

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar atau untuk produksi industri. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Dalam penggunaan tidak langsung, biomassa diolah menjadi bahan bakar (wikipedia, 2008)

Semua material organik mempunyai potensi untuk dikonversi menjadi energi. Biomassa dapat secara langsung dibakar atau dikonversi menjadi bahan padatan, cair atau gas untuk menghasilkan panas dan listrik. Biomassa yang berasal dari limbah hasil pertanian, limbah hutan, dan limbah perkotaan merupakan bahan yang tidak berguna. Tetapi dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi bahan bakar, karena merupakan sumber energi yang sangat potensial karena memiliki karakteristik sumber bahan organik yang dapat diperbarui dan jumlahnya sangat banyak di alam. Selain itu biomassa dapat mengikat karbondioksida dari atmosfer. Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya (Song dkk, 2000).

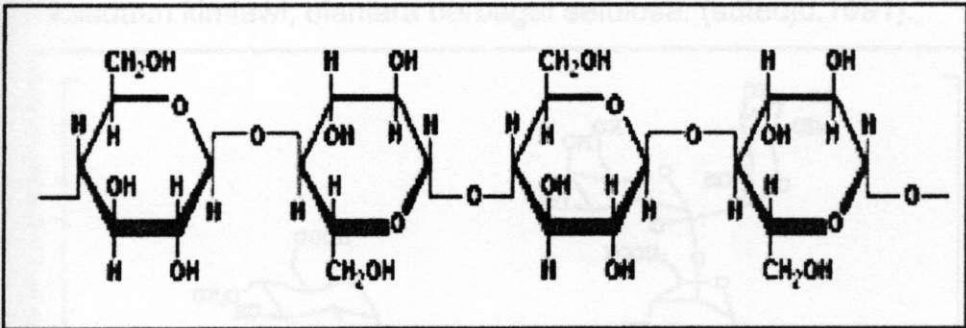
Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberi tiga keuntungan langsung. Pertama, peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan. Kedua, penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah bisa lebih mahal dari pada memanfaatkannya. Ketiga, mengurangi keperluan akan tempat

penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan (Anonymous, 2007)

Tergantung dari jenisnya, biomassa tersusun dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa dan hemiselulosa adalah bentuk polimer dari glukosa. Hemiselulosa lebih sederhana dibandingkan dengan selulosa sehingga lebih mudah dihidrolisis menjadi gula atau produk lain. Lignin merupakan polimer berpori dan dalam proses glasifikasi, misalnya berhubungan langsung dengan kadar arang yang dihasilkan (Hindarso dan Maukar, 2007).

a. Selulosa

Selulosa adalah polymer glukosa (hanya glukosa) yang tidak bercabang. Bentuk polymer ini memungkinkan selulosa saling menumpuk atau terikat menjadi bentuk serat yang sangat kuat. Selulosa hampir tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni di alam, melainkan berikatan dengan bahan lain, yaitu lignin, dan hemiselulosa, selulosa mengandung 44,5% C, 6,2% H, dan 49,3% O. Rumus empiris selulosa adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Sutedjo, 1991). Berdasarkan struktur kimia, selulosa termasuk polimer-polimer alam paling sederhana dalam artian bahwa ia terdiri dari unit ulang tunggal, D-glukosa, yang terikat melalui karbon 1 dan 4 oleh ikatan β .



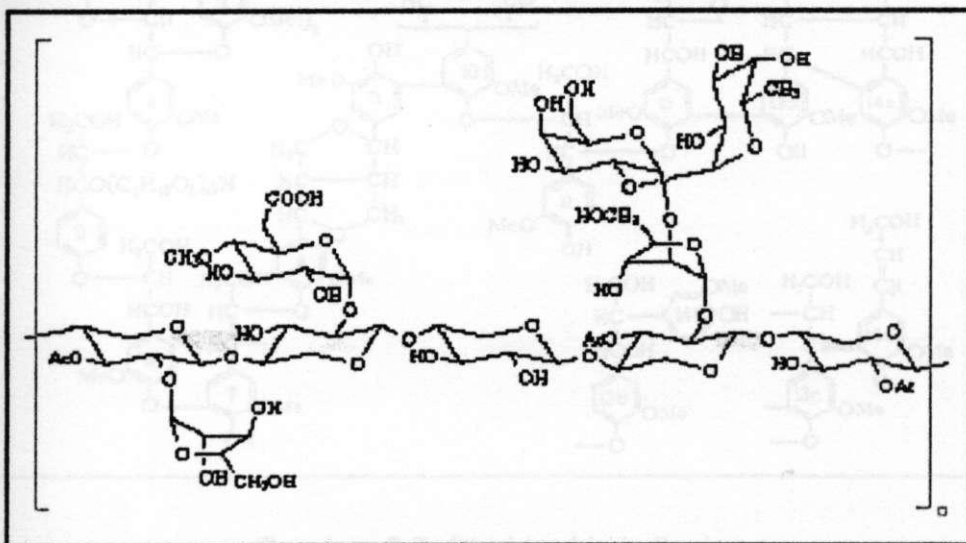
Gambar 2.1. Struktur kimia Selulosa

Selulosa banyak ditemukan dialam, merupakan konstituen utama dari dinding sel tumbuh-tumbuhan dan rata-rata menduduki sekitar 50 % dalam kayu tertentu. Ia merupakan senyawa organik yang paling melimpah diatas

bumi. Selulosa juga merupakan konstituen utama dari berbagai serat alam yang terjadi sebagai rambut-rambut biji yang mengelilingi biji-bijian dari berbagai jenis tumbuhan. Jumlah selulosa dalam serat bervariasi menurut sumbernya dan biasanya berkaitan dengan bahan-bahan seperti air, lilin, pectin, protein, lignin, dan substansi-substansi mineral (Sopyan, 2001). Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) memiliki kandungan haloselulosanya 73,85%. Kandungan haloselulosa ini akan berpengaruh pada kecepatan pembentukan produk, semakin tinggi kandungan selulosa maka pembentukan produk akan lebih tinggi (Awaludin, 2007).

b. Hemiselulosa

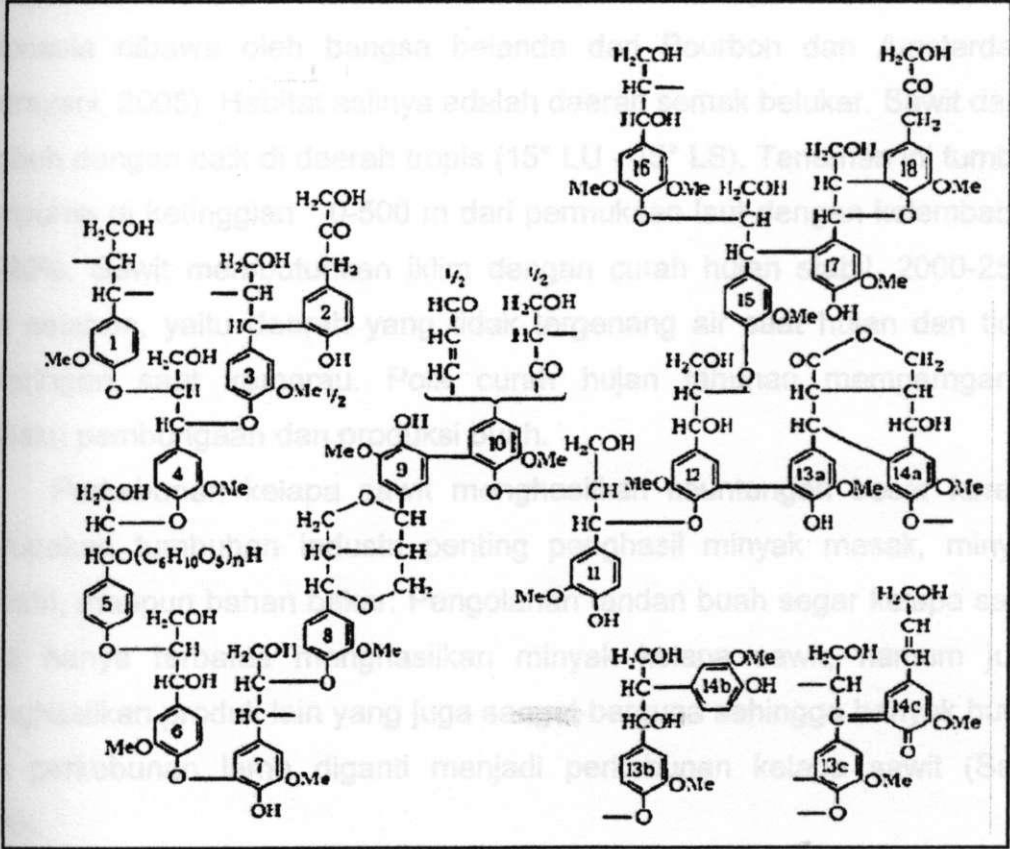
Hemiselulosa merupakan polisakarida dengan rumus molekul $(C_5H_8O_4)_n$, mengelilingi serat selulosa dan masuk ke dalam selulosa melalui pori-pori. Hemiselulosa terdiri dari rantai pendek, sekitar 200 unit gula antara 7000-15000 molekul glukosa. Hemiselulosa merupakan rantai bercabang sedangkan selulosa tidak bercabang (Adam, 2005). Hemiselulosa terdiri dari 2-7 residu gula yang berbeda. Jenis hemiselulosa selalu dipilih berdasarkan residu gula yang ada. Sejumlah besar bakteri dan cendawan biasanya menyerang hemiselulosa. Terdapat variasi yang besar dalam pencernaan dan kecepatan pembongkaran hemiselulosa dibanding kegiatan tersebut pada selulosa, hal ini dikarenakan perbedaan-perbedaan yang besar dalam sifat / keadaan kimiawi, diantara berbagai selulosa. (sutedjo,1991).



Gambar 2.2. Struktur kimia Hemiselulosa

c. Lignin

Lignin adalah salah satu komponen penyusun tanaman. Pada batang tanaman, lignin berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnya. Lignin merupakan senyawa kimia kompleks dengan rumus molekul $(C_{10}H_{12}O_3)_n$ yang umumnya diturunkan dari kayu dan bagian dari dinding sel pada tanaman. Pada kayu, jaringan lignin terdapat pada lapisan luar dari serat. Jumlah lignin pada struktur kayu sekitar 20-35% (Adam, 2005). Lignin merupakan “semen” yang mengikat fibril-fibril selulosa bersama-sama dan banyak memberikan stabilitas dimensi kayu. Menduduki sekitar 25% sampai 30% kayu, lignin merupakan polimer yang sangat melimpah yang mesti mencapai potensinya berkaitan dengan aplikasi-aplikasi polimer. Lignin terbentuk dari gugus aromatik yang saling dihubungkan dengan rantai alifatik, yang terdiri dari 2-3 karbon (Sopyan, 2001).



Gambar 2.3. Struktur kimia lignin

Dalam pelapukan bahan-bahan tanaman secara alami, lignin cenderung berakumulasi, karena zat-zat tersebut lebih resisten pada dekomposisi. Pada kondisi aerobik, lignin tidak terdekomposisi, tetapi secara berangsur-angsur teroksidasi. Bila lignin mengalami pelapukan bahan dan terurai di dalam tanah yang mengandung starter alami, maka unsur Kalium dan Fosfor banyak terdapat didalamnya. Tetapi tidak tertutup kemungkinan unsur ini juga terdapat dalam selulosa dan hemiselulosa walaupun dalam jumlah sedikit (syafil, 1999). Biomassa yang banyak terdapat di Provinsi Riau adalah biomassa yang berasal dari kelapa Sawit.

2.1.1. Kelapa Sawit dan Limbah Kelapa Sawit

Kelapa sawit bukan merupakan tanaman asli Indonesia, namun merupakan suatu komoditi andalan Indonesia. Kelapa sawit berasal dari Nigeria dan banyak dibudidayakan di daerah tropis seperti ; Indonesia, Malaysia, Thailand, Amerika Latin dan Afrika. Kelapa sawit masuk ke Indonesia dibawa oleh bangsa belanda dari Bourbon dan Amsterdam. (Indrayani, 2005). Habitat aslinya adalah daerah semak belukar. Sawit dapat tumbuh dengan baik di daerah tropis (15° LU - 15° LS). Tanaman ini tumbuh sempurna di ketinggian 0-500 m dari permukaan laut dengan kelembaban 80-90%. Sawit membutuhkan iklim dengan curah hujan stabil, 2000-2500 mm setahun, yaitu daerah yang tidak tergenang air saat hujan dan tidak kekeringan saat kemarau. Pola curah hujan tahunan mempengaruhi perilaku pembungaan dan produksi buah.

Perkebunan kelapa sawit menghasilkan keuntungan besar karena merupakan tumbuhan industri penting penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar. Pengolahan tandan buah segar kelapa sawit tidak hanya terbatas menghasilkan minyak kelapa sawit, namun juga menghasilkan produk lain yang juga sangat berguna sehingga banyak hutan dan perkebunan lama diganti menjadi perkebunan kelapa sawit (Said, 1996).

Provinsi Riau merupakan salah satu Provinsi di Indonesia yang memiliki luas areal tanaman sawit terluas di Indonesia dengan tingkat

produksi yang sangat besar. Sebaran luas areal sawit dan tingkat produksinya di tiap-tiap kabupaten/kota yang ada di Riau dapat dilihat pada tabel 2.1. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa Kabupaten Kampar merupakan daerah dengan luas areal sawit terbesar di Riau, diikuti dengan Kabupaten Rokan Hulu. Sedangkan Kota Pekanbaru merupakan wilayah dengan luas areal terendah dengan luas 4.072 hektar.

Tabel 2.1. Luas Areal Kelapa Sawit dan Tingkat Produksi di Tiap-Tiap Kabupaten/Kota yang Ada di Propinsi Riau

LUAS AREAL, PRODUKSI DAN KK SERTA PRODUKTIVITAS PERKEBUNAN KOMODITI KELAPA SAWIT TAHUN 2008 (Angka Sementara)

NO	KABUPATEN	LUAS (Ha)			JUMLAH	PRODUKSI (Ton)			JUMLAH	Petani (KK)
		RAKYAT	PBS	PBN		RAKYAT	PBS	PBN		
1	KAMPAR	148.077	123.526	25.759	297.362	501.400	531.869	157.836	1.191.103	73.860
2	ROKAN HULU	132.964	125.712	22.089	280.765	380.638	509.886	98.571	989.093	52.274
3	PELALAWAN	60.677	119.307	-	179.984	180.603	505.691	-	686.294	31.167
4	INDRAGIRI HULU	58.784	50.762	7.500	117.046	170.138	199.365	29.020	398.522	24.915
5	KUANTAN SINGINGI	64.990	59.226	-	124.216	198.236	250.914	-	450.149	33.161
6	BENGKALIS	102.388	27.503	-	129.899	204.938	38.813	-	243.751	17.686
7	ROKAN HILIR	82.744	59.669	8.690	161.103	178.221	273.941	41.090	493.252	14.579
8	DUMAI	25.693	-	-	25.693	54.983	-	-	54.983	7.281
9	SIAK	114.296	102.235	-	216.531	328.392	349.478	44.834	722.704	44.605
10	INDRAGIRI HILIR	40.848	63.830	9.473	114.148	57.067	303.816	-	360.883	21.655
11	PEKANBARU	2.922	1.150	-	4.072	4.181	5.089	-	9.270	1.418
TOTAL		834.367	732.919	73.511	1.640.799	2.238.792	2.968.861	371.351	5.580.004	322.601

Di Riau kebun sawit rakyat luasnya mencapai 832.838 Ha. Kebun perusahaan swasta mencapai 548 ribu Ha. Sementara kebun milik negara hanya 106.142 Ha. Terdapat 156 PKS yang tersebar di beberapa kabupaten seperti Rohil, Rohul, Pelalawan, Kampar, Siak, Kuansing dan Bengkalis. Dimana setiap pengolahan 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) menghasilkan 200 kg CPO, limbah padat Tandan Kosong Kelapa sawit (TKKS) 250 kg dan 0,5 m³ LCPKS. Selama ini TKKS lebih banyak dibakar dilahan dan digunakan sebagai pupuk tanaman (Dinas Perkebunan Provinsi Riau, 2006).

Limbah kelapa sawit adalah sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama. merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah kelapa sawit dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu (Fauzi dkk, 2002) :

1. Limbah lapangan

Merupakan sisa tanaman yang ditinggal waktu panen, peremajaan atau pembukaan area perkebunan baru. Contoh limbah lapangan adalah kayu, ranting, daun, pelepah atau gulma hasil penyiangan kebun.

2. Limbah industri

Limbah industri kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan pada saat proses pengolahan kelapa sawit. Limbah ini digolongkan dalam tiga jenis yaitu limbah padat, limbah cair dan gas.

a. Limbah padat

Jika ditinjau dari sumbernya, limbah pabrik kelapa sawit dikelompokkan menjadi 2 macam yaitu :

- o Limbah yang berasal dari unit pengolahan TBS berupa : TKKS, cangkang, lumpur dan bungkil.
- o Limbah yang berasal dari pengolahan limbah cair berupa Lumpur aktif yang terbawa oleh pengolahan air limbah.

TKKS dan Lumpur yang tidak ditanggulangi dengan baik dapat menimbulkan bau busuk, tempat bersarangnya lalat dan pontensial menyebabkan air lindi (leachate). Oleh karena itu limbah ini harus dirubah kebentuk yang ramah lingkungan. Tempurung kelapa sawit termasuk juga limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit. Limbah padat mempunyai ciri khas pada komposisinya. Komponen terbesar dalam limbah padat tersebut adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin.

b. Limbah cair

Limbah cair juga dihasilkan pada peroses pengolahan kelapa sawit. Limbah ini berasal dari kondesat, stasiun klarifikasi, dan dari hidrosilikon. Limbah kelapa sawit memiliki kadar bahan organik yang tinggi. Tingginya kadar tersebut menimbulkan beban pencemaran

yang besar, karena diperlukan degradasi bahan organik yang besar pula.

Tabel 2.2. Kandungan BOD, COD dan pH Limbah Cair PKS

Parameter	Kandungan (mg/L)
BOD	25300
COD	34700
pH	4,1

Sumber : Indrayani, 2005

c. Limbah gas

Selain limbah padat cair, industri limbah pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah bahan gas. Limbah bahan gas ini antara lain gas cerobong asap dan uap air buangan kelapa sawit.

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah organik yang berpotensi untuk dijadikan bioenergi pengganti bahan bakar. TKKS merupakan limbah terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit. Jumlah tandan kosong mencapai 30-35% dari berat tandan buah segar.



Gambar 2.4. Tandan kosong kelapa sawit

TKKS mengandung serat yang tinggi. Kandungan utama TKKS adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Kandungan selulosa dalam TKKS mencapai 54-60% sedangkan kandungan lignin mencapai 22 - 27%

Tabel 2.3 Komposisi TKKS

Komponen	% (w/w)
Selulosa	59,7
Hemiselulosa	22,1
Lignin	18,1
Abu	5,36

Sumber : Abdulah dan Gerhauser, 2008

2.1.2 Minyak Kelapa (*Cocos nucifera*)

Kelapa adalah salah satu jenis tumbuhan dari keluarga *areceaceae*. Tumbuhan kelapa merupakan salah satu tumbuhan yang mempunyai kandungan minyak yang tinggi yaitu 2260 kg minyak/Ha. Tumbuhan ini mempunyai ketinggian mencapai 30 m. Terdiri dari buah pohon yang berkulit keras dan berdaging warna putih. Pohon kelapa biasanya tumbuh di daerah pinggir pantai dan beriklim tropis. Buah kelapa berbentuk bulat panjang dengan ukuran kurang lebih sebesar kepala manusia (ketaren, 1986).

Komponen minyak kelapa adalah asam lemak jenuh sekitar 90 persen dan asam lemak tak jenuh sekitar 10 persen. Tingginya kandungan asam lemak jenuh menjadikan minyak kelapa sebagai sumber *saturated fat*. Asam lemak jenuh didominasi oleh asam laurat yang memiliki rantai karbon 12, termasuk asam lemak rantai menengah *medium chain fatty acid* dan jumlahnya sekitar 52 persen sehingga minyak kelapa kerap disebut minyak laurat.

Minyak kelapa berdasarkan kandungan asam lemak digolongkan kedalam minyak asam laurat karena kandungan asam lauratnya paling besar jika dibandingkan dengan asam lemak lainnya. Berdasarkan tingkat ketidakjenuhannya yang dinyatakan dalam bilangan iod (*iodine value*) maka minyak kelapa dapat dimasukkan kedalam golongan *non drying oil* karena bilangan iod minyak kelapa tersebut berkisar antara 7,5-10,5.

Warna coklat pada minyak yang mengandung protein merupakan hasil reaksi dari senyawa karbonil (berasal dari pemecahan peroksida) dengan asam amino dari protein dan terjadi terutama pada suhu tinggi. Zat warna alamiah yang terdapat dalam kelapa adalah karoten yang merupakan

hidrokarbon tidak jenuh dan tidak stabil pada suhu tinggi. Pada pengolahan minyak menggunakan uap panas maka warna kuning yang disebabkan oleh karoten akan mengalami degradasi. Komposisi asam lemak minyak kelapa dilihat dalam tabel 1.

Tabel 2.4 Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa

Asam lemak	Rumus kimia	Jumlah (%)
Asam lemak jenuh		
Asam Kaproat	$C_5H_{11}COOH$	0,0-0,8
Asam Kaprilat	$C_7H_{17}COOH$	5,5-9,5
Asam Kaprat	$C_9H_{19}COOH$	4,5-9,5
Asam Laurat	$C_{11}H_{23}COOH$	44,0-52,0
Asam Miristat	$C_{13}H_{27}COOH$	13,0-19,0
Asam palmitat	$C_{15}H_{31}COOH$	7,5-9,5
Asam Stearat	$C_{17}H_{35}COOH$	1,0-3,0
Asam Arachidat	$C_{19}H_{39}COOH$	0,0-0,4
Asam lemak tak jenuh		
Asam Palmitoleat	$C_{17}H_{33}COOH$	5,0-8,0
Asam Oleat	$C_{18}H_{33}COOH$	1,5-2,5
Asam Linoleat		

Sumber : Thieme, J.G, (1968)

Tabel.1. memperlihatkan bahwa asam lemak jenuh minyak kelapa kurang dari 90%. Minyak kelapa mengandung 84 % trigliserida dengan tiga molekul asam lemak jenuh, 12 % trigliserida dengan dua asam lemak jenuh dan 4 % trigliserida dengan satu asam lemak jenuh (Ketaren, 1986).

Pada umumnya masyarakat mengenal pengolahan daging buah kelapa menjadi minyak melalui cara kering dan basah. Pengolahan cara kering, daging buah yang sudah dipotong-potong dikeringkan sehingga diperoleh kopra, lalu dilakukan pengepresan guna mendapatkan minyak. Teknik pengolahan ini biasanya dilakukan dalam skala besar (pabrik).

Pengolahan cara basah, daging buah kelapa diparut, kemudian dicampur dan di ekstrak dengan air panas (hangat) pada perbandingan tertentu. Hasil ekstraksi berupa emulsi minyak dalam air yang disebut

santan. Pemanasan dilakukan untuk memecah emulsi guna mendapatkan minyak, yang biasa disebut minyak kelentik.

Kedua metode ini akan menghasilkan minyak yang berbau harum, tetapi warnanya kurang bening akibat penggunaan panas dalam proses pengolahannya. Oleh sebab itu untuk memperoleh vico, penggunaan panas diminimalkan. Caranya adalah dengan menggunakan enzim secara langsung atau mikroba penghasil enzim tertentu untuk memecah protein yang berikatan dengan minyak dan karbohidrat sehingga minyak dapat terpisah secara baik. Pengolahan minyak kelapa dengan menggunakan enzim lazim disebut dengan teknik fermentasi.

Pembuatan vico dengan teknik fermentasi diawali dengan proses pembuatan santan, caranya sama dengan metode basah. Santan ditempatkan pada wadah yang bersih dan selanjutnya dibiarkan beberapa saat hingga terbentuk gumpalan krim atau "biang santan". Krim dipisahkan kedalam wadah yang tembus pandang, seperti toples yang relatif besar, lalu tambahkan ragi atau larutan cuka nira secukupnya. Campuran diaduk secara merata dan difermentasi selama 10 – 14 jam atau semalam. Proses fermentasi dinyatakan berjalan dengan baik jika dari campuran tersebut terbentuk tiga lapisan, yakni lapisan atas berupa minyak murni (vico), lapisan tengah berupa blondo (warna putih), dan lapisan bawah berupa air. Kemudian minyak dipisahkan secara hati-hati.

Minyak ini memberikan aroma khas dan warna yang lebih jernih. Guna mendapatkan manfaatnya bagi kesehatan, vico yang diperoleh bisa dikonsumsi secara langsung ataupun digunakan untuk menggoreng atau menumis makanan. Dengan struktur kimia asam lemak jenuh yang tak memiliki double bond, vico relatif tahan terhadap panas. Cahaya dan oksigen singlet sehingga memiliki daya simpan yang lama. Namun, sebaiknya dikemas dalam botol yang tak tembus cahaya guna memperpanjang masa simpannya.



2.1.3. Biodiesel (metil ester)

Pada tahun 1811 Rudolf Diesel mulai mengembangkan sebuah mesin yang kemudian terkenal dengan nama mesin diesel. Bahan bakarnya berasal dari minyak nabati. Pada tahun 1900 Diesel memamerkan mesinnya yang menggunakan minyak kacang tanah 100 % sebagai bahan bakarnya di World Exhibition di Paris. Pada tahun 1912 Diesel menyatakan bahwa temuannya itu tampaknya tidak penting, tetapi untuk masa mendatang penggunaan bahan bakar hayati akan menjadi sama pentingnya seperti BBM. Namun, setelah meninggalnya Diesel pada tahun 1913 mesin dieselnnya diubah menjadi sebuah mesin yang menggunakan BBM.

Menurut Saputera (2001), biodiesel merupakan bahan bakar mesin diesel yang bahan bakunya berasal dari minyak nabati atau hewani yang bisa diperbaharui. Secara kimia, biodiesel masuk dalam golongan monoalkil ester atau metil ester dengan panjang rantai karbon antara 12 – 20. Biodiesel dapat bekerja pada mesin konvensional tanpa perlu ada modifikasi. Biodiesel terdiri dari 11 persen oksigen dan tidak mengandung belerang, sehingga penggunaan biodiesel pada mesin diesel akan mengurangi hidrokarbon yang tidak terbakar, karbon monoksida dan partikulat kasar seperti karbon dan debu. Biodiesel dapat memperpanjang umur mesin diesel karena lebih berpelumas dibandingkan dengan petroleum diesel.

Penggunaan biodiesel dapat menggantikan bau dari asap knalpot petrodiesel dengan bau popcorn atau kentang goreng dan tidak menyebabkan iritasi pada mata. Keunggulan lainnya adalah tidak beracun, bebas timbal dan benzen karsinogenik dan *biodegradable* (Saputera, 2001).

Selain aman dibawa dan disimpan , biodiesel dapat digunakan secara murni atau dicampur dengan petroleum diesel dengan berbagai rasio. Yang paling umum adalah campuran antara 20 persen biodiesel dan 80 persen petroleum diesel atau yang lebih dikenal dengan B20. Semakin besar komposisi biodiesel pada campuran dengan petroleum diesel, semakin berkurang pula emisi gas buang yang dihasilkan.

Kelebihan biodiesel dibanding minyak diesel atau solar :



- Merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*smoke number* rendah).
- *Cetane number* (angka setane) lebih tinggi (> 60) sehingga efisiensi pembakaran lebih baik.
- Memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin.
- *Biodegradable* (dapat terurai)
- Merupakan *renewable energy* karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharui.
- Meningkatkan suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal.

Penggunaan biodiesel dapat mengurangi polusi udara. Biodiesel mempunyai kadar gas buang lebih rendah dibandingkan dengan solar, sehingga lebih ramah lingkungan dan dapat mengurangi pemanasan global. Perbandingan kadar emisi biodiesel dengan solar dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2.5. Perbandingan Kadar Emisi Biodiesel Dengan Solar

Kriteria	Biodiesel (b)	Solar (s)	$(b - s) \times 100$ %
SO ₂ (ppm)	0	78	-100
CO (ppm)	10	40	-75
NO (ppm)	37	64	-42
NO ₂ (ppm)	1	1	0
O ₂ (% - b)	6	6,6	-9
Total Partikulat (mg / Nm ³)	0,25	5,6	-96
Benzen (mg / Nm ³)	0,3	5,01	-99,9
Toluen (mg / Nm ³)	0,57	2,31	-99,9
Xylen (mg / Nm ³)	0,73	1,57	-99,9
Etil benzen (mg / Nm ³)	0,3	0,73	-59

Sumber : Soerawidjaja (2001)

Membuat biodiesel merupakan proses yang sangat sederhana. Untuk bisa menjalankan kendaraan, kita perlu menurunkan viskositas atau kekentalan dari minyak kelapa. Bahan bakar dari minyak nabati atau hewani ini diproses dengan cara mengubah minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak goreng bekas menjadi biodiesel mengambil molekul trigliserida atau asam lemak kompleks, menetralkan asam lemak bebas, mengeluarkan gliserin dan membuat alkohol ester yang disebut dengan transesterifikasi (Saputera, 2001).

Produksi biodiesel pada dasarnya dilakukan dengan proses kimia yang disebut transesterifikasi. Dalam proses ini minyak direaksikan dengan alkohol dengan bantuan katalisator. Pada prakteknya dilakukan dengan mencampurkan alkohol dengan natrium hidroksida sebagai katalis untuk membuat natrium metoksida. Alkohol yang banyak digunakan adalah metanol, katalisatornya dapat berupa asam ataupun basa. Yang umum digunakan adalah basa, yaitu NaOH dan KOH. Campuran ini kemudian direaksikan dengan minyak tumbuh-tumbuhan. Setelah campuran ini di transesterifikasi, didiamkan sehingga terbentuk dua lapisan yaitu lapisan bawah adalah gliserol dan lapisan atas adalah metil ester atau biodiesel.

Dalam suatu proses transesterifikasi atau reaksi alkoholisis satu mol trigliserida bereaksi dengan tiga mol alkohol membentuk satu mol gliserol dan tiga mol alkil ester. Proses tersebut merupakan reaksi *reversibel* (dapat balik) yang molekul trigliserida diubah menjadi digliserida, monogliserida dan gliserol (Hanna, 1999). Produk samping dari proses ini yaitu gliserol dapat digunakan untuk bahan dasar berbagai macam produk antara lain pada pembuatan sabun, sedangkan alkohol dapat digunakan kembali untuk proses pembuatan biodiesel.

Biodiesel mempunyai beberapa karakteristik yang harus diketahui terlebih dahulu dengan melakukan analisa dan pengujian sebelum digunakan ke mesin agar mesin bisa bekerja dan lebih awet. Standar mutu dari biodiesel ini pada masing-masing negara telah ada, dimana standar biodiesel ini nilainya pada masing-masing negara hampir sama, seperti di

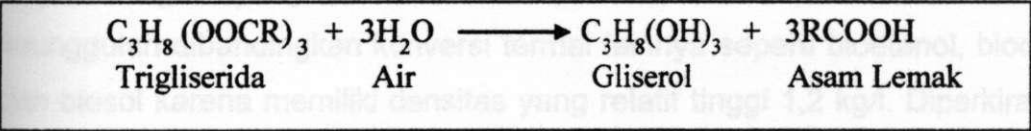
Amerika standarnya ASTM, di Jerman DIN, di Perancis Journal Officiel sedangkan di Indonesia dengan SNI.

Tabel 2.6 Standar Mutu Biodiesel Indonesia SNI-04-7182-2006

Parameter	Batasan	Satuan	Metode Uji
Flash Point	100 (minimum)	°C	ASTM D 93
Kadar Air	0,05 (maksimum)	% volume	ASTM D 2709
Kinematic Viskosity 40 °C	2,3 – 6,0	mm ² / s	ASTM D 445
Densitas	850 - 890	Kg / m ³	ASTM D 1298
Bilangan Asam	0,8 (maksimum)	mg KOH / g	AOCS Cd 3-63

Sumber : Prihandana (2006)

Zat yang mudah menguap pada suhu 105 °C dalam minyak kelapa dan biodiesel sebagian besar adalah air dan bahan organik yang mudah menguap. Dan secara umum dinyatakan sebagai kandungan air, yaitu merupakan selisih bobot yang hilang per berat sampel setelah sampel dipanaskan pada suhu 105 °C selama 3,5 jam. Kandungan air yang terdapat dalam biodiesel dapat mengganggu kerja mesin. Hal ini berpengaruh pada proses perapian, perkaratan pada mesin (Andi, 2006). Pengaruh adanya air dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 2.5 Reaksi antara trigliserida dan air

2.1.4. Bio-Oil

Menurut Ensyn Group INC (2001), bio-oil adalah cairan yang tidak larut dalam air, bahan bakar yang dapat dioksigenasi, mengandung karbon, hydrogen, dan oksigen. Dengan kandungan nitrogen dan sulfur yang sangat sedikit. Bahkan kandungan sulfur didalamnya dapat diabaikan. kandungan

bio-oil tergantung pada biomassa yang digunakan, namun zat-zat kimia yang terdapat pada bio-oil terdiri dari kelompok karbonil, karboksil, hidroksil, dan metoksi. Semua kelompok ini mengandung oksigen, dimana minyak yang berasal dari minyak bumi hampir semuanya mengandung hidrokarbon.

Bio-oil bahan bakar cair berwarna gelap, beraroma seperti asap, dan diproduksi dari biomassa seperti kayu, kulit kayu, kertas, atau biomassa melalui teknologi pirolisa (*pyrolysis*) atau pirolisa cepat (*fast pyrolysis*). Bio-oil merupakan *oxygenated molecule* dan bersifat *water soluble*. Bio-oil dapat juga digunakan sebagai pengganti minyak tanah dan minyak bakar (Hambali dkk, 2007).



Gambar 2.6. Bio-oil

Bio-oil dapat diperoleh dengan melakukan pembakaran biomassa tanpa oksigen yang biasa disebut pirolisis. Bio-oil memiliki beberapa keunggulan dibandingkan konversi termal lainnya seperti bioetanol, biodiesel dan biosol karena memiliki densitas yang relatif tinggi 1,2 kg/l. Diperkirakan dua muatan truk dari kepingan kayu dapat digantikan dengan satu muatan tangki bio-oil dengan kandungan energi yang sama (Abdullah dan Gerhauser, 2008).

Komponen organik yang terdapat didalam bio-oil (Goyal dkk,2006) :

- Asam-asam : Formiat, asetat, propanoat, heksanoat, benzoate, dan lain-lain.
- Ester-ester : Metil format, metil propanoat, butirolaktone, metil n-butirat, veterolakton, dan lain-lain.

- Alkohol : methanol, etanol, 2-propana-1-ol, isobutanol, dan lain-lain.
- Keton : Aseton, 2-butanon, 2-pentanon, 2-siklopentanon, 2,3-pentenadion, 2-heksanon, sikloheksanon, dan lain-lain.
- Aldehid : Formaldehid, asetaldehid, 2-butenal, pentanal, dan etanadial
- Fenol : Fenol, metil tersubstitusi oleh fenol.
- Alkena : 2-metil propena, dimetil siklo pentena, alfa-pinena, dan lain-lain.
- Senyawa-senyawa aromatik : benzene, toluene, xilen, naftalen, fenantren, fluorantren, krisena, dan lain-lain.
- Senyawa-senyawa nitrogen : Amoniak, metal amina, piridin, metilpiridin, dan lain-lain.
- Furans : Furan, 2-metilfuran, 2-furanone, furfural, furfural alcohol, dan lain-lain.
- Guaiacols : 2-metoksifenol 4-metil guaiacol, etil guaiacol, eugenol,
- Siringol : Metilsiringol, 4-etil siringol, propel siringol, dan lain-lain.
- Gula : levoglukosa, glukosa, fruktosa, d-xilosa, d-arabinosa, dan lain-lain.
- Macam-macam oksigenasi : Hidroksiasetaldehid, hidroksiaseton, dimetilasetal, asetal, metal siklopetenanolon, dan lain-lain..

Komponen anorganik ada dalam bentuk :

- a. Berasosiasi (terikat) dengan ion-ion counter.
- b. Terhubung dengan asam-asam organic.
- c. Berkaitan dengan bermacam senyawa enzimatik.

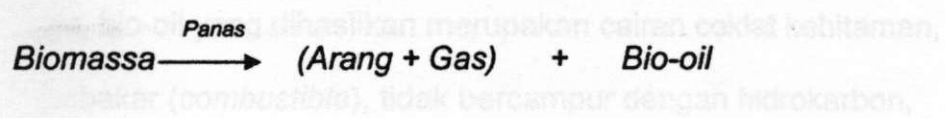
Adapun komponen anorganik yang terdapat dalam bio-oil terdiri-dari :

Ca, Si, K, Fe, Al, Na, S, P, Mg, Ni, Cr, Zn, Li, Ti, Mn, Ln, Ba, V, Cl, dan lain-lain.

Kandungan lainnya dalam bio-oil adalah air, tetapi air tidak bersifat kontaminan seperti pada petroleum, karena air bercampur dengan bio-oil. Kandungan air dalam bio-oil 15-30 wt% dan Ph 2,8-3,8 (BTG, 2003).

Dalam reaksi produksi bio-oil juga dihasilkan arang dan gas tidak terkondensasi. Dalam reaksi produksi bio-oil tidak dihasilkan limbah atau

zero waste. Seratus persen bahan baku dikonversi menjadi bio-oil dan arang, sedangkan gas yang tidak terkondensasi dikembalikan ke dalam proses sebagai sumber energi. Tiga produk akhir yang dihasilkan dalam proses pirolisis yaitu bio-oil, arang dan gas tidak terkondensasi.



Arang berwujud padatan berbentuk granular dan termasuk bahan bakar ramah lingkungan. Arang dapat digunakan sebagai bahan bakar karbon aktif (Hambali dkk, 2007).

Bio-oil merupakan energi alternatif yang terbaru, sangat ramah lingkungan karena dapat mendaur ulang limbah, mengurangi penimbunan, mencegah pencemaran tanah dan air tanah serta tidak menghasilkan emisi SOx (Awaluddin, 2007). Bio-oil merupakan cairan yang teroksigenasi yang memiliki kerapatan yang tinggi dan dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar. Bio-oil dapat terbakar dalam mesin diesel, turbin atau boiler, walaupun penggunaannya masih memerlukan uji ketahanan jangka panjang (Abdullah dan Gerhauser, 2008).

Selain itu, Bio-oil dapat digunakan pada beberapa aplikasi sebagai berikut (Goyal dkk, 2006):

- Pembakaran bahan bakar.
- Digunakan sebagai pembangkit generator.
- Produksi bahan-bahan kimia dan resin.
- Dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk transportasi dan sangat baik sebagai pengganti bahan bakar.
- Dapat digunakan sebagai asap cair.
- Produksi gula anhidrous seperti levoglukosan.
- Digunakan sebagai bahan pengawet seperti pengawet kayu.
- Campuran yang cocok cairan pirolisis dengan minyak diesel akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel.
- Digunakan sebagai bahan perekat.

Karakteristik bio-oil yang dihasilkan sangat beragam, tergantung pada jenis umpan dan teknologi pengolahan yang digunakan. Artinya spesifikasi bahan baku sangat penting dalam menentukan produk yang dihasilkan. Umumnya, bio-oil yang dihasilkan merupakan cairan coklat kehitaman, mudah terbakar (*combustible*), tidak bercampur dengan hidrokarbon, bersifat asam, viskositas tergantung kadar air yang dikandungnya (Bain dan Richard, 2004).

Untuk dapat menentukan karakteristik bio-oil, kita dapat melakukan beberapa pengujian berdasarkan spesifikasi bio-oil. Secara umum, parameter yang menjadi standar mutu bio-oil adalah kandungan air, massa jenis (*density*), viskositas, nilai kalori dan titik nyala (*flash point*).

Tabel 2.7. Spesifikasi bio-oil

Parameter	Satuan	Nilai
High heating value	MJ/Kg	21,3-40,1
Titik nyala	°C	48-55
Viskositas	cSt	10-150@50°C
Kelembapan	Wt%	15 – 25
Densitas	Kg/L	0,94-1,23

Sumber : Smallwood, 2008

2.1.5. Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata Pyro (Fire/Api) dan Lyo (Loosening/Pelepasan) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Jadi pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil atau pendegradasian panas pada biomassa tanpa oksigen, untuk menghilangkan komponen volatile pada karbon. Pirolisis merupakan satu bentuk insinerasi

yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas inert (Miura dkk, 2003).

Proses pirolisis dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu (Goyal dkk, 2006) :

1. *Slow Pyrolysis* (Pirolisis Lambat)

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (5-7 K/menit). Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

2. *Fast Pyrolysis* (Pirolisis Cepat)

Pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,5-2 detik, suhu 400-600°C dan proses pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75 % lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

3. *Flash Pyrolysis*

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. *Flash pyrolysis* pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105-250 µm.

4. Pirolisis katalitik biomassa

Dari literatur dapat dilihat bahwa zat cair diperoleh dari proses biomassa lambat, cepat atau kilat, tidak dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar transportasi. Minyak ini harus diolah lagi karena mempunyai kandungan air dan oksigen tinggi. Minyak-minyak ini juga ditemukan kurang stabil dan kurang bercampur (tidak saling melarutkan) dalam bahan bakar konvensional. Pirolisis katalitik biomassa dimasukkan untuk membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Minyak tersebut diperoleh dengan cara pirolisis katalitik biomassa tidak memerlukan teknik pra-pengolahan sample yang mahal yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali.

2.2. Teknologi Pemanfaatan Energi Surya

Pemanfaatan energi surya sudah dilakukan sejak manusia pertama hidup dipermukaan bumi ini. Tanpa kita sadari setiap hari potensi tenaga surya sudah kita manfaatkan. Kita letakkan tanaman pot dekat jendela atau tempat-tempat terbuka dimana cahaya dan radiasi matahari dapat mengenainya. Pemanfaatan dengan cara tradisional adalah pada proses pengeringan padi, produk-produk pertanian dan perikanan, untuk mengeringkan pakaian dan seterusnya. Secara umum ada tiga cara memanfaatkan potensi tenaga surya yaitu: secara surya pasif, surya aktif dan listrik surya.

Gambar 2.8. Cara kerja system pemanas air tenaga surya

Surya Pasif

Contoh pemanfaatan surya pasif adalah pada proses pengeringan tradisional, yaitu untuk mengeringkan pakaian, mengeringkan hasil-hasil pertanian dan perikanan, dan pada proses pembuatan garam tradisional. Penerangan ruangan disiang hari dan sebagainya.

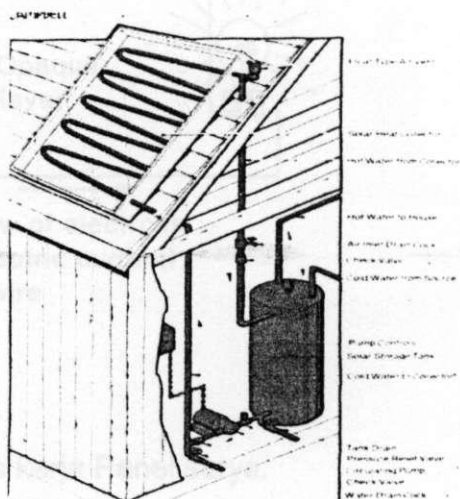
Surya Aktif

Surya aktif adalah pemanfaatan tenaga surya dengan melakukan beberapa langkah rekayasa sehingga tenaga surya yang tersedia dapat dipergunakan untuk keperluan-keperluan tertentu yang diinginkan. Sebagai contoh adalah membuat kolektor surya untuk mengumpulkan nilai energi surya sebanyak mungkin yang dibutuhkan untuk berbagai keperluan. Contoh penggunaannya adalah sebagai berikut: pada sistem pemanas air rumah tangga, penghangat ruangan (subtropis), penghasil uap dan air temperatur tinggi dan rumah kaca atau green house.

Dalam rekayasa pemanfaatan tenaga matahari dikenal beberapa jenis kolektor seperti kolektor plat datar. Kolektor ini banyak dipergunakan untuk system pemanas air. Berikut ini contoh komponen-komponen dari Kolektor plat datar air panas

- Kolektor surya
- Tangki
- Pompa
- Pengendali
- Efisiensi 50%

Gambar 4.1 Sistem pemanas air tenaga surya.

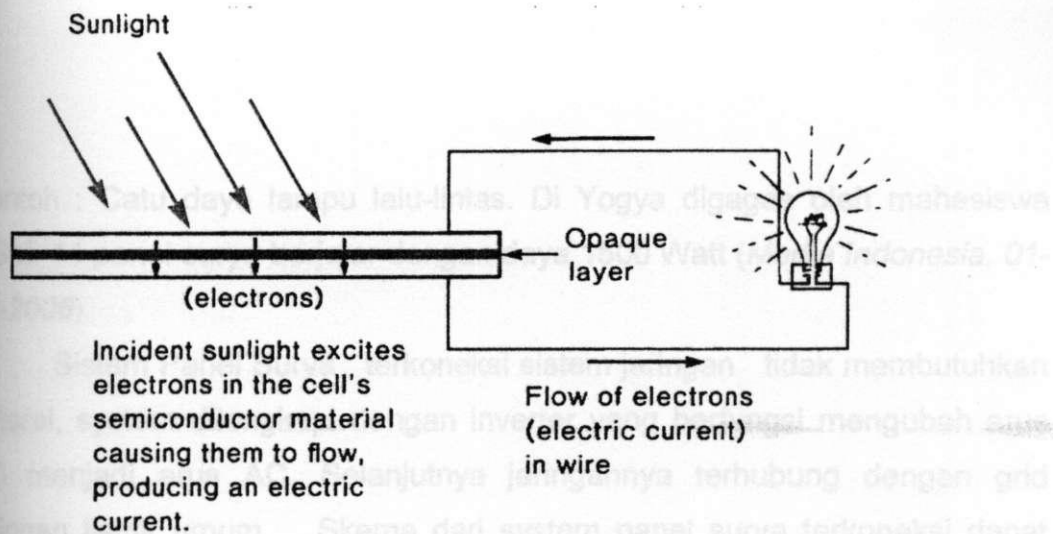


Gambar 2.8. Cara kerja system pemanas air tenaga surya

Air dingin dialirkan melalui pipa bagian bawah ke plat kolektor surya. Pipa air didalam kolektor surya dibuat sedemikian rupa sehingga air didalam pipa dapat menyerap panas matahari sebanyak mungkin. Dari kolektor air dialirkan kedalam tangki penampung air panas dan siap dialirkan dengan pompa yang dapat dikendalikan sesuai dengan keinginan pengguna. Contoh lain dari teknologi tenaga surya adalah Surya Aktif dengan Kolektor konsentrasi. Komponen utama terdiri dari cermin parabolik dan tabung liran fluida.

Listrik Surya

Teknik listrik tenaga surya diperoleh dengan menggunakan panel surya. Panel surya berfungsi mengubah langsung energi surya menjadi tenaga listrik arus searah (listrik DC).



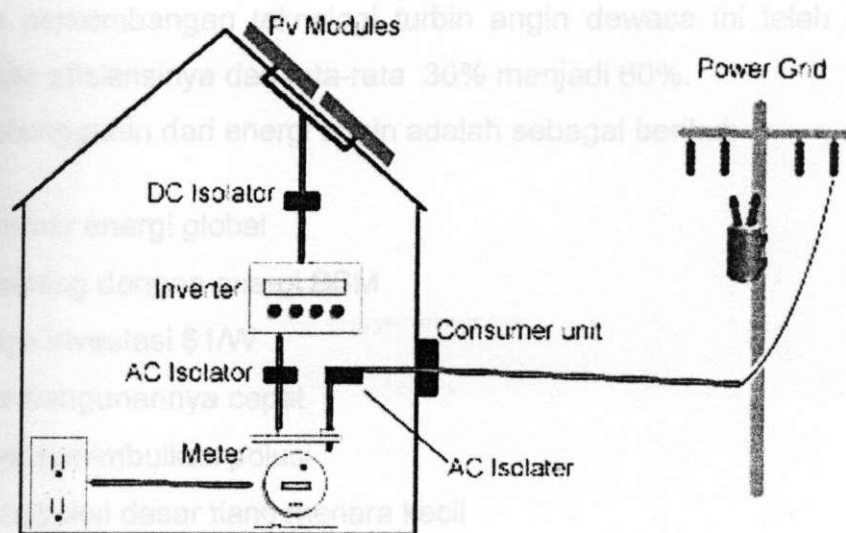
Gambar 2.9 Sekema Prinsip kerja Panel surya.

Kerja panel surya dilandasi oleh teori efek foto listrik Einstein. Panel surya terbuat dari bahan semi konduktor. Dimana ada dua komponen utama yaitu katoda dan anoda. Sifat semi konduktor yang unik dimana gap energi antara katoda dan anoda berada pada rentang antara gap energi konduktor dan isolator. Pada kondisi normal dimana tidak ada sumber energi yang mempengaruhi electron-elektron pada katoda, bahan semi konduktor bersifat pasif. Namun begitu ada tambahan energi pada sekumpulan electron di katoda, energi electron meningkat dan memiliki kemampuan melintasi gap energi yang ada sehingga terjadi aliran electron yang dikenal dengan sebutan aliran arus listrik bila antara anoda dan katoda dihubungkan sehingga membentuk rangkaian tertutup (Gambar 4.16). Dalam teknologi selsurya, energi yang dimanfaatkan untuk menggerakkan electron adalah radiasi dari spectrum cahaya matahari. Dalam penggunaannya dikenal beberapa macam pemasangan instalasi system panel surya yaitu : Sistem Panel Surya berdiri sendiri atau sistem terpisah dan sistem jaringan saling terhubung (Electric grid connected). Panel Surya Sistem Terpisah terdiri dari komponen-komponen berikut.

- Panel berjajar
- Batre
- Beban DC
- Tidak menggunakan inverter
- Tidak terhubung dengan jaringan listrik.

Contoh : Catu daya lampu lalu-lintas. Di Yogya digagas oleh mahasiswa UGM. 14 panel surya berjajar dengan daya 1500 Watt (*Media Indonesia*, 01-02-2006)

Sistem Panel Surya terkoneksi sistem jaringan tidak membutuhkan baterai, system dilengkapi dengan inverter yang berfungsi mengubah arus DC menjadi arus AC. Selanjutnya jaringannya terhubung dengan grid jaringan listrik umum. Skema dari system panel surya terkoneksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.10. Sistem panel surya tersambung ke jaringan listrik umum

Prospek Panel Surya Terkoneksi

Prospek panel surya terkoneksi mempunyai beberapa keuntungan antara lain siste modular, menghasilkan listrik AC, Pemakaian jangka panjang dan Harga per Watt energi. masih mahal namun demikian secara berangsur terus turun. Contoh harga produksi listrik dari panel surya: tahun 1976 \$55/Watt, Tahun 1996 \$10/Watt, tahun 2001 \$4/Watt, diperkirakan akan menjadi €20/Watt sebelum akhir tahun 2010.

2.3. Tenaga Angin

Tenaga angin merubah energi kinetik (energi arus) angin menjadi tenaga listrik.

Daya rata-rata tenaga angin dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P=\eta AV^3,.....(4.1)$$

Persamaan (4.1) sama dengan Persamaan (3.1) dalam bab 3. Karena pengaruh perkembangan teknologi turbin angin dewasa ini telah berhasil ditingkatkan efisiensinya dari rata-rata 30% menjadi 60%.

Adapun keunggulan dari energi angin adalah sebagai berikut:

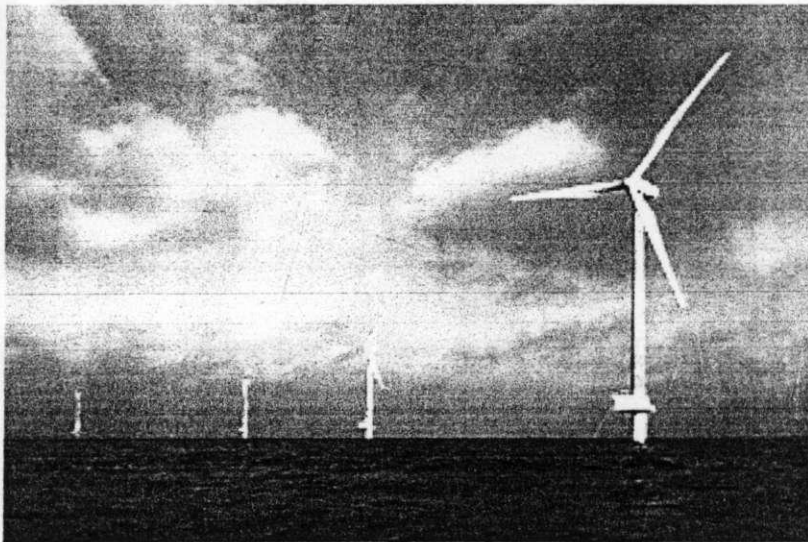
- Sumber energi global
- Bersaing dengan energi BBM
- biaya investasi \$1/W
- pembangunannya cepat
- tidak menimbulkan polusi
- Konstruksi dasar tiang menara kecil
- tidak berpengaruh terhadap tata guna lahan
- angin berhembus siang dan malam (bandingkan dengan matahari)

Beberapa kelemahan dari energi angin

- Bersifat regional
- Sumbernya bersifat intermiten
- Tidak dapat diprediksi dengan tepat
- Berpengaruh terhadap burung dan hewan terbang lainnya.

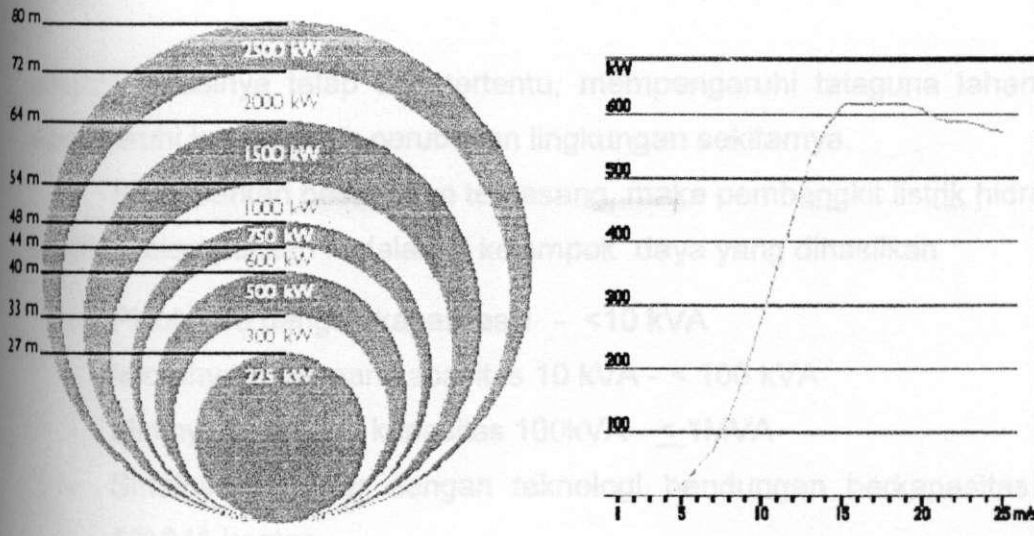
Perencanaan yang baik dalam konteks tata ruang dan landscaping wilayah pantai, dapat menjadi salah satu daya tarik wisata. Kawasan

seperti ini biasa dikenal dengan Wind Farm. Pengembangan seperti di atas dapat memberi keuntungan ganda bagi pemerintah daerah. Ketersediaan daya listrik yang melimpah, terbangun kawasan industri dan sekaligus menjadi daya tarik wisata.



Gambar 2.11 Windfarm di perairan pantai Denmark.

Menyinggung perihal teknologi yang ada, secara umum ada dua jenis turbin angin. Turbin sumbu vertikal dan turbin sumbu horizontal. Masing-masing jenis turbin angin mempunyai keunggulan dan kekurangan. Untuk tujuan memutar generator listrik, pada umumnya menggunakan turbin angin berporos datar. Daya listrik yang dihasilkan bergantung pada ukuran rotor dan tinggi menara.



(a)

(b)

Gambar 2.12 Hubungan antara tinggi menara turbin, kecepatan angin dengan daya listrik yang dibangkitkan

Besar kecilnya daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin bergantung pada tinggi menara turbin (Gambar 4.19 (a)). Besar kecilnya daya berbanding lurus dengan kecepatan angin (Gambar 4.19 (b)).

(Sumber: www.windpower.org)

2.4 Teknologi Energi Air

Prinsip kerja teknik pembangkit tenaga air adalah memanfaatkan potensi energi potensial dan energi kinetik air untuk memutar turbin. Selanjutnya turbin air memutar generator listrik. Teknologi pembangkit listrik energi air telah maju sangat pesat. Sistem penggerak generator tenaga air tidak lagi harus menggunakan bendungan yang mahal tetapi cukup menggunakan kanal-kanal pengarah dan turbin air yang mirip dengan turbin angin. Karena densitas dari molekul air yang tinggi, maka daya yang dihasilkan jauh lebih besar untuk luas penampang yang sama. Beberapa keunggulan pembangkit listrik tenaga air, diantaranya adalah: debit air dapat diprediksi dengan tepat, terbarukan dan bebas polusi. Adapun kelemahannya

2.2 Hubungan Karakteristik Tekanan Head dari tubuh air dengan teknologi turbin yang ada.

adalah: lokasinya tetap dan tertentu, mempengaruhi tataguna lahan dan dipengaruhi karakteristik perubahan lingkungan sekitarnya.

Berdasarkan besar daya terpasang, maka pembangkit listrik hidro dapat dikelompokkan kedalam 4 kelompok daya yang dihasilkan

- Picohydro dengan kapasitas 1 - <10 kVA
- Microhydro dengan kapasitas 10 kVA - < 100 kVA
- Minihydro dengan kapasitas 100kVA - $\leq$ 1MVA
- Smalhydro power dengan teknologi bendungan berkapasitas 1 – 10MVA keatas.

Pada lokasi pengamatan di Hulu Sungai Kampar Kiri, tiga jenis pembangkit yang pertama dapat dikembangkan dengan sangat layak. Banyak parameter yang mendukung untuk mewujudkan pengembangan tersebut. Diantara parameter parameter yang penting adalah :

- kontinuitas debit air yang relatif stabil di bagian hulu sungai.
- gradien atau kemiringan dasar sungai yang tinggi di hulu
- Daerah tangkapan air yang menjamin ketersediaan sumber air .

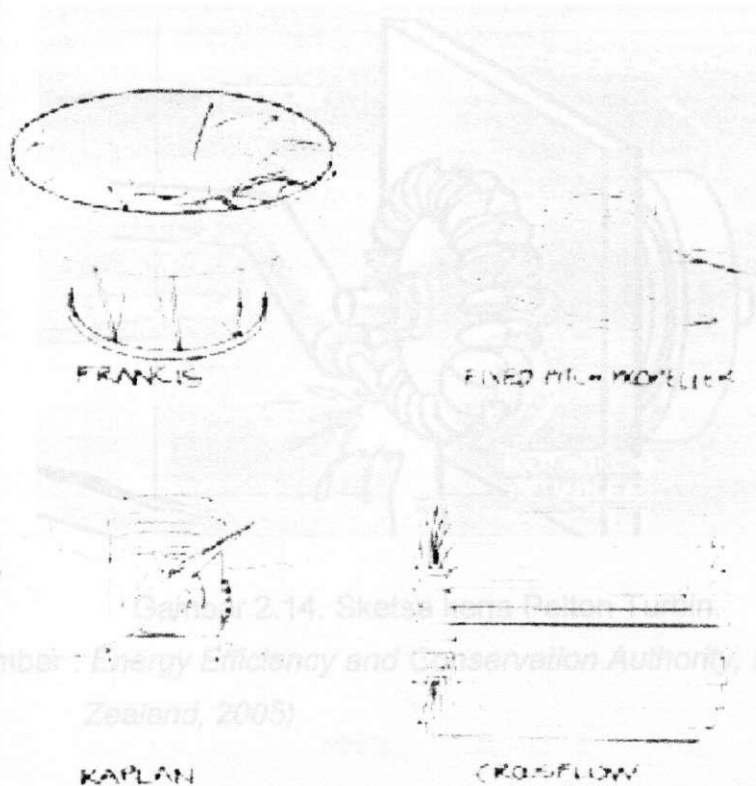
Teknologi sistem turbin air yang sesuai dengan potensi alam yang tersedia pada kelas pembangkit daya di bawah 10 MW dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut ini. Tabel jenis turbin air dan kelas tekanan daya air. Pada table dibawah ini disajikan teknologi turbin air yang sesuai dengan karakteristik aliran air sungai.

Gambar 2.13 Gambar beberapa bentuk turbin air

(Sumber : Energy Efficiency and Conservation Authority, New Zealand, 2005)

Tabel 2.9 Hubungan Karakteristik TekananHead dari tubuh air dengan teknologi turbin yang ada.

Klasifikasi dari Jenis Turbin: Sistem Turbine runner	Tekanan Head		
	Tinggi	Menengah	Rendah
IMPULSE	Single dan Multi jet turbin PELTON TURGO	Cross flow, Turgo atau Multi-jet Pelton	Cross-Flow
REAKSI		Francis	Propeller Kaplan atau



Gambar 2.13 Gambar beberapa bentuk turbin air

(Sumber : *Energy Efficiency and Conservation Authority, New Zealand, 2005*)

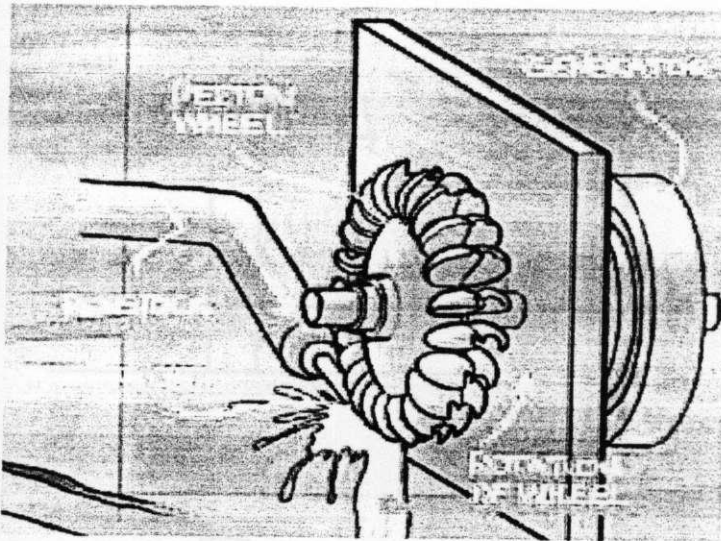
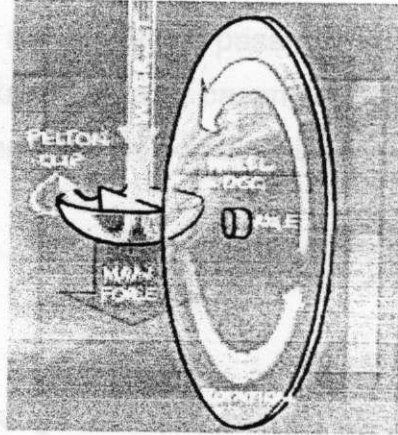
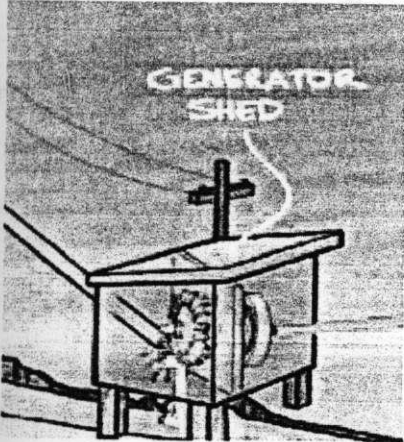
Tenaga air Pasang

Teknologi pemanfaatan air pasang sudah berkembang, dengan

desain yang disesuaikan pada kondisi aliran sungai dekat muara,

serta air pasang seperti hasil pengukuran yang telah diuraikan di Bab 4 di

ada luas penampang korong turbin dengan kedalaman



Gambar 2.14. Sketsa kerja Pelton Turbin.

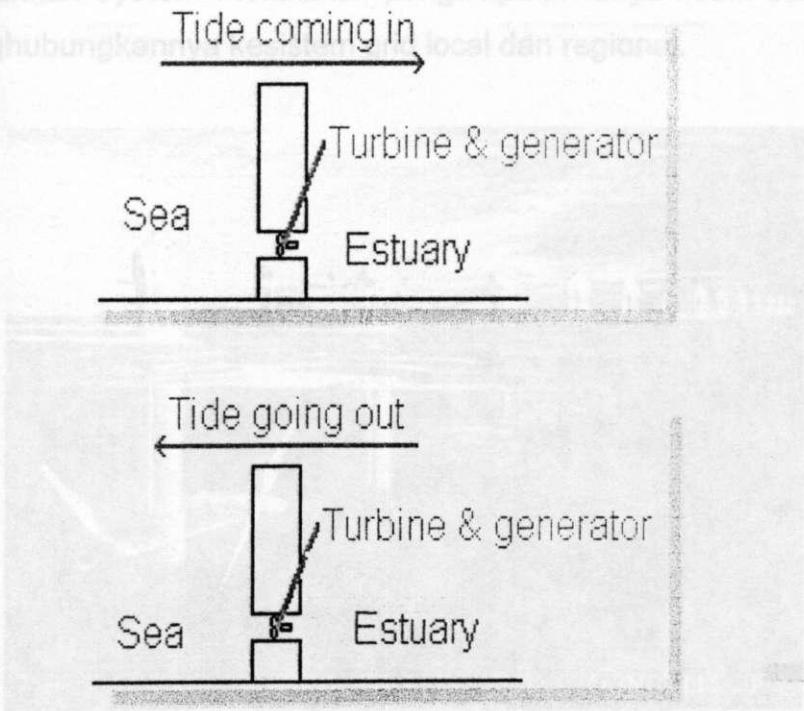
(Sumber : *Energy Efficiency and Conservation Authority, New Zealand, 2005*)

Gambar 2.14 Mekanisme tenaga pasang memutar turbin

2.5 Tenaga air Pasang

Teknologi pemanfaatan air pasang sudah berkembang, dengan berbagai desain yang disesuaikan pada kondisi aliran sungai dekat muara. Potensi air pasang seperti hasil pengukuran yang telah diuraikan di Bab 4 di dasarkan pada luas penampang terowongan turbin dengan kedalaman antara 3-5 meter tubuh air dan lebar gate 8 meter. Waktu pasang surut yang mempunyai durasi 12,5 jam menjadikan tenaga air pasang dan surut cukup potensial sebagai sumber energi pengganti. Berikut di lukiskan mekanisme bagaimana

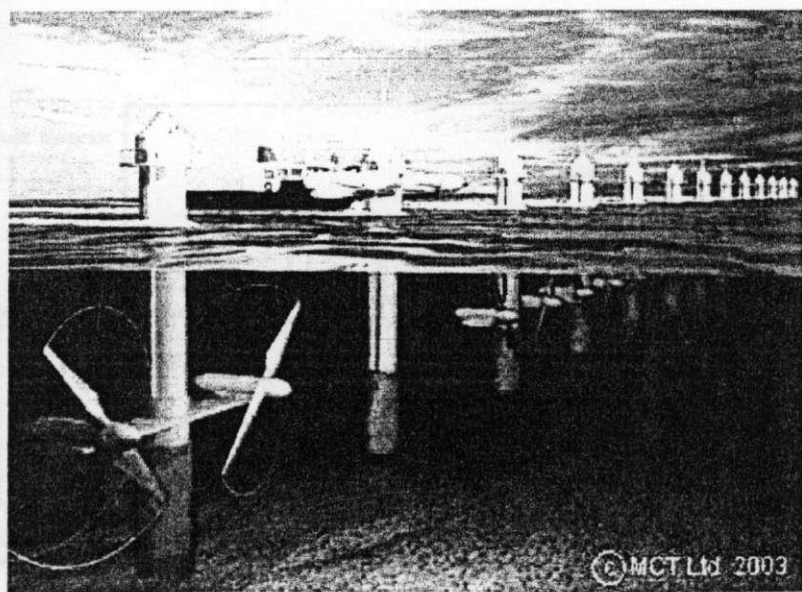
Gambar berikut memperlihatkan prototype dari turbin air modern yang aliran air pasang dan surut didekat muara sungai memiliki energi potensial yang begitu berarti.



Gambar 2.14 Mekanisme tenaga pasang memutar turbin generator.

Gambar atas memperlihatkan air pasang dari laut masuk ke muara. Sementara gambar di bawah memperlihatkan ketika air menuju surut dari hulu muara menuju laut. Peristiwa tersebut berlangsung selama 12.5 jam. Dalam sehari, artinya tersedia tambahan energi sebesar kapasitas terpasang generator pembangkit. Kelebihan suplai daya secara teknologi juga dapat disimpan untuk digunakan pada waktu permintaan daya listrik meningkat, terutama pada saat beban puncak. Dengan berkembangnya teknologi terbaru, pemanfaatan tenaga air pasang ini dikombinasikan dengan arus muara sungai. Dengan demikian, generator akan terus berputar 24 jam sehari.

Gambar berikut memperlihatkan prototype dari turbin air modern yang digerakkan oleh arus sungai dimuara dan arus pasang surut. Rotor turbin memutar sumbu gerak yang diteruskan ke menara di bagian atas dan ditransmisikan melalui system gear box. Teknologi sinkronisasi daya listrik memungkinkan system melakukan pengumpulan daya listrik berbeda fasa dan menghubungkannya kesistem grid local dan regional.

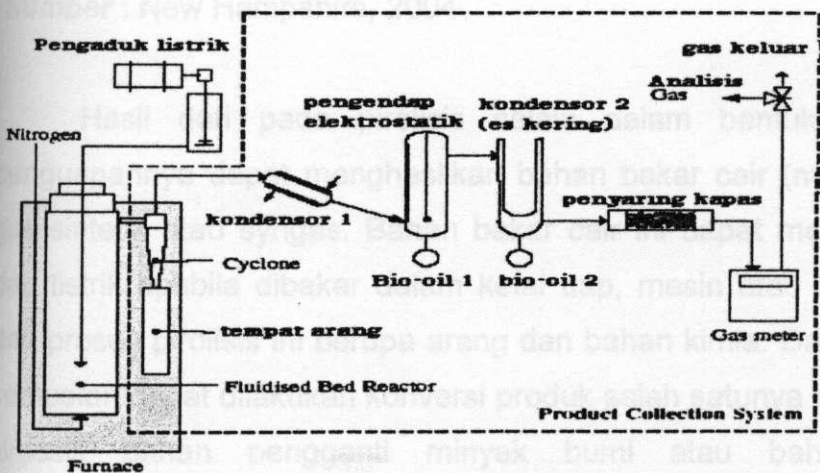


Gambar 2.15 Menara-menara turbin air di muara sungai, bekerja

memanfaatkan tenaga arus pasang surut dan arus normal di muara.

Selain dengan pyrolisis, biomassa dapat diolah dengan teknologi lain. Keunggulan teknologi tenaga pasang surut dan arus muara antara lain adalah: tidak menimbulkan polusi, daya yang dihasilkan dapat diperkirakan dengan tepat, tersedia 24 jam sehari dan efisiensinya besar dibandingkan tenaga angin. Sedangkan ketidakunggulan dari teknologi ini antara lain adalah investasi awal yang mahal untuk membangun instalasi daya dan biaya perawatan yang relatif tinggi. Sebagai ilustrasi, untuk membangun instalasi pembangkit daya dengan kapasitas 1085 MW membutuhkan nilai investasi sekitar 11 triliun rupiah atau sekitar 1,2 milyar dollar.

Demikian beberapa teknologi yang telah dan sedang berkembang yang telah digunakan dinegara-negara yang memiliki potensi yang mirip dengan yang ada pada dua wilayah kajian. Berpulang kepada pemilik otoritas dan pembuat kebijakan untuk folowup dan tindak lanjut dari kajian ini. Semua teknologi tersebut dapat dibangun dan dikembangkan oleh anak-anak negeri ini. Semoga apa yang menjadi dasar pemikiran kegiatan ini merupakan titik awal dari kemajuan dan keberhasilan pembangunan khususnya dalam sektor energi.



Gambar 2.16. Proses pirolisis untuk menghasilkan bio-oil

Selain dengan pirolisis, biomassa dapat diproses dengan pembakaran langsung dan gasifikasi. Jika dibandingkan dengan pembakaran langsung dan gasifikasi, produk yang berbentuk lebih banyak dihasilkan dari pirolisis. Pada dasarnya produk yang dihasilkan pirolisis tergantung pada suhu proses dan bahan baku yang digunakan. Semakin tinggi suhu untuk proses pirolisis cepat akan menghasilkan gas yang semakin meningkat, air yang dihasilkan rata-rata konstant dan arang yang dihasilkan akan turun dengan meningkatnya suhu. Maksimum untuk cairan bio-oil 61,3% dan 72,4% berlangsung pada suhu 500°C. Gas yang meningkat lebih cepat bersamaan dengan naiknya suhu adalah karbondioksida, karbonmonoksida dan metana (Abdullah dan Gerhauser, 2008).

Tabel 2.10. Perbandingan produk yang dihasilkan dari konversi biomassa secara termodinamik

Proses	Liquid	Arang	Gas
Pyrolisis	75%	12%	13%
Pembakaran Langsung	30%	35%	35%
Glasifikasi	5%	10%	85%

Sumber : New Hampshire, 2004

Hasil dari pada pirolisis selalu dalam bentuk gas, dan hasil penguapannya dapat menghasilkan bahan bakar cair (minyak), arang dan gas sintetis atau syngas. Bahan bakar cair ini dapat menghasilkan panas dan listrik apabila dibakar dalam ketel uap, mesin atau turbin. Produk lain dari proses pirolisis ini berupa arang dan bahan kimia. Dari hasil pirolisis ini kemudian dapat dilakukan konversi produk salah satunya untuk kepentingan sintesis bahan pengganti minyak bumi atau bahan-bahan kimia (Heriansyah, 2005).