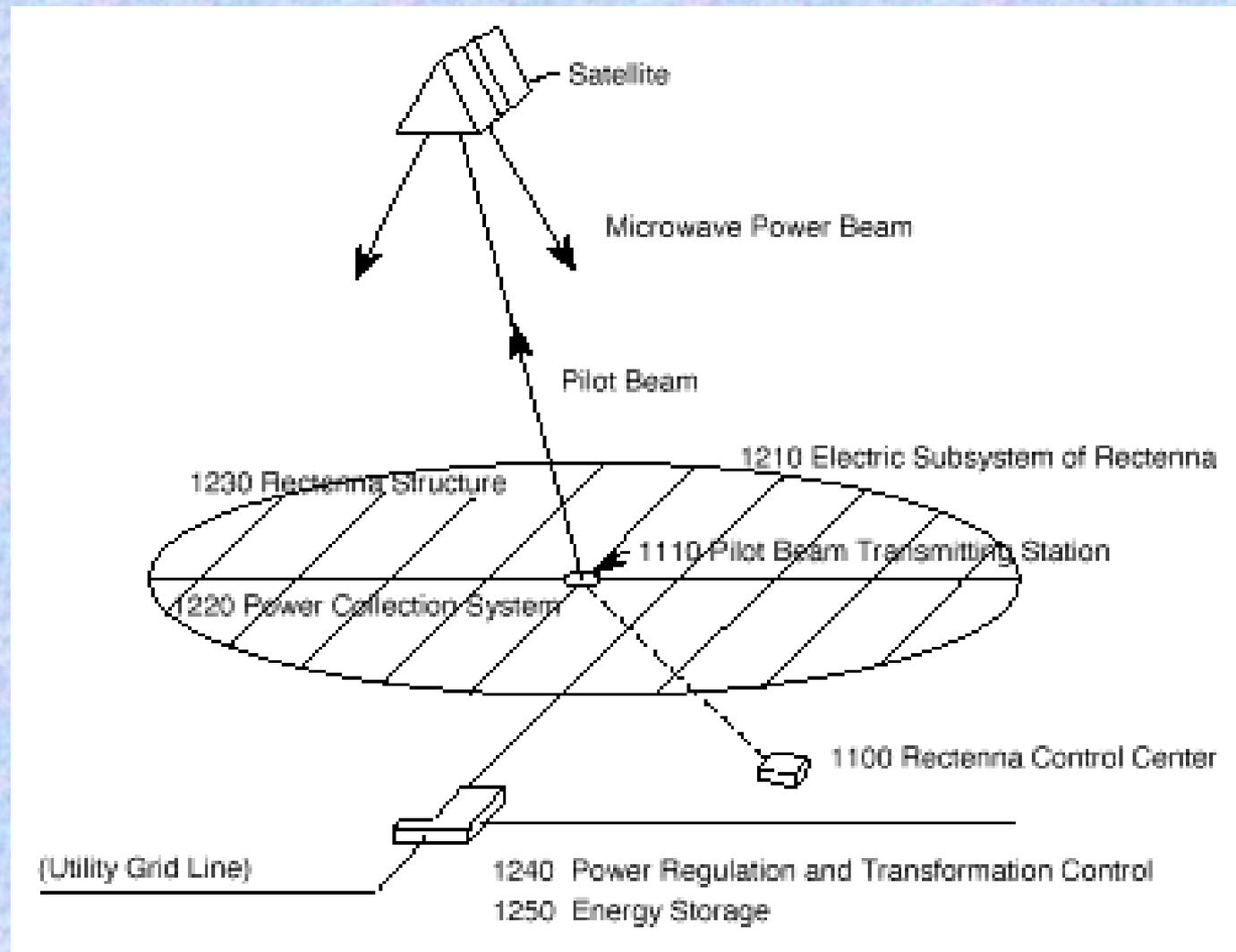
SPS 2000



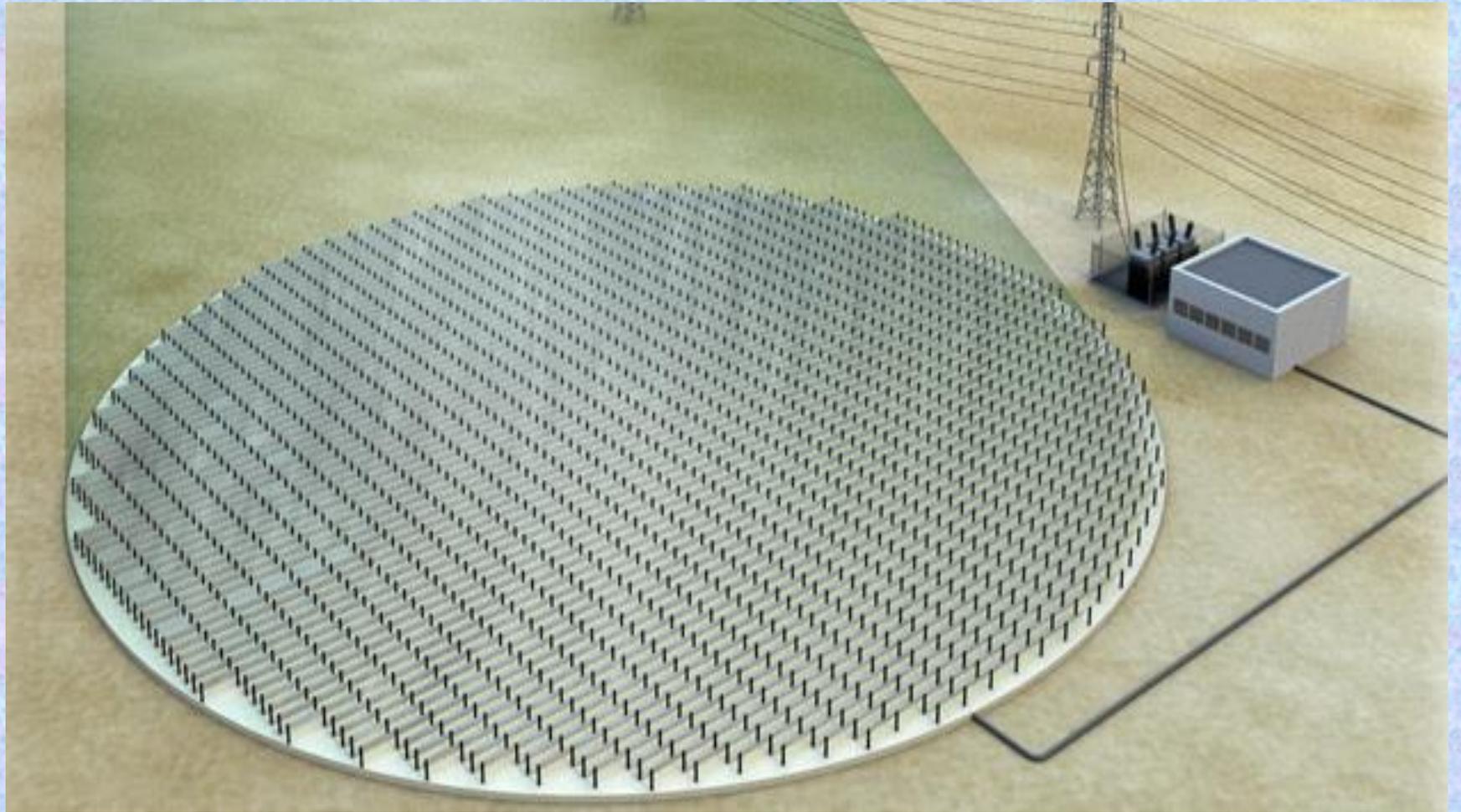
SPS 2000



SPS 2000



SPS 2000



SPS 2000

Table 2: Spacetenna Characteristics

Electrical Characteristics

Frequency	2.45GHz
Beam control	Retrodirective
Beam scanning angle	+30 degrees (east-west) +16.7 degrees (north-south)
Power distribution	constant
Power density	574W/m ²
Max. power density on ground	0.9mW/cm ²
Input power to spacetenna	16 MW
Transmitting power	10 MW

Mechanical Characteristics

Shape and Dimension	132m x 132m square
Mass	134.4 ton
Number of Array module	88
Number of subarray	1936
Number of antenna elements	2,547,776 units
Number of pilot receiver	7,744 units

SPACE FUTURE

[HOME](#)

[WHAT'S NEW](#)

[TOPICS](#)

[JOURNAL](#)

[DIRECTORY](#)

[INFORMATION](#)

[LISTS](#)

[Home](#)

[About Space Future](#)

[What's New](#)

[Directory of Contents](#)

[Topics](#)

[Space Tourism](#)

[Space Vehicles](#)

[Space Habitat](#)

[Space Power](#)

[Space Future Journal](#)

Who's Who

YULIMAN PURWANTO

[GLOSSARY INDEX](#)

[DOCUMENTS](#)

[Who's Who](#)

[GLOSSARY OF TERMS](#)

Author of:

- [A preliminary study of rectenna development aspects in Indonesia for SPS 2000 energy reception](#)[☾]
- [Future Demand for Microwave Power from Space in China and Indonesia](#)[☾]