BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemakaian Sumber Energi Berbasis Biomassa

Biomassa dapat dipakai sebagai sumber energi selayaknya bahan bakar batubara. Kandungan energi volumetrik biomassa mencapai 20–50% dari batubara. Biomassa adalah produk hayati berupa material organik padat yang bersiklus pendek seperti tumbuhan dan hewan serta limbah budidayanya. Sumber energi biomassa telah dipakai oleh manusia untuk memasak dan menghangatkan diri sejak 500.000 S.M. (Boyle, 2004).

Produk-produk konversi energi berbasis biomassa dikenal dengan nama bioenergi. Jenis-jenis bioenergi yang diperoleh melalui konversi kimia-termal, konversi kimia-biologis, dan konversi kimia-fisik adalah bahan bakar hayati *(biofuels)*, listrik biomassa *(biomass based electricity)* dan kalor untuk pengering (kalor *dendrothermal*). Gambar 2.1. menunjukkan jalur-jalur konversi energi untuk menghasilkan bioenergi.

Sumber-sumber biomassa yang umum sebagai sumber energi, yaitu (Brown, 2003, Soerawidjaja, 2005, *Asian Biomass Handbook*, 2008):

1) Tanaman khusus energi

   Tanaman hijau yang bisa dipanen setiap tahun. Berumur 2-3 tahun untuk produktifitas penuh. Contoh: tanaman semak, rumput gajah, bambu, tebu, dan tanaman gandum.

2) Pohon khusus energi

   Berupa pohon hibrida berkayu keras dan bersiklus pendek, cepat tumbuh (*fast growing*) dan dapat dipanen umur 5-8 tahun.

3) Tanaman industri

   Tanaman yang menghasilkan material atau bahan kimia khusus untuk industri. Contoh: kenaf dan jerami untuk serat optik dan pohon jarak kastor untuk asam *ricinoleic*.

4) Tanaman pertanian penghasil cadangan makanan

   Tanaman yang menghasilkan gula, minyak dan bahan-bahan pangan serta dapat juga menghasilkan plastik dan bahan-bahan kimia. Contoh: tepung jagung dan minyak jagung, minyak dan bahan makanan dari kacang kedelai, tepung terigu, dan minyak sayur lainnya.

5) Tanaman air

   Sumber daya biomassa air seperti ganggang, rumput laut, dan mikroflora laut.

6) Sisa-sisa tanaman pertanian

   Batang dan daun yang dibuang dari ladang karena alasan komersil. Contoh: sisa jagung (batang, daun, kulit buah dan tongkol jagung), jerami padi dan jerami gandum.

7) Sisa-sisa hasil hutan.

   Bahan-bahan yang dibuang dari lokasi pengolahan kayu. Contoh: batang dan ranting serta tunggul-tunggul kayu dari proses tebang pilih untuk perawatan pohon.

8) Sampah perkotaan.

   Sampah-sampah rumah tangga dan limbah pasar yang berasal dari material organik. Contoh: kertas bekas, kardus, sampah kayu dan sampah di halaman rumah.

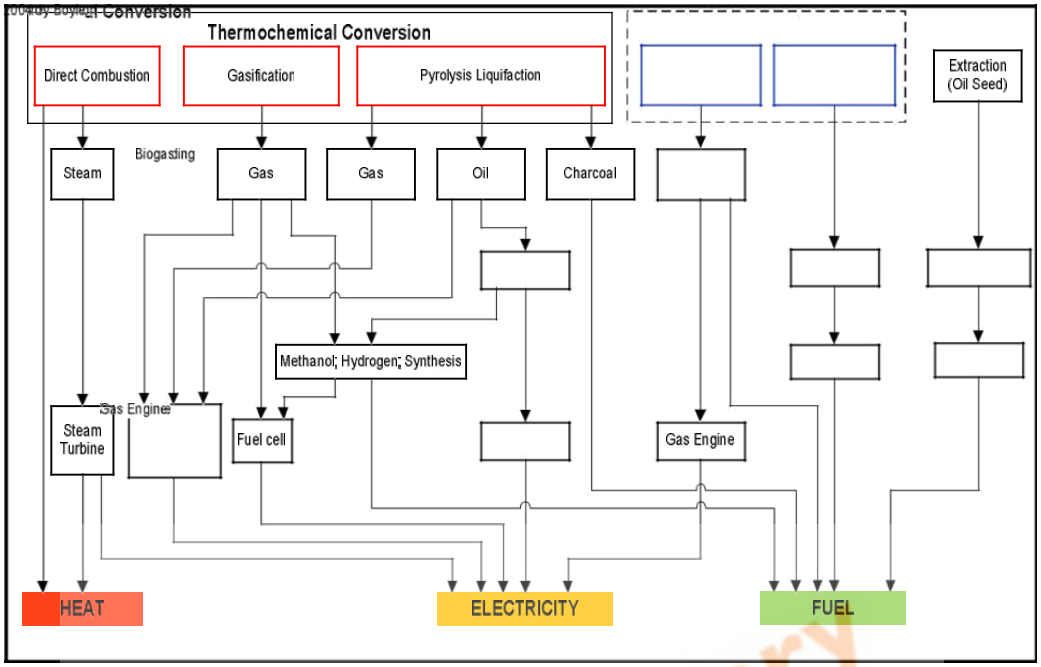
9) Sisa pengolahan biomassa.

   Semua pengolahan biomassa menghasilkan limbah. Contoh: pemrosesan kayu untuk *pulp* atau produk lainnya yang menghasilkan sisa gergajian dan tumpukan kulit kayu, ranting-ranting, daun-daun dan biji-bijian.

10) Kotoran hewan.

    Peternakan dan operasi pemrosesan hewan menghasilkan limbah material organik kompleks. limbah ini dapat digunakan untuk membuat berbagai produk termasuk energi.

itenas library



Gambar 2.1. Jalur Konversi Biomassa Menjadi Energi (Boyle,2004)

Jenis bioenergi berupa bahan bakar hayati *(biofuels)* sudah umum dipakai untuk pemenuhan energi di berbagai sektor. Produk *biofuels* dapat berupa bahan bakar cair, bahan bakar gas dan bahan bakar padat. Potensi peralihan bahan bakar fosil ke *biofuels* ditampilkan tabel 2.1.

Tabel 2.1 Potensi Peralihan Bahan Bakar Fosil ke *Biofuels*

Bahan Bakar Berbasis Fosil	**Bahan Bakar Berbasis Biomassa**
Kerosin	Biokerosin
Avtur	Bioavtur
Bensin	Bioetanol
Minyak Diesel (*ADO*)	Biodiesel
LPG, CNG, dll	Biogas, syngas
Minyak bakar	Minyak-lemak nabati
Batubara	Lignoselulosa (kayu, bagas, jerami, dll)
Sumber: Soerawidjaja, 2003	

Bahan bakar cair dapat berupa SVO/PPO, bioavtur, biokerosin, bioetanol, biodiesel, *green diesel*, *green gasoline*, *green jet-fuel* dan *bio-oil*.

Bahan bakar gas dapat berupa biogas (54%-CH_4) dan berupa gas

sintesis (syn-gas) yang dapat digunakan secara langsung seperti bahan bakar gas lainnya.

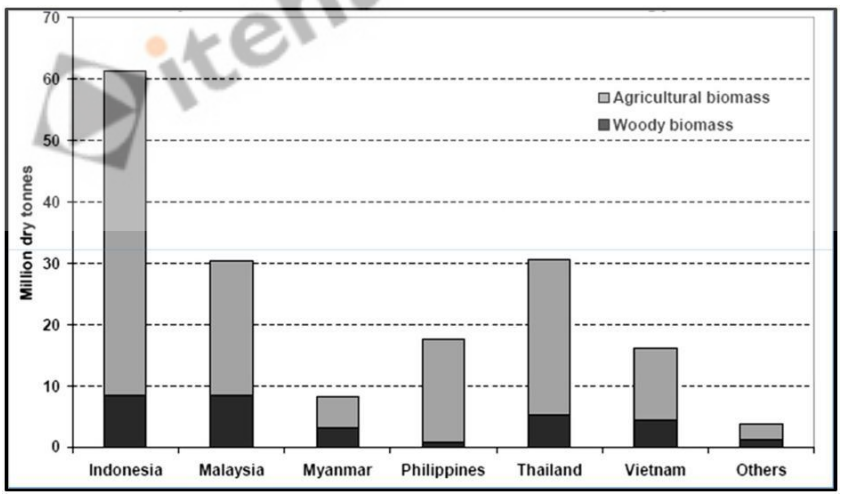
Bahan bakar padat berupa arang yang dapat digunakan untuk pembuatan briket atau dibakar langsung untuk pemanas.

2.2. Pemanfaatan Sumber Energi Biomassa Di Indonesia

Indonesia berkawasan luas 1,3% muka bumi dan terdiri dari ±191 juta hektar luas daratan dan ±317 juta hektar teritori laut. Indonesia memiliki ±6.000 pulau yang berpenduduk dari total 13.000-17.000 pulau dan bergaris pantai ±81.000 km, terpanjang di dunia.

Setiap pulau memiliki potensi sumber biomassa yang beragam jenis dan berlimpah jumlahnya. Indonesia merupakan negara yang memiliki kapasitas biomassa terbesar di ASEAN seperti ditampilkan pada gambar 2.2 (Saku Rantanen (Pöyry), 2009).

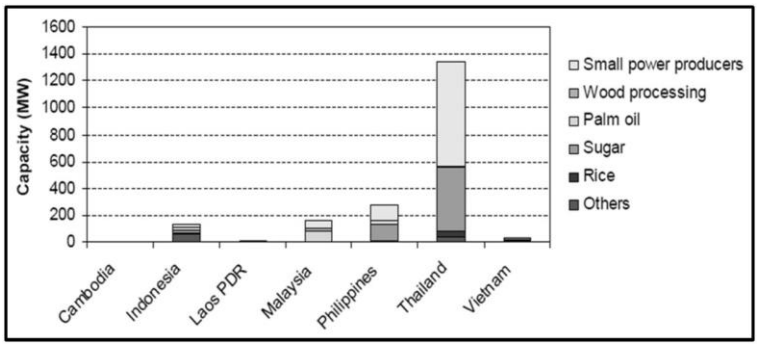
itenas library



Gambar 2.2. Grafik Ketersediaan Biomassa Indonesia di ASEAN

Kekayaan alam berupa biomassa yang berlimpah ini belum terkelola secara optimal. Pemanfaat biomassa di Indonesia masih sangat rendah

dibandingkan dengan negara-negara lain di ASEAN seperti ditampilkan gambar 2.3 (Saku Rantanen (Pöyry), 2009).



Gambar 2.3. Grafik Pemanfaatan Biomassa Indonesia di ASEAN

Faktor ketersediaan biomassa sebesar 85% setara dengan panas bumi dan merupakan yang tertinggi untuk sumber ET di Indonesia seperti ditampilkan tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor Ketersediaan Listrik Berbasis EBT

Sumber Energi Terbarukan	Faktor Ketersediaan (%)
Biomassa	≥ 85
Panas Bumi	≥ 85
Arus Laut	≥ 75
Hidro	≈ 50
Gelombang	≈ 50
Surya	≈ 40
Angin	≈ 30
Sumber: EBTKE, 2010 & Soerawidjaja, 2010	

Kapasitas biomassa yang sudah termanfaatkan relatif masih rendah dibandingkan dengan potensi yang tersedia. Kapasitas terpasang biomassa tidak lebih dari 15% dari potensi yang tersedia seperti ditampilkan tabel 2.3.

Berdasarkan tabel 2.4, proyeksi harga produksi listrik dari sumber ET yang paling rendah adalah dari sumber energi hidro (skala besar), diperkirakan mencapai є30-130/MWh tahun 2020 dan sekitar є30-140/MWh tahun 2030. Sedangkan, proyeksi harga produksi listrik tertinggi adalah dari

Kemenas library

potovoltaik (PV), diperkirakan sebesar є270-460/MWh tahun 2020 dan sekirtar є170-300/MWh tahun 2030. Sementara itu, proyeksi harga produksi listrik dari biogas mencapai є50-200/MWh tahun 2020 dan є50-190/MWh tahun 2030. Sedangkan dari biomassa padat mencapai є85-200/MWh tahun 2020 dan є85-205/MWh tahun 2030.

Tabel 2.3 Potensi Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia

No	Sumber Energi	Potensi	Kapasitas Terpasang
1	Panas Bumi	16.502 MW	1.341 MW (mei 2013)
2	Hidro	75.000 MW	7.059 MW
3	Mini-mikrohidro	769,7 MW	512 MW
4	Biomassa	13.662 MW	1.364 MWe 75,5 MWe (on grid)
5	Energi Surya	4,80 kWh/m^2/hari	42,78 MW
6	Energi Angin	3-6 m/s	1,33 MW
7	Uranium	3.000 MW	30 MW
8	Gas Metana Batubara	453 TSCF	-
9	Shale Gas	574 TSCF	-
10	Samudra	49.000 MW	10 MW
Sumber: Ditjen EBTKE, 2013			

Perbandingan biaya produksi listrik dari berbagai sumber daya energi ditampilkan tabel 2.4.

Tabel 2.4 Biaya produksi listrik berbagai sumber energi

Teknologi	(є/MWh) 2007	(є/MWh) 2020	(є/MWh) 2030
Biogas	55-215	50-200	50-190
Biomassa Padat	80-195	85-200	85-205
Surya PV	520-880	270-460	170-300
Angin, di darat	75-110	55-90	50-85
Angin, lepas-pantai	85-140	65-115	50-95
Hidro, kecil	60-185	55-160	50-145
Hidro, besar	35-145	30-140	30-130
Nuklir	50-85	45-80	45-80
Gas (PLTGU)	50-60	65-75	70-80
Batubara (Serbuk)	40-50	65-80	65-80
Sumber: Komisi Eropa, 2008, Canton dan Linden, 2010, Soerawidjaja, 2010			

RUEN Indonesia tahun 2016-2025 menargetkan pembangunan pembangkit listrik dari biomassa sebesar 5,5 GW, dimana, sumbernya terdiri dari *Biofuel* sebesar 0,7 juta kL dan sisanya langsung dari biomassa.

Program pemanfaatan biomassa dan EBT ini sejalan pula dengan peraturan pemerintah Indonesia, diantaranya:

- Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006 tentang kontribusi EBT,
- Permen ESDM no. 25/2013 tentang mandatori BBN,
- Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional,
- Perpres 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN),
- Target bauran energi primer dari EBT mencapai 23% pada tahun 2025 (KEN),
- Target penurunan emisi global pasca 2020 sebesar 29% dari skenario *Busines as Usual (BAU)* pada tahun 2030 *(UNFCCC, 2017)*,
- Target penyediaan energi primer dari EBT sebesar 23% (92,2 MTOE) dari 400 MTOE perkiraan kebutuhan energi primer nasional tahun 2025 (RUEN, 2017).

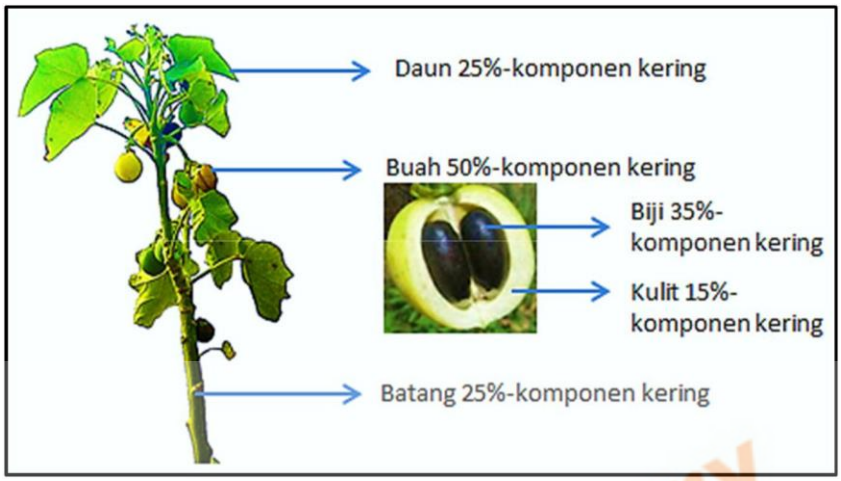
itenas library

2.3. Sumber Daya Energi Biomassa Tanaman Jarak Pagar

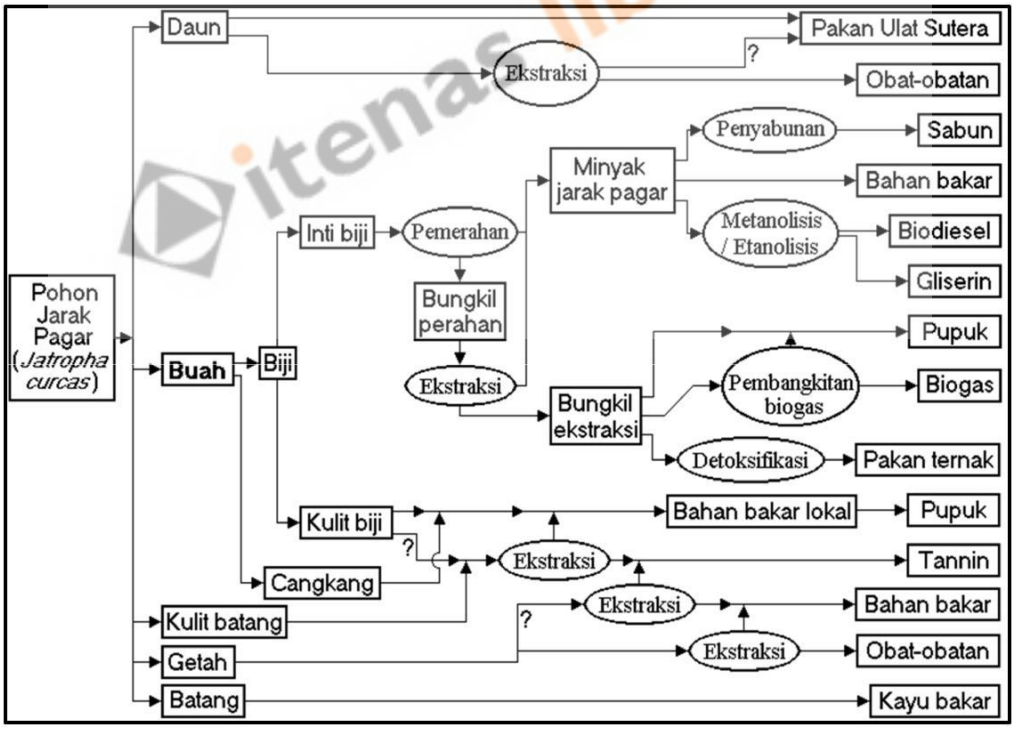
Pemenuhan energi dunia saat ini mengarah pada pemanfaatan sumber daya EBT yang dapat diandalkan, berjangka panjang, dan ramah lingkungan. Indonesia memiliki beragam tumbuhan, terdiri dari ±800 spesies tanaman pangan, ±1.000 spesies tanaman obat serta ribuan spesies *microalgae* (Soerawidjaja, 2003).

Salah satu tanaman yang dapat tumbuh dan berproduksi baik di Indonesia adalah tanaman jarak pagar. Identifikasi produk-produk potensial dari tanaman jarak pagar telah banyak dipublikasikan. Komponen produk

potesial dari tanaman jarak pagar untuk menghasilkan berbagai jenis bioenergi ditampilkan pada gambar 2.4 (a),(b).



(a) Komponen Tanaman Jarak Pagar



b) Aneka Rute Produksi dari Jarak Pagar (Soerawidjaja, 2003)

Gambar 2.4 Produk potensial dari Tanaman Jarak Pagar

itenas library

2.3.1. Tanaman Jarak Pagar *(Jatropha Curcas L)*

Tanaman jarak pagar atau *jatropha curcas* adalah tanaman tahunan yang menghasilkan biji berminyak. Tanaman ini terdapat di seluruh pelosok Indonesia tetapi pemananfaatannya sebagai penghasil bioenergi masih terhambat dan belum optimal.

Tanaman jarak Pagar dapat tumbuh di daerah kering dan hanya membutuhkan sedikit air sehingga sanggup bertahan hidup pada musim kering yang lama. Tanaman jarak pagar dapat tumbuh di tanah-tanah dangkal berkerikil, berpasir dan liat. Tanaman jarak pagar dapat tumbuh pada ketingggian 0-1.000 meter di atas permukaan laut pada suhu 11-38 ^{O}C.

Di Indonesia, produksi jarak pagar per hektar per tahun dapat mencapai 4-5 ton-biji kering/ha untuk usia tanaman 1-2 tahun. Produksi ini menghasilkan 1-1,25 ton minyak mentah dan 3-3,75 ton bungkil minyak. Gambar 2.5 menampilkan gambar pohon jarak pagar dan gambar 2.6 menampilkan buah jarak pagar.

Jarak pagar dapat tumbuh lebih baik dan berproduksi secara optimal pada tanah lempung berpasir dan pada curah hujan 900-1.200 mm/tahun dan dapat tumbuh baik pula pada curah hujan 250 mm/tahun (N. Foidl, 1997).

Tanaman jarak pagar toleran terhadap pH tanah masam atau alkalin serta dapat bertahan hidup dari kekurangan fosfat (Gubitz, 1997).

Di Nicaragua, pada *pilot plant* 1.000 ha dengan kerapatan tanaman 1.111 pohon per hektar diperoleh produksi buah segar sebanyak 33.333,33 ton/tahun (Foidl, 1997, Eder, 1997).

Biji kering hasil panen yang diperoleh sebanyak 5.000 ton/tahun setelah tanaman jarak pagar berumur 5 tahun (Gubitz, 1997).

itenas library

Gambar 2.5 Pohon Jarak Pagar

Gambar 2.6 Buah Jarak Pagar

2.3.2. Komposisi Kimia Buah Jarak Pagar

a) Kulit Buah Jarak Pagar

Buah jarak pagar terdiri dari 71% bagian kulit luar (cangkang) dan 29% bagian biji dan setiap 3,45 kg buah mengandung 1 kg biji. Cangkang buah jarak pagar merupakan bahan baku yang baik untuk konversi biologis dan untuk briket. Cangkang buah jarak pagar mengandung kadar abu yang tinggi. Kandungan abu yang tinggi secara proporsional dapat mengurangi kandungan energi yang terdapat pada cangkang buah jarak pagar. Kondisi ini menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan jenis teknologi konversi energi yang digunakan untuk menghasilkan energi dari cangkang buah jarak pagar. Gambar 2.7 menampilkan kulit buah jarak pagar.

Terdapat beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan untuk pemanfaatan kulit buah jarak pagar menjadi bioenergi. Penelitian-penelitian tersebut seperti untuk *briquetting* dan pembakaran (Singh, 2008), pirolisis (Robert, 2009) dan bio-methanasi (Sotolongo, 2009).

Cangkang buah jarak pagar terdiri dari 34% selulosa, 10% hemiselulosa dan 12% lignin serta 69% bahan volatil, 15% abu dan 16% kandungan karbon tetap (Singh, 2008, Abreu, 2009).

Titik lebur abu berada pada suhu di atas 750 ^{O}C dan nilai kalor dari kulit buah jarak pagar adalah 11,1 MJ/kg (Sotolongo, 2009).

Gambar 2.7 Kulit buah Jarak Pagar

b) Biji Jarak Pagar

Buah jarak pagar berbentuk bulat dan rata-rata mengandung 3 biji per buah. Bentuk biji jarak pagar bulat memanjang dan berwarna hitam. Biji jarak pagar rata-rata berukuran 18 mm x 11 mm x 9 mm dengan berat 0,62 gram per biji kering. Biji jarak pagar terdiri atas 58,1 %-b inti atau daging dan 41,9 %-b kulit. Hasil panen biji bisa mencapai 4 ton biji/ ha/ tahun dan dapat menghasilkan minyak biji mencapai 1.590 kg/ha/tahun.

Biji yang matang mengandung 21% asam lemak jenuh dan 79% asam lemak tak jenuh (Trabi, 1998). Tabel 2.5. menampilkan komposisi inti biji jarak pagar.

Tabel 2.5. Komposisi inti biji jarak pagar (Trabi,1998)

Material	Inti biji
Bahan kering (%)	94,2– 96,9
Komponen (%-b kering),	
Protein kasar	22,2– 27,2
Lipid (minyak-lemak)	56,8– 58,4
Abu	3,6– 4,3
Serat deterjen netral	3,5– 3,8
Serat deterjen asam	2,4– 3,0
Lignin deterjen asam	0,0– 0,2
Nilai kalor bruto, MJ/kg	30,5– 31,1

itenas library

c) Kulit Biji Jarak Pagar

Informasi dan literatur tentang penggunaan kulit biji jarak pagar untuk keperluan energi masih sangat terbatas. Komposisi kulit biji jarak pagar ditampilkan tabel 2.6.

Tabel 2.6 Komposisi Kulit Biji Jarak Pagar (Trabi,1998)

Material	Kulit biji
Bahan kering (%)	89,8– 90,4
Komponen (%-b kering)	
Protein kasar	4,3– 4,5
Lipid (minyak-lemak)	0,5– 1,4
Abu	2,8– 6,1
Serat deterjen netral	83,9– 89,4
Serat deterjen asam	74,6– 78,3
Lignin deterjen asam	45,1– 47,5
Nilai kalor bruto, MJ/kg	19,3– 19,5

Biji Jarak Pagar mengandung sekitar 42% kulit biji (sekam) dan 58% inti biji. Dari sifat fisiknya, kulit biji jarak pagar dinilai layak dijadikan briket untuk bahan bakar padat dan sebagai bahan baku proses gasifikasi untuk mendapatkan bahan bakar syngas. Kulit biji jarak pagar ditampilkan gambar 2.8.

(a) Biji (b) Biji Kupas (c) Inti Biji (d) Kulit Biji Gambar 2.8 Kulit biji Jarak Pagar *(Own Photograph)*

Kulit biji mengandung 4% abu, 71% bahan *volatil* dan 25% karbon tetap (Singh, 2008 dan Narra, 2009).

itenas library

d) Bungkil Minyak Jarak Pagar

Bungkil minyak jarak pagar merupakan ampas pemerahan minyak biji jarak pagar. Setiap liter minyak diperoleh melalui proses ekstraksi atau pemerahan sekitar 4 kg biji jarak pagar yang menghasilkan ampas bungkil 3 kg. Bungkil minyak ini terdiri dari kandungan 42% inti biji dan 58% kulit biji.

Kandungan minyak yang tersisa di bungkil tergantung dari efisiensi ekstraksi atau pemerahan dan kandungan minyak rata-rata biji jarak pagar. Bungkil masih mengandung minyak sekitar 9-12% berat dan dapat mempengaruhi nilai kalor bungkil. Bungkil minyak jarak pagar hasil pemerahan mekanik ditampilkan gambar 2.9.

Bungkil pemerahan minyak merupakan komposisi nutrisi seimbang untuk fermentasi anaerobik menghasilkan gas metana (biogas). Bungkil pemerahan minyak jarak pagar dapat memiliki rasio COD:N:P sebesar 17,7:1:1 dan nilai kalor sekitar 18,2 MJ/kg (Staubmann., Foidl., Gubitz.,

1997). Tabel 2.7 menampilkan data-data komposisi bungkil minyak biji jarak pagar.

Gambar 2.9 Bungkil Minyak Jarak Pagar *(Own Photograph)*

Tabel 2.7. Komposisi Bungkil Minyak Biji Jarak Pagar (Trabi,1998)

Material	**Bungkil**
Bahan kering (%)	100
Komponen (%-b kering)	
Protein kasar	56,4– 63,8
Lipid (minyak-lemak)	1,0– 1,5
Abu	9,6 – 10,4
Serat deterjen netral	8,1– 9,1
Serat deterjen asam	5,7– 7,0
Lignin deterjen asam	0,1– 0,4
Nilai kalor bruto, MJ/kg	18,0– 18,3

Kenas library

Produksi biogas bungkil minyak jarak pagar dengan konversi kimia biologi melalui pencernaan anaerobik telah dilakukan dalam beberapa penelitian terkait oleh Reksowardojo dan Soerawidjaja, 2008, Singh, 2008, dan Steiner, 1997. Komposisi suspensi bungkil minyak jarak pagar ditampilkan tabel 2.8.

Tabel 2.8 Komposisi Bungkil Minyak (Foidl, Gubitz, 1997)

Komponen	Nilai
Total nitrogen (g/l)	1,65
Dry Weight (g/l)	28,9
Chemical Oxygen Demand (COD) (g/l)	29,2
Organic Dry Material (g/l)	22,5
Total Phospate (g/l)	1,73

e) Minyak Jarak Pagar

Minyak merupakan produk akhir yang paling berharga dari tanaman jarak pagar yang dihasilkan dari inti biji buah. Minyak jarak pagar berwujud cairan bening berwarna kuning dan tidak menjadi keruh sekalipun disimpan dalam jangka waktu lama. Minyak jarak pagar beracun sehingga dikategorikan sebagai minyak non-pangan. Minyak jarak pagar dinilai memiliki karakteristik fisik yang cocok untuk dijadikan sebagai bahan bakar pengganti minyak solar. Komposisi dan karakteristik fisik minyak ditampilkan tabel 2.9.

itenas library

Tabel 2.9. Komposisi dan karakteristik fisik minyak jarak pagar

Asam lemak	Jarak pagar	Atribut	Jarak pagar
Miristat (14:0)	0 – 0,1	Kadar minyak	48– 58
Palmitat (16:0)	14,1 – 21,8	Berat jenis (25°C)	0,91 – 0,93
Stearat (18:0)	3,7 – 9,8	Index bias (30°C)	1,4650
Arakhidat (20:0)	0 – 0,3	Angka iodium	97 – 102
Behenat (22:0)	0 – 0,2	Angka penyabunan	195,0
Palmitoleat (16:1)	0 – 1,3	Nilai kalor, MJ/kg	39,6 – 41,8
Oleat (18:1)	34,3 – 49,0	Nilai kalor, MJ/ltr	43,0 – 45,4
Linoleat (18:2)	27,2 – 44,2	Sumber: Banerji dkk, 1985	
Linolenat (18:3)	0 – 0,3		

Tabel 2.10. Sifat fisik dan kimia minyak jarak pagar (Gübitz, 1997)

Parameter	Satuan	Minyak Mentah Jarak Pagar
Densitas @ 15°C	g cm^{-3}	0.920
Viskositas @ 30°C	cSt	52
Titik pijar	^{0}C	240
Bilangan penetralan	mg g^{-1}	0.92
Abu tersulfatkan	%m/m	-
Bilangan setana	-	23 – 41
Residu karbon	%m/m	-
Kandungan alkil	%m/m	-
Monogliserida	%m/m	tak terdeteksi
Digliserida	%m/m	2.7
Trigliserida	%m/m	97.3
Metanol	%m/m	-
Air	%m/m	0.07
Total gliserol	%m/m	-

Tabel 2.11. Sifat-Sifat Bahan Bakar dari Minyak Nabati

Minyak	Massa jenis 20 ^{O}C, kg/liter	Visk. kinem. 20 ^{O}C, cSt	Hc, MJ/kg	Angka setana	Titik awan/ kabut,^{O} C.	Titik tuang,^{O}C
Kelapa	0,915	30	37,10	40 – 42	28	23 – 26
Jarak pagar	0,920	77	38,00	23 – 41	2	-3
Kacang	0,914	85	39,30	30 – 41	9	-3
Kedelai	0,920	61	37,30	30 – 38	-4	-20
Solar	0,830	6	43,80	50	-9	-16
Sumber : Vaitilingom, G, A. Liennard, 1997 dan G.M. Gübitz, M. Mittelbach, M. Trabi, 1997						

Kadar minyak biji utuh kering sebesar 25-35% dan kadar minyak daging biji (*kernel*) kering sebesar 40-50%. Sifat kimia-fisik minyak jarak pagar memiliki kemiripan dengan minyak kacang tanah, minyak kedelai dan minyak kelapa.

itenas library

Sifat kimia-fisik minyak jarak pagar ditampilkan tabel 2.10 dan perbandingan sifat-sifat minyak jarak pagar dengan minyak nabati lain dan bahan bakar minyak solar ditampilkan tabel 2.11.

2.4. Bahan Bakar Untuk Motor Diesel

Bahan bakar motor diesel terutama dikehendaki memiliki viskositas yang rendah sehingga dapat dikabutkan dengan baik oleh nosel dan dapat terbakar sesegera mungkin sejak disemprotkan (*injection*).

Di Indonesia, terdapat beberapa jenis dan merk produk bahan bakar yang umum digunakan untuk motor diesel seperti: minyak solar (ADO), Minyak diesel, Biosolar, Biodiesel, Pertamina DEX, MFO, MDF, dan lainnya. Pemilihan dan pemakaian bahan bakar disesuaikan dengan spesifikasi motor diesel penggunanya.

Di Indonesia, untuk membatasi polusi gas buang yang ditimbulkan pembakaran motor bakar genset diterapkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 21 Tahun 2008 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pembangkit Tenaga Listrik Termal, seperti pada tabel 2.12.

Table 2.12. Standar Emisi Gas Buang PLTD (KLH 21/2008)

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm^3)	
		Minyak	Gas
1.	Total Partikulat	150	30
2.	Karbon Monoksida (CO)	600	500
3.	Nitrogen Oksida (NOx) sebagai NO_2	1000	400
4.	Sulfur Dioksida (SO_2)	800	150
5.	Opasitas	20 %	-

Catatan :
1. Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer).
2. Opasitas digunakan sebagai indikator praktis pemantauan.
3. Semua parameter dikoreksi dengan O_2 sebesar 13% dalam keadaan kering kecuali opasitas.
4. Pemberlakuan baku mutu emisi untuk 95% waktu operasi normal selama 3 (tiga) bulan.

itenas library

2.4.1. Minyak Solar/ HSD/ ADO

Minyak Solar/ *High Speed Diesel (HSD)*/ *Automotive Diesel Oil (ADO)* merupakan bahan bakar minyak jenis solar. Bahan bakar ini umumnya digunakan untuk mesin putaran sedang dan putaran tinggi.

Unsur utama yang terdapat dalam cairan merupakan senyawa hidrogen dan karbon atau hidrokarbon. Minyak diperoleh dari penyulingan minyak bumi. Unsur penyusun minyak solar (ADO) adalah parafin atau alkana dengan berat molekul 200 – 300 kg/kmol dan berantai karbon C_{13}–C_{17} (Arismunandar, 2004). Spesifikasi minyak solar ditampilkan tabel 2.13.

Tabel 2.13. Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Solar Indonesia

No.	Karakteristik	Satuan	SNI Minyak Solar 48		Metoda Uji
			Min.	Max.	ASTM
1	Bilangan Setana		48	-	D613
	Indeks Setana		45	-	D4737
2	Berat Jenis @50°C	kg/m^3	815	860	D4052/D1298
3	Viskositas @40°C	mm^3/s	2,0	4,5	D445
4	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35$^{1)}$ 0,30$^{2)}$ 0,25$^{3)}$ 0,05$^{4)}$ 0,005$^{5)}$	D4294/D5453/ D4294/D7030
5	Distilasi:90% vol. Penguapan	^{O}C	-	370	D86
6	Titik Nyala	^{O}C	52	-	D93
7	Titik Tuang	^{o}C	-	18	D97
8	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D4530/D189
9	Kandungan Air	mm/kg	-	500	D6304
10	Biological Growth	-	Nihil		
11	Kandungan FAME	% v/v	-	-	-
12	Kandungan Metanol	% v/v	Tak Terdeteksi		D4815
13	Korosi Bilah Tembaga	menit	-	Klas I	D130
14	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D482
15	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D473
16	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	-	0	D664
17	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0,6	D664
18	Partikulat	Mg/l	-	-	D2276
19	Penampilan Visual		Jernih dan terang	-	-
20	Warna	No. ASTM	1	3,0	D1500
21	Lubricity HFRR scar dia. @60 ^{O}C	micron	-	460$^{6)}$	D6079
(SK Dirjen Minyak dan Gas Bumi No. 28.K/10/DJM.T/2016)					

Spesifikasi standar dan mutu bahan bakar minyak solar di Indonesia memiliki berat jenis 0,815-0,870 kg/liter dan memiliki angka setana 45-48

Itenas library

serta titik nyala minimal 52 ^{O}C dengan nilai kalor minyak solar mencapai 41,6 MJ/kg.

2.5. Bahan Bakar *SVO (Straight Vegetable Oil)*

Sebelum ADO berbasis minyak fosil digunakan sebagai bahan bakar motor diesel, *Rudolf Diesel* pada awalnya menggunakan minyak kacang tanah (*peanut oil*) untuk bahan bakar motor diesel dalam pameran *World's Fair* di Paris tahun 1900-an. Kelemahannya, minyak terlalu kental, mengandung fosfor dan mengandung asam lemak bebas yang bersifat korosif. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, rekayasa minyak nabati sebagai bahan bakar terbarukan untuk motor diesel dilakukan lagi sejak tahun 1970 sebagai upaya substitusi minyak solar yang semakin mahal. Salah satu produk bahan bakar dari minyak nabati yang populer adalah *straight vegetable oil* (SVO) atau juga *pure plant oil* (PPO). SVO dan juga PPO merupakan minyak mentah hayati yang telah dibersihkan dari *gum* (mengandung fosfor) dan asam-asam lemak bebas (*free fatty acid*) (Soerawidjaja, 2004).

Menurut para ahli bahan bakar hayati dunia, pemakaian SVO sebagai bahan bakar pada motor diesel standar dalam jangka waktu lama dapat menimbulkan dampak-dampak negatif seperti dapat mengurangi umur pakai mesin dan menimbulkan polusi gas buang yang lebih berbahaya. Dampak-dampak itu dapat terjadi karena beberapa hal (*Knothe dan Dunn, 2001*):

1. SVO/PPO lebih kental (viskos) dari minyak solar sehingga derajat pengkabutan (*atomization*) minyak menjadi kurang baik.
2. SVO/PPO memiliki angka setana yang rendah (32 – 40) dan kurang dari angka setana minyak solar untuk motor diesel standar (minimum 48).
3. Zat-zat penyusun SVO/PPO memiliki berat molekul besar dan rentan mengalami perengkahan (*cracking*) jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).

Untuk mengatasinya telah banyak dilakukan modifikasi perbaikan, seperti (Soerawidjaja & Reksowardojo, 2003):

1. Modifikasi motor diesel

   pemasangan pemanas saluran bahan bakar untuk menurunkan kekentalan SVO sehingga dapat menghasilkan derajat pengkabutan (atomisasi dan penetrasi) yang baik waktu di semprotkan (*injection*).

   desain ulang *injector* untuk bahan bakar khusus SVO sehingga bisa menghasilkan pola aliran kabut yang optimal untuk sesegera mungkin bercampur dengan udara di dalam ruang bakar.

   modifikasi motor diesel yang telah komersil dan disesuaikan dengan bahan bakar SVO/PPO adalah *Elsbett Engine* berbahan bakar *Straight rapeseed oil* yang berkualitas sesuai standar *DIN 51 605-German Rapeseed Oil Fuel Standard.*

   Nippon Kokan K.K. (Jepang) juga telah memproduksi generator listrik penggerak motor diesel sekelas *Elsbett Engine* untuk operasi dengan bahan bakar minyak sawit (Murayama, 1994).

2. Modifikasi minyak mentah

   mengubah sifat kimia-fisik (berat molekul, kekentalan, dan angka setana) minyak hayati (nabati maupun hewani) menjadi bahan bakar yang hampir sama dengan minyak solar sesuai standar persyaratan bahan bakar motor diesel standar.

   Produk modifikasi minyak hayati untuk bahan bakar diesel (SVO) harus menghasilkan karakteristik yang sesuai SNI 7431:2015 seperti pada tabel 2.14.

itenas library

Tabel 2.14. Spesifikasi Bahan Bakar Nabati Murni (SNI 7431:2015)

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Angka asam	mg KOH/g	Maks. 4,0
2.	Kadar fosfor	(mg/kg)	Maks. 10
3.	Kadar air dan sedimen	%-volume	Maks. 0,1[a]
4.	Kadar bahan tak tersabunkan	%-massa	Maks. 2.0
5.	Viskositas kinematik pada 50 °C	mm^2/s (cSt)	Maks. 36
6.	Kadar abu tersulfatkan	%-massa	Maks. 0,02
7.	Angka penyabunan	mg KOH/g	180-265
8.	Angka iodium	g-I_2/100 g	Maks. 115
9.	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	Min. 100
10.	Kadar residu karbon	%-massa	Maks. 1,0
11.	Massa jenis pada 50 °C	kg/m^3	870-910
12.	Angka setana	-	Min 39
13.	Kadar belerang	%-massa	Maks. 0,01
[a] Dapat diuji terpisah dengan ketentuan kandungan sedimen maksimum 0,01 %-massa			

itenas library

2.5.1. Proses Pembuatan SVO

a). Proses Ekstraksi Minyak

Metode proses ekstraksi dengan pelarut mampu menghasilkan minyak dengan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan ekstraksi mekanik. Namun demikian metode ini tidak banyak digunakan karena memerlukan biaya investasi yang besar.

b). Pemurnian Minyak

Proses pemurnian minyak dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu *degumming*, netralisasi, dekolorisasi, dan deodorisasi.

Degumming merupakan proses penghilangan zat-zat terlarut atau bersifat koloidal, seperti resin, gum, protein, dan senyawa fosfat yang ada

dalam minyak mentah. Pemisahan pengotor-pengotor dari minyak dilakukan dengan penggumpalan (flokulasi) menggunakan asam.

Netralisasi dilakukan untuk memisahkan asam lemak bebas (ALB). Pemisahan ini dilakukan dengan menambahkan basa hingga terjadi proses penyabunan antara basa dengan ALB. Sabun yang terbentuk kemudian dipisahkan.

Tujuan utama dari proses pemurnian minyak adalah untuk menghilangkan rasa, bau yang tidak enak, warna yang tidak menarik dan memperpanjang masa simpan minyak sebelum digunakan.

2.6. Bahan Bakar Biogas (CH_4)

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar (*flammable gas*) dan merupakan produk akhir pencernaan atau degradasi dari penguraian bahan-bahan organik oleh aktivitas bakteri-bakteri pada kondisi tanpa udara (anaerobik).

Sebagian besar bahan mentah organik dapat digunakan untuk membangkitkan biogas dan teknologi produksi biogas dari berbagai bahan baku tersebut hampir sama, perbedaan pengelolaan hanya terletak pada cara pencampuran bahan baku dan air. Perolehan biogas dari bungkil pemerahan minyak jarak pagar ditampilkan tabel 2.15.

Tabel 2.15. Perolehan biogas Bungkil Jarak Pagar (Gubitz, 1997)

Bahan mentah	**Perolehan, Liter/(kg POK)**	**Perolehan rata-rata, Liter/(kg POK)**
Bungkil Minyak Biji Jarak Pagar	600 – 1.200	900
(POK Padatan Organik Kering)		

Biogas dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar seperti bahan bakar gas lainnya karena memiliki energi kalor yang tinggi.

itenas library

Nilai kalor biogas berkisar antara 4.800-6.700 kcal/m^3 dan gas metan murni (100%) memiliki nilai kalor 8.900 kcal/m^3. Nilai kalor 2 m^3 biogas setara dengan 1 liter minyak bakar atau minyak tanah.

Biogas memiliki komposisi yang terdiri dari metan (CH_4), karbon dioksida (CO_2), nitrogen (N_2), karbon monoksida (CO), oksigen (O_2) dan sebagian kecil hidrogen sulfida (H_2S). Komposisi biogas secara umum ditampilkan pada tabel 2.16.

Tabel 2.16. Komposisi Biogas Secara Umum (Fulford, 2001)

Komponen	%-volume
Metana (CH_4)	55 – 70
Karbon dioksida (CO_2)	25 – 40
Nitrogen (N_2)	0,5 – 3
Hidrogen (H_2)	1
Oksigen (O_2)	0,1
Karbon monoksida (CO)	0,1
Hidrogen sulfida (H_2S)	0,01

itenas library

2.7. Bahan Bakar *Synthetic Gas (Syngas)*

Syngas adalah gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi *carbon feedstocks* pada rentang temperatur 750-950 ^{O}C. Proses gasifikasi 1 kg biomassa dengan ρ = 750 – 850 kg/m^3 dan 4.58 kg udara dapat menghasilkan 2 m^3 *syngas* (*Modeling Gasifier Mass, 2010*).

Komposisi syngas merupakan campuran gas yang terdiri dari H_2, O_2, N_2, CH_4, CO, CO_2 dan uap air (H_2O) serta senyawa-senyawa pengotor, seperti H_2S, COS, dan CO_2. Massa jenis syngas (ρ_{syngas}) secara teoritik dapat dihitung berdasarkan volume masing-masing komponen gas menggunakan persamaan berikut (*"Modeling Gasifier Mass,"* 2010, Gunarathne, 2012, Zainal et. al, 2002):

$$\rho_{syngas} = (\rho_{H2} x H2\%)+(\rho_{CO} x CO\%)+(\rho_{CH4} x CH4\%)+ (\rho_{CO2} x CO2\%)+(\rho_{N2} x N2\%)+(\rho_{O2} x O2\%)+(\rho_{H2O} x H2O\%) \quad .....(1)$$

Gas mampu bakar yang dominan dalam kandungan syngas adalah gas CO, gas H_2 serta gas CH_4 (Waldheim & Nilsson, 2001).

Nilai kalor atas (HHV) syngas, secara teoritik dapat dihitung sebagai berikut ("Modeling Gasifier Mass," 2010, Gunarathne, 2012, Zainal et. al, 2002):

$$\Delta H_{syngas} = 2x\{(\Delta H(H_2) x H_2\%)+(\Delta H(CO) x CO\%)+ (\Delta H(CH_4) x CH_4\%)\} \ (MJ/m^3) \quad ..... (2)$$

Korelasi antara HHV dan LHV bahan bakar dapat ditampilkan persamaan *Dulong & Petit* seperti berikut:

$$LHV = HHV - 3.240 \quad ..... (3)$$

dimana:

LHV = Low Heating Value (kJ/kg)

HHV = High Heating Value (kJ/kg)

3.240 = faktor konversi

Untuk volume syngas dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{syngas} = M_{syngas} / \rho_{syngas} \quad ..... (4)$$

dimana:

V_{syngas} = volume syngas (m^3)

M_{syngas} = massa syngas (kg)

ρ_{syngas} = massa jenis syngas (kg/m^3)

itenas library

Total massa syngas yang dihasilkan dari proses gasifikasi merupakan jumlah massa biomassa dan massa udara (*Equivalence Ratio Method "Modeling Gasifier Mass," 2010, Gunarathne, 2012, Zainal et. al, 2002*),

$$M_{syngas} = M_{biomass} + M_{udara} \quad \text{.....(5)}$$

dan

$$M_{udara} = ER \times 4{,}58 \text{ (kg)} \quad \text{.....(6)}$$

dimana:

- ✓ Angka 4,58 (kg) adalah konstanta yang menyatakan bahwa untuk melangsungkan proses pembakaran 1 kg biomassa membutuhkan 4,58 kg udara.
- ✓ Equivalence Ratio (ER)

$$ER = C \times P_{Reaktor}$$

- ✓ Baseline ER (optimum) untuk gasifikasi *woodchips* adalah 0,25 (Zainal et. Al, 2002).

$$ER_{wood} = C \times P_{Reaktor\ Wood} \quad \text{.....(7)}$$

dimana:

$P_{reaktor\ wood}$ adalah tekanan reaktor untuk gasifikasi *woodchip*.

- ✓ ER untuk biomassa lainnya, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Zainal et. Al, 2002):

$$ER_{biomassa} = C \times P_{Reaktor\ biomassa} \quad \text{.....(8)}$$

maka;

$$ER_{biomassa} = C \times (P_{Reaktor} / P_{Reaktor\ Wood})$$

2.8. Motor Diesel

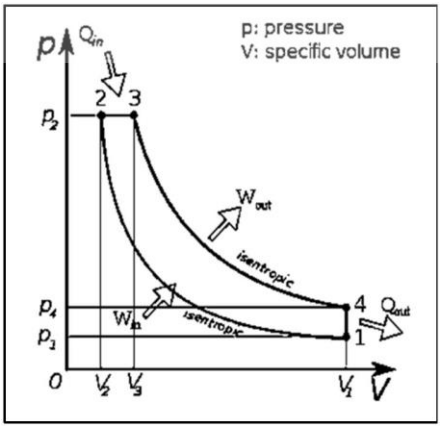
Rudolf Diesel pada tahun 1893 berhasil menciptakan motor diesel yang pada tahap awal perkembangannya menggunakan serbuk batubara

sebagai bahan bakar. Namun karena tidak berhasil dengan baik dan tidak praktis, sehingga digunakan bahan bakar cair berupa minyak kacang tanah (*peanut oil*). Sampai sekarang bahan bakar cair merupakan jenis bahan bakar yang lazim untuk motor ini.

Teknologi motor diesel mengalami penyempurnaan sehingga lebih ramah lingkungan. Pada perkembangannya motor diesel 4 langkah lebih banyak digunakan sebagai penggerak mula. Prinsip kerja motor diesel 4 langkah terdiri dari langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang.

Proses kerja motor diesel diawali dengan masuknya udara segar ke dalam silinder pada langkah hisap. Udara kemudian dikompresi sehingga tekanan dan temperatur menjadi tinggi melebihi temperatur nyala bahan bakar. Beberapa saat di akhir langkah kompresi bahan bakar mulai disemprotkan sehingga terbakar sendiri. Pada sistem ini daya motor diatur oleh volume bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder.

Secara teoritis, motor diesel bekerja berdasarkan siklus udara tekanan konstan atau siklus diesel, dimana proses pemasukan kalor dilakukan pada tekanan konstan. Gambar 2.10 menampilkan siklus motor diesel.



Gambar 2.10. Siklus Udara Tekanan Konstan

Efisiensi indikator motor Diesel sekitar 0,45-0,55 atau berada di antara 0,75-0,85 dari efisiensi siklus tekanan konstan. Harga efisiensi yang lebih tinggi berlaku untuk perbandingan kompresi yang tinggi dan atau untuk perbandingan bahan bakar dan udara yang lebih rendah. Perbandingan kompresi motor Diesel berkisar antara 14-17 sehingga motor Diesel dibuat lebih kuat, kokoh dan membutuhkan material yang lebih berat.

Daya output motor diesel berupa putaran poros yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$= \frac{(\,)\quad(\,)\quad(\,)\quad(\,)}{\quad} \qquad \text{.....(9)}$$

Dimana :

P_e adalah tekanan efektif (kg/cm^2)

V adalah volume langkah silinder (m^3)

iadalah jumlah silinder

nadalah putaran per menit

aadalah 2, untuk mesin tipe empat langkah

adalah 1, untuk mesin tipe dua langkah

Syarat-sayarat yang sangat penting untuk proses pembakaran motor diesel adalah emisi yang rendah, suara pembakaran yang rendah dan pemakaian bahan bakar yang hemat.

Polusi berupa emisi gas buang dari motor diesel dapat digolongkan dalam beberapa komponen, yaitu: partikulat, residu karbon, pelumas tidak terbakar, sulfur, bahan bakar tidak terbakar dan lain-lain.

Secara umum gas buang motor diesel dapat terdiri dari 72% N_2, 18,1% CO_2, 8,2% H_2O, 1,2% Gas Argon (gas mulia), 1,1% O_2 dan 0,13% NO_x, 0,09% HC serta 0,9% CO.

itenas library

2.9. Gas Engine

Gas engine adalah motor pembakaran dalam (*ICE*) yang bekerja menggunakan bahan bakar gas seperti: gas alam, biogas, *synthetic gas*, dan bahan bakar gas lainnya. G*as engine* bekerja berdasarkan Siklus Otto mirip seperti motor bensin. Perbedaannya terletak pada cara pencampuran bahan bakar dan udara.

Gas engine yang beroperasi menggunakan bahan bakar gas alam biasanya memiliki efisiensi termal antara 35-45%. *Gas engine* yang bekerja dengan biogas biasanya memiliki efisiensi lebih rendah (1-2%) dibandingkan dengan efisiensi *gas engine* berbahan bakar gas alam. Sedangkan efisiensi *gas engine* berbahan bakar *syngas* adalah yang paling rendah (GE Jenbacher's, 2013).

Gas engine biasanya berkecepatan menengah dengan sistem pengapian tabung-panas (*hot-tube ignitors*) dan penyalaan busi (*spark ignition*). *Gas engine* menghasilkan pembakaran lebih bersih sehingga dapat memenuhi persyaratan emisi gas buang tanpa ekstra perawatan pada sistem bahan bakar dan sistem gas buang.

Persamaan yang gunakan untuk menunjukkan kebutuhan aliran gas dari *gas engine* dapat ditampilkan berikut ini (Mitzlaff, 1988; Klell, 1998; Wikipedia, 2017):

$$Q = \frac{\quad}{\quad} \times \frac{\quad}{\quad} \qquad \text{.....(10)}$$

Dimana:

Q	= aliran gas
P	= daya motor
η	= efisiensi mekanik
LHV_{gas}	= nilai kalor bawah bahan bakar gas

Aplikasi umum *gas engine* pada pembangkit listrik berdasarkan Standar Inggris adalah:

1) *Standby Genset* rating 1 jam untuk melayani pembangkitan pada jam kerja tinggi
2) *Prime Genset* untuk rating 12 jam
3) *Continuous Genset* untuk rating kontinu melayani beban dasar termasuk panas dan CHP.

Genset Gas Engine jarang digunakan untuk aplikasi *back-up* kecuali untuk generator *emergency* berkapasitas di bawah 150 kW.

2.10. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) adalah Pembangkit listrik yang menggunakan motor diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*) untuk memutar rotor generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Bagian utama PLTD adalah motor diesel dan generator.

PLTD mempunyai kapasitas dan ukuran yang sangat variatif sesuai kebutuhan. Kapasitas yang tersedia dipasaran mulai dari 10 kW sampai 18 MW. PLTD biasanya difungsikan untuk produksi listrik dengan kapasitas kecil sampai sedang dengan *reliability* dan *availability* yang baik untuk beroperasi 24 jam. PLTD saat ini banyak digunakan sebagai cadangan (*stand by plant*) untuk keadaan darurat (*emergency*) dan untuk antisipasi beban puncak pada jaringan besar.

Biaya pengoperasian pembangkit listrik, tergantung pada efisiensi peralatan (*prime mover* dan generator) yang digunakan. Salah satu kriteria pemilihan generator adalah rencana pengoperasiannya, terinterkoneksi dengan jaringan besar atau *island mode (off-grid)*.

Harga bahan bakar menjadi pertimbangan utama dalam menggunakan PLTD. Bahan bakar PLTD bervariasi disesuaikan dengan putaran kerja motor diesel penggeraknya, putaran rendah sampai menengah (300 rpm - 1.500 rpm). Motor diesel putaran rendah sampai dengan 500 rpm menggunakan bahan bakar minyak (BBM) kualitas No. 2 yaitu *Intermediate*

Diesel Oil (IDO) atau bahan bakar minyak kualitas No. 3 yaitu *Marine Fuel Oil (MFO)*.

Ukuran genset biasanya berdasarkan pada perhitungan beban maksimum seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Beban Maks} = \frac{(\qquad)\,(\qquad)}{(\qquad)} \times (\text{Faktor Kelebihan Beban}) \qquad \text{.....(11)}$$

2.11. Teknologi Pembangkit Listrik Hibrida (PLH)

Definisi umum sistem pembangkit listrik hibrida (PLH) adalah penggabungan atau integrasi pembangkit-pembangkit listrik yang terdiri dari pembangkit listrik konvensional dan pembangkit listrik dari aneka sumber energi terbarukan yang dibangun terpusat. Pola PLH tidak banyak berbeda dengan pembangkit listrik besar konvensional. Pada pola PLH, energi listrik juga disalurkan menuju konsumen melalui saluran distribusi dan transmisi, bedanya terletak pada sumber energi yang digunakan.

Aplikasi teknologi PLH dinilai tepat untuk daerah yang memiliki sumber energi terbarukan yang berlimpah, seperti: energi matahari, energi angin, energi biomassa dan energi samudera yang cukup besar.

Sistem PLH dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, fotovoltaik, mikrohidro, biomassa, genset motor bakar, mikro-turbin, sel tunam (*fuel-cell*), baterai, dan penyimpanan hidrogen yang digunakan untuk melayani beban listrik maupun termal (*Lambert, Gilman, dan Lilienthal 2006*).

PLH dipandang mampu mengurangi permasalahan rasio elektrifikasi di negara kepulauan, terutama untuk mengurangi konsumsi BBM yang sering kesulitan dalam distribusi ke wilayah-wilayah terpencil.

Sistem PLH telah berkembang dan telah beroperasi di berbagai belahan dunia memanfaatkan potensi energi lokal masing-masing, mulai dari skala puluhan watt hingga ratusan kilowatt. Beberapa keuntungan sistem PLH adalah (*Sandia National Laboratories, 2009*):

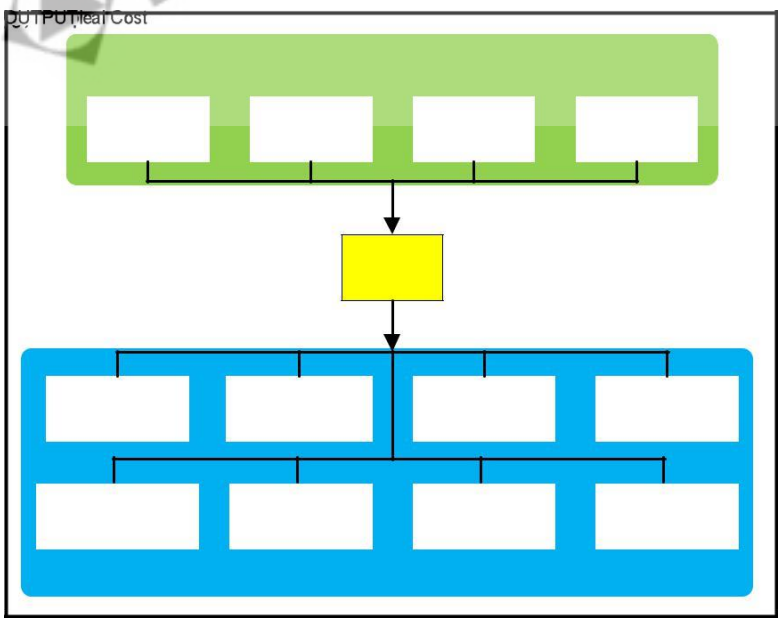
1) meningkatkan kehandalan sistem dalam memenuhi beban,
2) menyediakan suplai listrik kontinu,
3) meningkatkan usia sistem,
4) mengurangi biaya-biaya terkait bahan bakar,
5) meningkatkan efisiensi pembangkitan dan penggunaan energi listrik,
6) mengurangi emisi dan polusi.

2.12. HOMER

HOMER adalah singkatan dari *The Hybrid Optimizations Model for Electric Renewables*. HOMER merupakan salah satu *tool* populer yang biasa digunakan untuk melakukan simulasi dalam perencanaan, analisis dan optimisasi model serta mempermudah evaluasi desain sistem suatu pembangkit listrik *microgrid* maupun hibrida.

HOMER pada dasarnya bekerja berdasarkan tiga langkah utama, yaitu simulasi, optimisasi dan analisis sensitifitas. Gambar 2.11 menampilkan alur simulasi HOMER.

itenas library



Gambar 2.11. Simulasi HOMER

HOMER dilengkapi dengan fitur umum untuk melakukan berbagai hal berikut:

1) dapat melakukan variasi *load, component, resources* dan *system,* baik *stand-alone* maupun *grid-connected*.
2) dapat mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan *energy balance* untuk 8,760 jam per tahun.
3) dapat menentukan *run and off generator* serta sekaligus dapat mengatur dan menentukan baterai di-isi atau di-kosongkan, manakala sistem terinterkoneksi dengan jaringan besar (*on-grid*) dan atau menggunakan baterai serta genset.

Simulasi HOMER umumnya dilakukan untuk menentukan konfigurasi terbaik sistem *microgrid* dan *hybrid* bagi keperluan optimisasi sistem pembangkit listrik.

Output simulasi yang dapat diperoleh berupa: estimasi ukuran atau kapasitas sistem pembangkit: biaya instalasi dan biaya operasi sistem.

Komponen biaya yang dapat diperoleh dari simulasi terdiri dari: biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar dan faktor-faktor pembiayaan lainnya dan emisi gas rumah kaca (GRK).

itenas library