

Panduan Pengguna Untuk Sektor Pasokan Bioenergi

Indonesia 2050 Pathway Calculator

Daftar Isi

1. Ikhtisar Sektor Pasokan Bioenergi	4
2. Metodologi	18
3. Sektor Pasokan BBN Cair	21
4. Sektor Pasokan Bioenergi Padat.....	22
5. Sektor Pasokan Biogas.....	27
6. Referensi.....	29

Daftar Tabel

Tabel 1. Potensi limbah kayu dan pertanian di Indonesia.....	7
Tabel 2. Komposisi biogas	10
Tabel 3. Perbandingan teknologi pencernaan anaerobik.....	12
Tabel 4. Sumber dan jenis biomassa	16
Tabel 5. Nilai kalor dan kandungan air bahan baku biomassa	17
Tabel 6. Potensi biomassa	17
Tabel 7. Asumsi perolehan BBN (DEN)	21
Tabel 8. Asumsi kandungan energi BBN (BPPT)	21
Tabel 9. Asumsi perolehan dan kandungan energi limbah biomassa	23
Tabel 10. Asumsi komposisi sampah kota (ESDM).....	27
Tabel 11. Asumsi kandungan energi sampah kota (UK Calculator 2050).....	27

Daftar Gambar

Gambar 1. <i>Roadmap</i> pengembangan biodiesel	8
Gambar 2. <i>Roadmap</i> pengembangan bioetanol	9
Gambar 3. Hasil rata-rata biogas dari beberapa jenis bahan baku	10
Gambar 4. Danau anerobik tertutup.....	11
Gambar 5. Diagram <i>digester</i> CSTR	12
Gambar 6. Teknologi sistem penyimpanan biogas.....	13
Gambar 7. Potensi biomassa Indonesia	15
Gambar 8. Biomassa termanfaatkan hingga tahun 2013.....	16
Gambar 9. Pemodelan pasokan sumber daya bioenergi	19

1. Ikhtisar Sektor Pasokan Bioenergi

Bioenergi adalah energi yang diperoleh atau dibangkitkan atau berasal dari biomassa. Biomassa adalah bahan-bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan dan hewan serta produk dan limbah industri budidaya, antara lain pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, dan perikanan (Soerawidjaja 2010). Pada pemodelan *Indonesia 2050 Pathway Calculator* (I2050PC), bioenergi diklasifikasikan ke dalam 3 kategori, yaitu bahan bakar nabati cair, biogas dan bioenergi padat.

1.1 Bahan Bakar Nabati

1.1.1 Teknologi Bahan Bakar Nabati

Sebagai negara agraris, Indonesia dianugerahi bahan baku Bahan Bakar Nabati (BBN) yang berlimpah. Beberapa jenis bahan baku yang dapat digunakan untuk menghasilkan BBN, antara lain singkong, jagung, tebu, sagu, kelapa sawit, jatropha, minyak jelantah dan sebagainya. Bahan baku BBN yang berlimpah tersebut tentu memerlukan pengetahuan dan penguasaan teknologi proses BBN yang maju. Teknologi BBN dapat dikelompokkan berdasarkan generasi. Generasi pertama BBN berasal dari minyak nabati. Generasi pertama BBN dianggap bertentangan dengan kebutuhan dan ketahanan pangan. Oleh karena itu, para ahli kemudian mengembangkan generasi kedua BBN yang berasal dari bahan lignoselulosa. Setelah generasi kedua, kemudian dikembangkan generasi ketiga BBN yang memanfaatkan alga sebagai bahan baku.

Bahan bakar nabati generasi dua mengacu pada bahan bakar nabati yang dibuat dari bahan non-pangan. Sebagian besar ahli sepakat bahwa yang dimaksud non-pangan adalah bahan non-pangan atau biomassa padat yang merupakan bahan berlignoselulosa, misalnya limbah padat pertanian dan kehutanan seperti jerami, sekam, tandan kosong kelapa sawit, bagas tebu, kayu-kayuan, rumput dan bahan lainnya. Prinsipnya adalah bahan biomassa yang diproduksi tidak terlalu bergantung pada luasan lahan maupun produktivitas hasil pokok tanaman tersebut. Bahan tersebut diproses melalui dua cara yaitu cara biokimia yang menghasilkan bioetanol dan proses gasifikasi Fisher-Tropsch yang menghasilkan biodiesel. Banyak sekali lembaga riset dan swasta besar saat ini yang sedang berusaha mengembangkan teknologi ini terutama untuk menghasilkan bioetanol. Teknologinya sebenarnya sudah dikuasai, tetapi komersialisasinya masih terlalu mahal (Kementan 2014).

Bahan bakar nabati generasi ketiga yaitu bahan bakar nabati yang berasal dari alga. Alga terdiri dari dua jenis ukuran yakni mikroalga dan makroalga. Alga atau ganggang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku BBN mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan dengan

garis pantai terpanjang di dunia dan memiliki wilayah perairan yang luas termasuk perairan dangkal. Kondisi tersebut sangat cocok untuk budidaya alga karena alga membutuhkan sinar matahari yang cukup dan karbondioksida. Selain itu, tanaman alga memiliki kandungan lemak sel tunggal (LST) yang sangat tinggi, bahkan dapat memiliki kandungan LST lebih dari 50% (Briggs, 2004).¹ Kandungan LST yang besar mengidentifikasi kandungan asam lemak yang besar dalam alga (Cohen, 1999).² Berdasarkan studi Zuhdi, dkk (2003), semakin banyak kandungan asam lemak dalam suatu bahan baku, maka semakin besar pula biodiesel yang dihasilkan. Alga dapat dimanfaatkan untuk produksi biodiesel. Jika dibandingkan dengan berbagai sumber bahan baku produksi biodiesel di masa mendatang, alga merupakan alternatif yang baik dalam hal intensitas produksi dari biodiesel per hektar. Setiap hektar lahan budidaya alga mampu menghasilkan biodiesel sekitar 50 kl, sedangkan 1 hektar kelapa sawit hanya menghasilkan sekitar 5-6 kl (BPPT 2014). Sementara itu, berdasarkan laporan LIPI (2010) produktivitas alga mencapai 30 kali lebih banyak dibandingkan dengan tumbuhan darat. Pemanfaatan alga untuk memproduksi biodiesel di Indonesia masih dalam tahap penelitian dan belum memasuki tahap komersial. Beberapa lembaga yang aktif melakukan penelitian terkait alga sebagai bahan baku produksi, antara lain Institut Pertanian Bogor (IPB), Institut Teknologi Bandung (ITB), Universitas Gadjah Mada dan LIPI.

BBN mencakup biodiesel, bioetanol dan biooil. Minyak nabati umumnya digunakan untuk memproduksi biodiesel dan biasanya diperoleh dari tanaman kelapa, kelapa sawit, minyak jelantah, dan jarak pagar. Biodiesel merupakan bentuk ester dari minyak nabati setelah melalui proses transesterifikasi dengan menambahkan metanol.³ Pada dasarnya, proses transesterifikasi bertujuan untuk mengubah trigliserida menjadi metil ester asam lemak (*free fatty acid methyl ester/FAME*). Umumnya, minyak esensial memiliki tingkat kandungan asam lemak bebas (*free fatty acid/FFA*) yang rendah (sekitar 2%) yang dapat diproses langsung dengan metode transesterifikasi. Jika kandungan FFA dalam minyak masih tinggi daripada sebelumnya maka proses pra-esterifikasi perlu dilakukan untuk mengurangi kadar FFA sampai sekitar 2%. Proses transesterifikasi umum digunakan di Indonesia (Hambali, et al 2007). Bahan mentah biodiesel generasi 1 masih amat tergantung pada minyak sawit. Pengembangan tumbuhan sumber minyak-lemak non pangan (*Pongamia pinnata*, *Calophyllum inophyllum*, *Cajanus cajan*, *Artocarpus altilis*, *Azadirachta indica*, *Jatropha curcas*, dan lain-lain) masih kurang diperhatikan.

¹ LIPI, 2010. Eksplorasi Sumberdaya Mikroba Penghasil Lemak Sel Tunggal Untuk Pengembangan Bioenergi Alternatif Berbasis Biodiesel dan Biometan

² LIPI, 2010. Eksplorasi Sumberdaya Mikroba Penghasil Lemak Sel Tunggal Untuk Pengembangan Bioenergi Alternatif Berbasis Biodiesel dan Biometan

³ <http://pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/wr304084.pdf>

Bioetanol merupakan etanol yang diproduksi dari bahan baku nabati. Bahan baku bioetanol dapat berasal dari tanaman yang mengandung pati atau gula seperti tebu, singkong, sagu, sorgum dan lignoselulosa.⁴ Setelah melalui proses fermentasi maka dihasilkan etanol. Bioetanol generasi pertama diproduksi dari bahan yang mengandung gula atau pati, seperti molase, gula bit, tebu, *barley*, beberapa jenis gandum, jagung, kentang, dan singkong. Teknologi untuk menghasilkan bioetanol dilakukan melalui beberapa tahapan proses, yaitu proses sakarifikasi, proses fermentasi, proses pencairan, proses pemisahan dan pemurnian.

Biooil atau disebut juga *pure plant oil* (PPO) adalah minyak nabati murni dari buah atau biji berbagai tanaman seperti kelapa sawit, kapas, bunga matahari, pohon jarak, karanja, kedelai, *rapeseed*, *brassica*, kopra, kacang tanah, dan sebagainya. PPO diproduksi melalui proses pemerasan mekanik, ekstraksi dan pemurnian untuk meningkatkan kualitas minyak (*Bioliquids-CHP* 2015). PPO dapat digunakan untuk mesin-mesin diesel putaran rendah dan sedang.

Sementara bioetanol dapat menjadi pengganti bensin, bioavtur merupakan bahan bakar alternatif untuk transportasi udara. Bioavtur dapat diproduksi melalui proses hidrogenasi minyak-lemak nabati. Tuntutan tingkat keselamatan yang tinggi pada angkutan udara mengharuskan bioavtur berwujud kimia hidrokarbon yang persis seperti avtur dari minyak bumi. Untuk menghasilkan hidrokarbon parafin yang merupakan komponen utama avtur, bahan mentah terbaik pembuatan bioavtur adalah minyak-minyak laurat (asam lemak C12) di antaranya minyak kelapa, minyak inti-sawit, minyak biji *Cinnamomum* sp dan *Litsea* sp (Soerawidjaja 2010).

1.1.2 Potensi Pengembangan Bahan Bakar Nabati di Indonesia

Saat ini, penggunaan BBN di Indonesia masih terbatas pada penggunaan biodiesel dengan pencampuran 5% minyak solar, padahal Indonesia sangat berpotensi untuk pengembangan BBN. Potensi produksi bahan bakar nabati generasi pertama mencapai 6.730 juta liter per tahun untuk etanol dan 3.670 juta liter per tahun untuk biodiesel (APEC 2010). Potensi pengembangan biodiesel di Indonesia terkait dengan fakta bahwa Indonesia adalah penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Bahan baku biodiesel utama di Indonesia adalah minyak sawit yang didukung industri minyak kelapa sawit yang sudah mapan dengan potensi peningkatan produksi. Indonesia melampaui Malaysia dalam produksi kelapa sawit pada tahun 2007 dan sekarang menjadi pemimpin dunia. Bersama-sama, Malaysia dan Indonesia menyediakan 90% dari minyak sawit dunia. Indonesia memproduksi 17,4 juta ton pada tahun 2007; naik dari 15,9 juta ton pada tahun 2006 dan sekitar 12

⁴ Direktorat Bioenergi, Kementerian ESDM

juta ton diekspor. Saat ini, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah mencapai 10 juta ha. Potensi bahan baku biodiesel lainnya di Indonesia adalah minyak kelapa, yang produksinya mencapai hampir 0,9 juta ton dengan 0,5 juta ton untuk komoditas ekspor pada tahun 2006.

Saat ini, produksi bahan bakar bioetanol di Indonesia terutama berasal dari tebu (molase). Indonesia termasuk 10 produsen tebu terbesar di dunia dengan tingkat produksi sekitar 30 juta ton per tahun. Bahan baku lain yang dipertimbangkan untuk produksi etanol di Indonesia adalah singkong dengan produksi tahunan sekitar 17 juta ton. Untuk bioetanol generasi kedua, telah dilakukan analisis ekonomi sumber daya biomassa oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

Tabel 1. Potensi limbah kayu dan pertanian di Indonesia

Biomass Residues	Quantity (million tonnes/yr)
Sugar industry	
Baggase	8.5
Leaf cane	1.3
Palm Oil Industry	
Shell	3.5
Fibre	6.7
Empty fruit bunch	12.9
Palm Oil Mill Effluent	31.0
Rubber	
Rubber wood	2.8
Coconut	
Shell	3.0
Fibre	6.7
Paddy	
Rice husk	13.5
Cassava waste	7.3
Wood waste	8.3
Total	105.5

Source: Febijanto 2007; Priyanto 2007

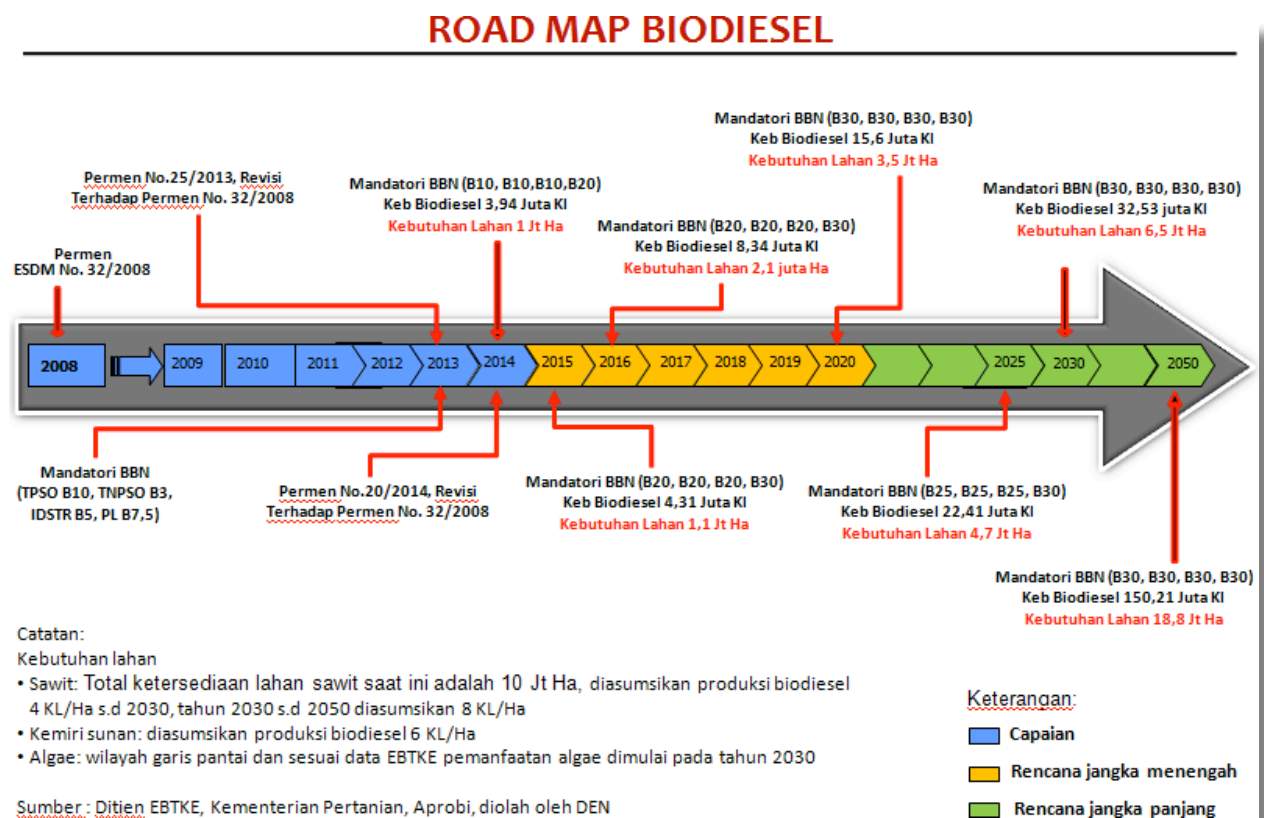
Tabel 1 menyajikan data statistik mengenai sumber daya biomassa lignoselulosa (Priyanto 2007). Seperti terlihat pada Tabel 1, bahan baku BBN generasi kedua (tidak termasuk *Palm Oil Mill Effluent* atau POME) berjumlah sekitar 74 juta ton per tahun, yang dapat menghasilkan 22 juta KL etanol atau setara 10,7 juta ton setara bensin per tahun. Volume tersebut akan menggantikan 83% konsumsi bensin di Indonesia saat ini dan 51% impor minyak mentah saat ini (APEC 2008).

1.1.3 Kebijakan Pengembangan Bahan Bakar Nabati

Kebijakan terkait pemanfaatan BBN yaitu percepatan wajib biodiesel sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 20 Tahun 2014. Hal ini mempertimbangkan ketersediaan bahan baku biodiesel yang dapat dipenuhi dari produksi minyak kelapa sawit domestik. Produksi biodiesel pada tahun 2012 mencapai 2,2 juta KL, meningkat 4 kali lipat dari tahun 2010 yang hanya sekitar 500 ribu KL.

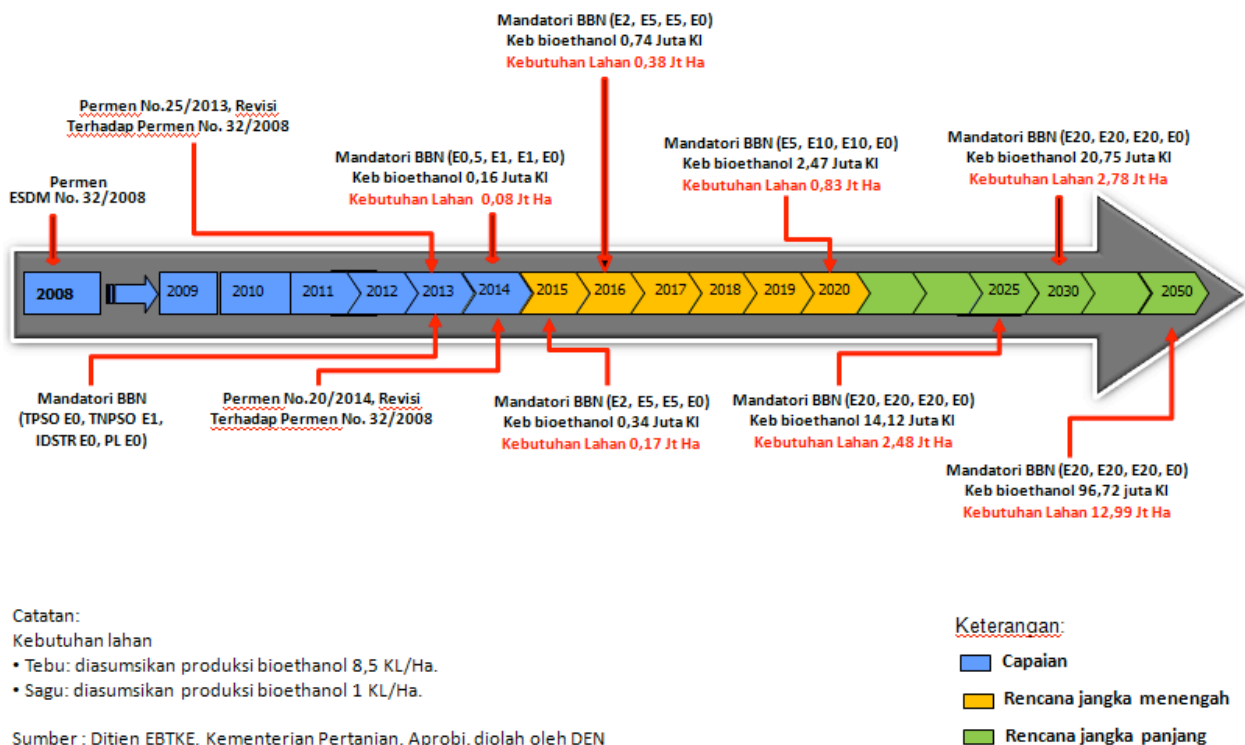
Hingga Desember 2013, angka sementara produksi biodiesel mencapai 2,8 juta KL. Sedangkan, pemanfaatannya di dalam negeri mencapai 1,057 juta KL.

Kebijakan pendukung pengembangan BBN antara lain memberikan jaminan kepastian pengusahaan kepada produsen, kebijakan pengaturan bahan baku termasuk penyiapan *dedicated land* untuk BBN, dan kebijakan fiskal termasuk pembebasan pajak. Pemerintah juga telah mengeluarkan peraturan tentang spesifikasi BBN termasuk biodiesel, bioetanol, PPO dan minyak nabati tersertifikasi parsial. Berikut *roadmap* pengembangan biodiesel dan bioetanol yang telah disusun oleh pemerintah.



Gambar 1. Roadmap pengembangan biodiesel

ROAD MAP BIOETHANOL



Gambar 2. Roadmap pengembangan bioetanol

1.2 Biogas

1.2.1 Teknologi Biogas

Biogas dapat diproduksi dari pengolahan anaerobik bahan organik oleh bakteri. Bahan organik yang dapat diolah dapat berasal dari kotoran hewan, limbah rumah tangga, limbah perkotaan, limbah organik pabrik, dan biomassa. Pencernaan anaerobik (*Anaerobic Digestion*, AD) adalah fermentasi substrat organik yang terurai secara biologis dari material seperti yang disebutkan di atas dalam kondisi tidak ada oksigen. Karakteristik bahan organik, suhu dan waktu penyimpanan dalam *digester* adalah faktor-faktor yang menentukan jumlah biogas yang dihasilkan. Hasil dari proses AD adalah biogas yang terdiri dari senyawa yang berbeda, serta endapan. Biogas mengandung energi sedangkan endapan mempunyai kandungan nutrisi yang tinggi.

Komponen utama pembentuk biogas adalah metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), oksigen (O₂), nitrogen (N₂), hidrogen sulfida (H₂S), air (H₂O) dan persenyawaan organik lainnya. Masing-masing memiliki konsentrasi yang bervariasi tergantung dari jenis material yang dicerna. Metana adalah gas rumah kaca yang kuat dalam hal kemampuan untuk mengurung panas. Gas ini 21 kali lebih berbahaya dalam merusak lapisan ozon dibandingkan dengan karbon dioksida. Jadi, dianjurkan untuk mengurung dan menghancurkan gas ini agar dapat meminimalkan dampak negatif.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, banyak faktor yang mempengaruhi komposisi biogas.

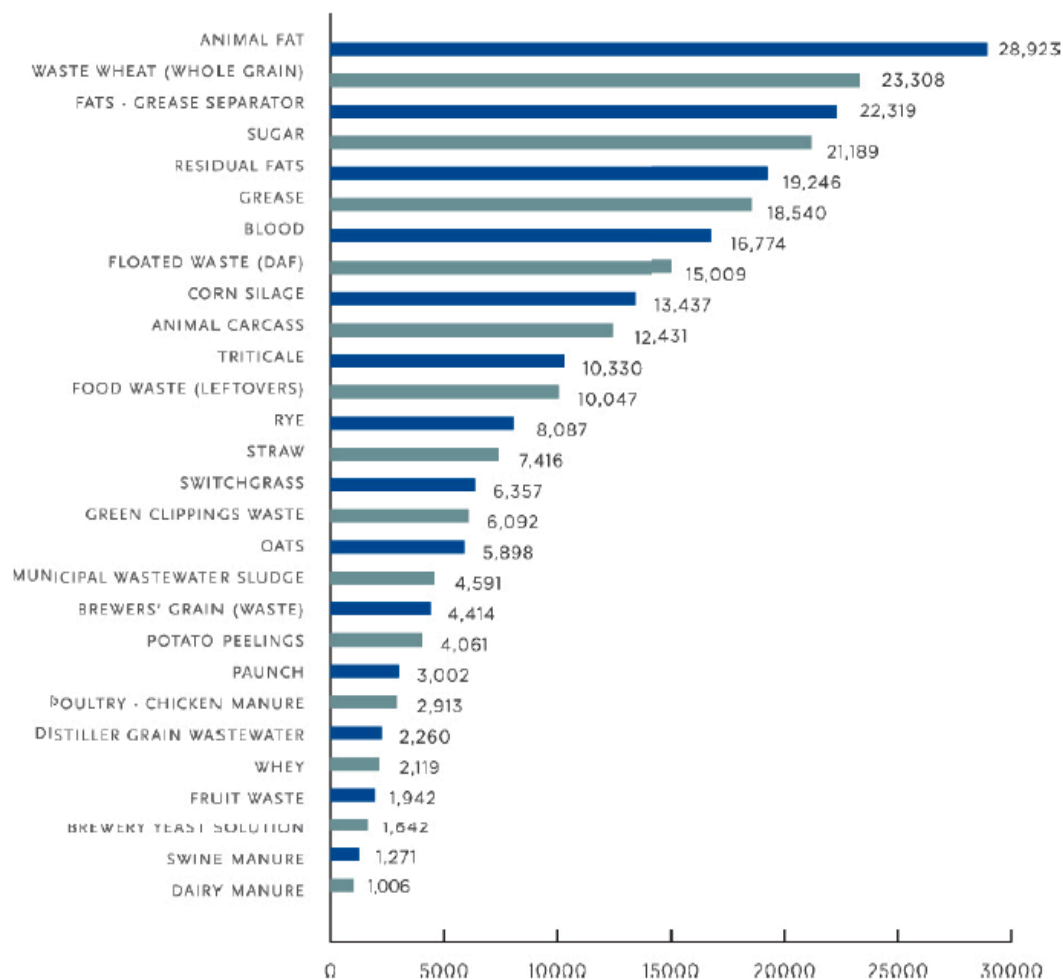
Tabel 2 menunjukkan kisaran umum komposisi biogas.

Tabel 2. Komposisi biogas

Komponen	Formula	Konsentrasi (%Vol)
Metana	CH ₄	50-75
Karbon dioksida	CO ₂	25-45
Uap air	H ₂ O	2-7
Oksigen	O ₂	< 2
Nitrogen	N ₂	< 2
Hidrogen sulfida	H ₂ S	< 2
Amonia	NH ₃	< 1
Hidrogen	H ₂	< 1

Sumber : Energi Bersih, Buku pedoman untuk lembaga jasa keuangan, 2014, USAID

Salah satu hal penting yang menentukan jumlah biogas adalah jenis bahan baku. Gambar 3 berikut mengilustrasikan hasil rata-rata biogas dari beberapa jenis bahan baku.



Gambar 3. Hasil rata-rata biogas dari beberapa jenis bahan baku (ft³/ton basah)

Secara umum, proses produksi biogas terbagi ke dalam empat tahap, yaitu: (1) Hidrolisis, (2) Pengasaman, (3) Pembentukan asam asetat, dan (4) Pembentukan metana. Penjelasan singkat dari proses-proses tersebut adalah sebagai berikut.

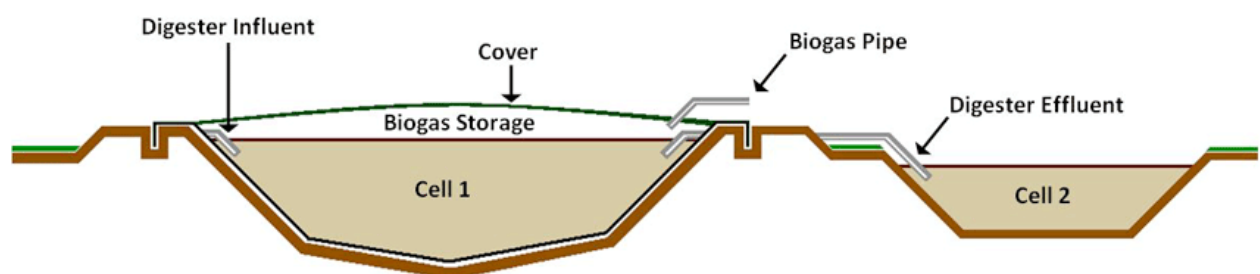
1. Hidrolisis: Pada tahap ini, substrat organik yang mengandung lemak, protein, dan karbohidrat dengan proporsi yang berbeda-beda dihidrolisis menjadi dimer dan polimer rantai pendek (asam lemak, asam amino dan gula)
2. Pengasaman: Pada tahap pengasaman, dimer dan polimer rantai pendek diubah oleh bakteri menjadi asam organik rantai-pendek atau asam lemak yang mudah menguap.
3. Pembentukan asam asetat: alkohol dan asam lemak yang mudah menguap diubah menjadi asam asetik, asam asetat, CO₂ dan H₂.
4. Pembentukan metana: Pada tahap inilah bakteri dari jenis *archae methanogens* akan memproduksi metana.

Berikut ini adalah beberapa pilihan teknologi untuk fasilitas pencernaan anaerobic (AD) dan teknologi penyimpanan biogas untuk skala menengah dan besar.

Pencernaan anaerobik (AD)

1. Danau Anerobik Tertutup

Pada teknologi jenis ini, bahan organik yang umumnya adalah limbah cair misalnya POME (*Palm Oil Mill Effluent*) disimpan dalam sebuah danau yang ditutupi oleh membran kedap udara untuk menangkap biogas selama proses konversi biologis anaerobik. Ilustrasi dari teknologi ini dapat dilihat pada Gambar 4.

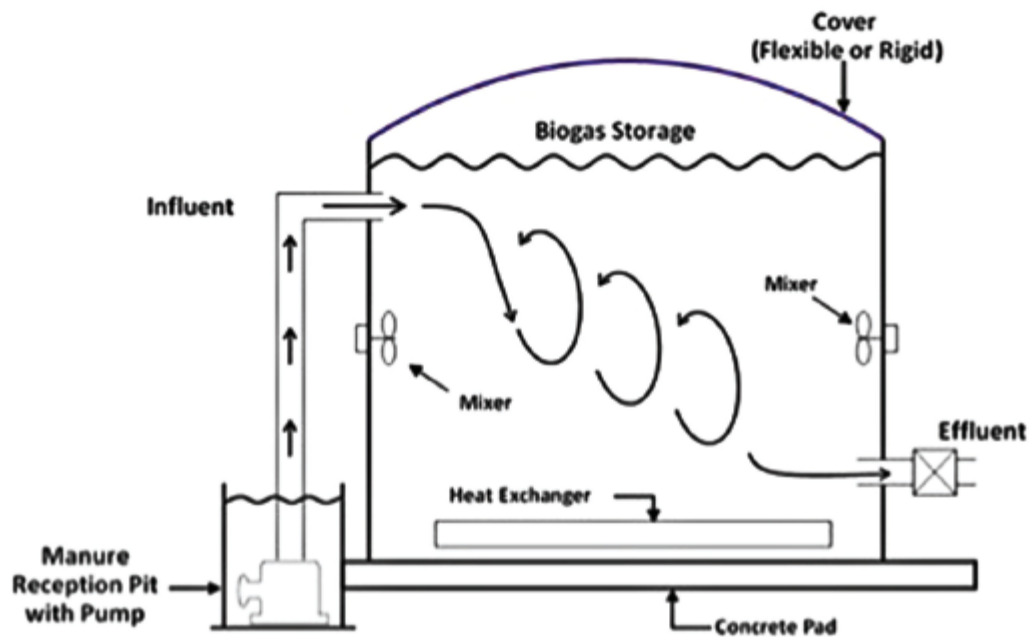


Gambar 4. Danau anaerobik tertutup

2. Reaktor tanki yang digerakkan terus-menerus (*Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR*)

Pada teknologi ini, limbah cair disimpan di dalam tanki untuk menangkap biogas selama proses konversi biologis anaerobik. Pada umumnya teknologi jenis ini memiliki beberapa pengaduk

dalam tanki yang berfungsi untuk mengaduk material yang mempunyai kandungan padatan yang lebih tinggi ($\geq 12\%$) secara terus-menerus (Lihat Gambar 5). Dalam sebuah fasilitas skala besar, sebuah fasilitas bisa memiliki lebih dari satu tanki yang disusun secara seri atau paralel.



Sumber: www.daviddarling.info dan IEA Bioenergy.

Gambar 5. Diagram *digester* CSTR

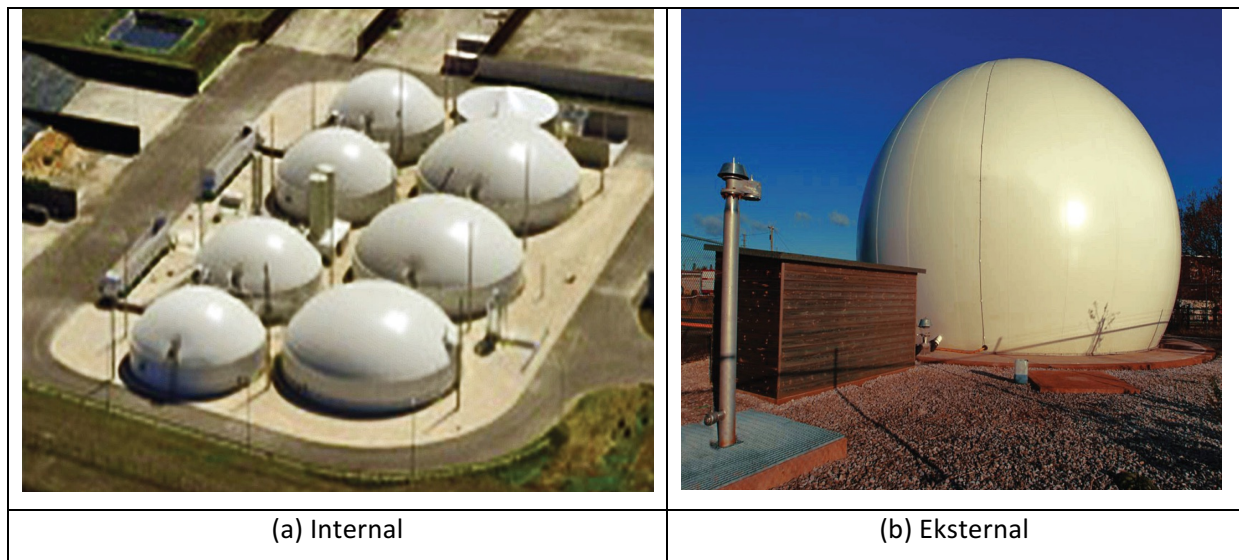
Tabel 3 menyajikan perbandingan antara kedua teknologi di atas dilihat dari kelebihan dan kekurangannya.

Tabel 3. Perbandingan teknologi pencernaan anaerobik

Teknologi	Kelebihan	Kekurangan
Danau Aneerobik Tertutup	<ul style="list-style-type: none"> • Modal dan biaya operasi rendah • Teknologi sederhana • Volume penyimpanan besar 	<ul style="list-style-type: none"> • Membutuhkan banyak lahan • Terbatas untuk material dengan kandungan padatan yang rendah • Membran kedap udara sering tidak tersedia di pasar lokal
CSTR	<ul style="list-style-type: none"> • Rapi • Umur ekonomis lebih lama • Dapat mengakomodasi material dengan konsentrasi padatan yang lebih tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Modal dan biaya O&M yang tinggi

Penyimpanan Biogas

Penyimpanan biogas diperlukan ketika konsumsi biogas tidak berlangsung secara terus-menerus. Penyimpanan biogas akan bermanfaat untuk mengakomodasi ketika permintaan lebih tinggi atau lebih rendah daripada produksi biogas. Secara umum, penyimpanan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu: (1) di dalam tanki *digester* (internal), dan (2) di luar tanki *digester* (eksternal). Gambar 6 mengilustrasikan sistem penyimpanan secara (a) internal dan (b) eksternal.



Gambar 6. Teknologi sistem penyimpanan biogas

1.2.2 Potensi Pengembangan Biogas di Indonesia

Seperti disebutkan sebelumnya, biogas dapat diproduksi dari bahan organik yang berasal dari kotoran hewan, limbah rumah tangga, limbah perkotaan, limbah organik pabrik, dan biomassa. Namun, ada tiga sektor utama yang berpotensi besar dalam pengembangan biogas di Indonesia, yaitu sektor pertanian, limbah cair dan limbah perkotaan. Sektor-sektor tersebut dinilai cocok untuk pengembangan biogas di Indonesia baik ditinjau dari sisi karakteristik dan ketersediaan *feedstock* maupun secara teknis dan ekonomi.

Sektor Pertanian

Termasuk dalam kategori ini adalah limbah dari fasilitas produksi ternak seperti babi, sapi dan budidaya sapi perah, serta aliran limbah dari operasional agro industri seperti kilang minyak kelapa sawit, pabrik pengolahan tepung tapioka, fasilitas pengolahan susu, penyulingan, rumah potong hewan dan fasilitas pemrosesan makanan lainnya.

Sektor Limbah Cair

Sektor ini mencakup limbah cair perkotaan, baik yang dapat secara langsung diolah oleh sistem AD, maupun endapan yang berasal dari endapan pabrik yang diaktifkan untuk dicerna secara terpisah.

Sektor Limbah Padat Perkotaan

Limbah padat perkotaan dapat memiliki kandungan organik yang tinggi sebagai *feedstock* untuk proses AD.

1.2.3 Kebijakan Pengembangan Biogas

Saat ini belum ada kebijakan-kebijakan insentif bagi masyarakat yang ingin mengembangkan biogas. Tantangan lain dalam pengembangan biogas adalah biaya investasi yang relatif tinggi bagi masyarakat. Masyarakat juga masih tidak merasa nyaman menggunakan energi yang berasal dari kotoran. Dengan demikian, pemerintah perlu melakukan sosialisasi terkait hal ini. Persoalan lain yang perlu diperhatikan pemerintah dalam pengembangan biogas adalah sumber daya manusia yang kompeten dalam hal teknologi biogas serta inisiatif yang mendorong pembuatan instalasi pengolahan biogas (ESDM 2011).

1.3 Bioenergi padat

Secara umum, biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dapat dimanfaatkan sebagai energi. Sumber biomassa dapat berasal dari kegiatan sektor perkebunan, pertanian dan kehutanan. Dari sektor perkebunan, biomassa dapat diperoleh dari sisa panen atau sisa pengolahan kelapa sawit, tebu, kelapa dan karet. Sedangkan dari sektor pertanian, biomassa dapat diperoleh dari sisa panen dan sisa pengolahan padi, jagung, dan ubi kayu. Dari sektor kehutanan, biomassa dapat diperoleh dari sisa pengolahan kayu.

1.3.1 Potensi Pengembangan Bioenergi Padat di Indonesia

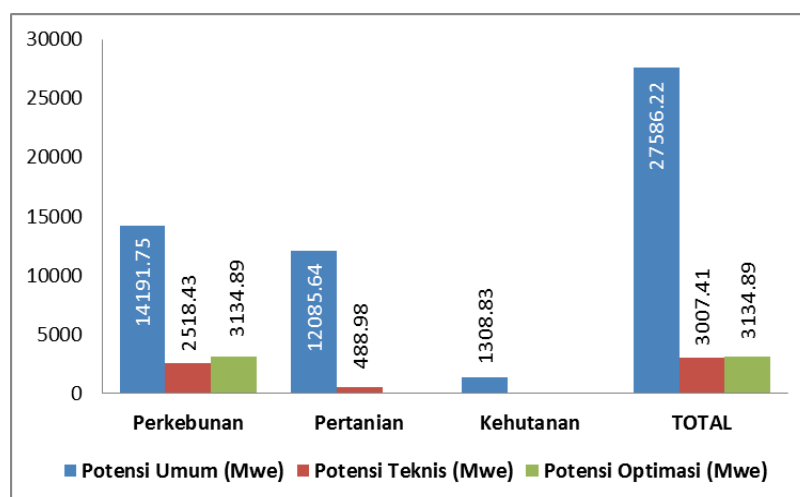
Berdasarkan *database* biomassa Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2013, potensi umum biomassa dari sumber sektor perkebunan, pertanian dan kehutanan mencapai 27.586,22 MWe⁵. Sebesar 51% atau 14.191,75 MWe potensi tersebut diperoleh dari sumber sektor perkebunan, 44% atau 12.085,64 MWe diperoleh dari sektor pertanian dan sisanya dari sumber

⁵ Potensi umum didefinisikan sebagai bahan baku termasuk yang belum dimanfaatkan dan sudah dimanfaatkan, kondisi letak biomassa termasuk yang masih tersebar dan belum terkumpul serta belum mempertimbangkan rasio koleksi dan biaya koleksi bahan baku.

sektor kehutanan (Gambar 7). Potensi optimasi⁶ biomassa Indonesia mencapai 3.134,89 MWe yang sebagian besar dihasilkan dari sumber sektor perkebunan.

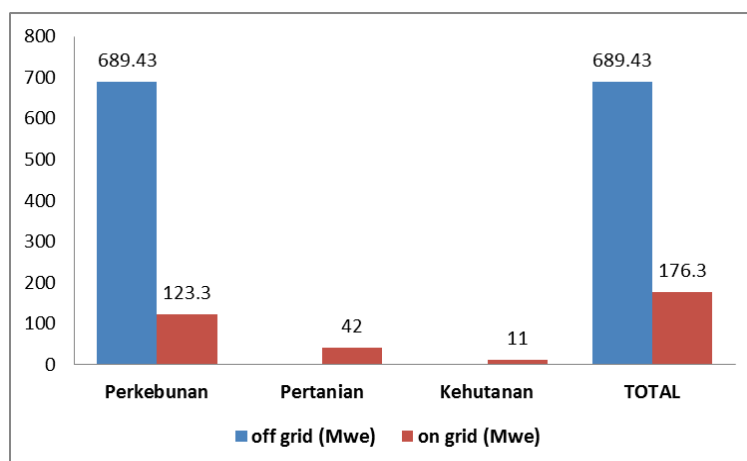
Biomassa yang dimanfaatkan hingga tahun 2013 kurang dari 5% dari potensi umum, yaitu hanya mencapai 865,73 MWe dengan rincian 689,43 MWe *off grid* dan 176,3 MWe *on grid* (Gambar 8). Sebagian besar biomassa yang dimanfaatkan baik *off grid* maupun *on grid* berasal dari sumber biomassa perkebunan. IEA (2012) memperkirakan bahwa pada tahun 2050, dunia membutuhkan sekitar 100×10^{18} joule (5 miliar hingga 7 miliar ton kering) biomassa. Berbagai studi menyarankan agar pasokan biomassa tersebut bersumber secara berkelanjutan dari limbah, residu dan tanaman yang dikhususkan untuk tanaman energi.

Tabel 4 menyajikan berbagai sumber dan jenis biomassa yang dapat dimanfaatkan. Tabel 5 menyajikan data karakteristik biomassa yaitu kandungan energi dan kandungan air pada tiap jenis sumber daya biomassa.



Gambar 7. Potensi biomassa Indonesia
(Sumber: Database Biomassa EBTKE ESDM, 2013)

⁶ Potensi optimasi didefinisikan sebagai bahan baku yang telah dimanfaatkan akan tetapi belum optimal atau efisiensi sistem pemanfaatannya masih rendah, misalnya pemanfaatan bagas (ampas tebu) sebagai bahan bakar pembangkit listrik dan *steam* di pabrik gula, serta pemanfaatan serat dan cangkang sebagai bahan bakar pembangkit listrik dan *steam* di pabrik kelapa sawit.



Gambar 8. Biomassa dimanfaatkan hingga tahun 2013
(Sumber: Database Biomassa EBTKE ESDM, 2013)

Tabel 4. Sumber dan jenis biomassa

No	Sumber Biomassa	Jenis Industri	Area Jenis Industri	Jenis Biomassa		
				Sisa Panen	Tanam ulang	Sisa Pengolahan
1	Perkebunan	Kelapa sawit	Perkebunan sawit	Pelepah sawit	Batang sawit	
					Pelepah sawit	
			Pabrik kelapa sawit			Tandan kosong
						Serat sawit
						Cangkang sawit
						Limbah cair sawit
		Tebu	Perkebunan tebu	Daun dan pucuk		
			Pabrik gula tebu		Ampas tebu-Bagas	
		Kelapa	Pengolahan kelapa			Tempurung
						Sabut kelapa
Karet	Perkebunan karet		Batang karet			
No	Sumber Biomassa	Jenis Industri	Area Jenis Industri	Jenis Biomassa		
				Sisa Panen	Tanam ulang	Sisa Pengolahan
2	Pertanian	Padi	Pertanian padi	Jerami padi		
			Penggilingan padi			Sekam padi
		Jagung	Pertanian jagung	Batang & daun jagung		
			Pengolahan jagung			Tongkol jagung
		Ubi kayu	Pertanian ubi kayu	Batang ubi kayu		
			Pengolahan ubi kayu			Limbah cair ubi kayu
3	Kehutanan	Kayu	Hutan industri	<i>Woodchip</i>		
			<i>Sawmill</i>			<i>Woodchip</i>
						Serbuk kayu
			<i>Plywood</i>			<i>Woodchip</i>
						Serbuk kayu
			<i>Pulp and Paper</i>			<i>Black liquor</i>
				Limbah kayu		

(Sumber: Kementerian ESDM 2013)

Tabel 5. Nilai kalor dan kandungan air bahan baku biomassa

Jenis Industri	Bahan Baku (<i>Feedstock</i>)	Calorific Value (kkal/kg)	Moisture (%)
Kelapa Sawit	Serat sawit (<i>Fiber</i>)	3340	30
	Cangkang sawit (<i>Shell</i>)	4300	15
	Tandan kosong sawit (EFB)	1200	45
	Pelepah sawit (<i>frond</i>)	3350	20
	Batang replanting sawit (<i>Trunk and Front</i>)	3500	20
Tebu	Ampas tebu (<i>Bagasse</i>)	1850	50
	Daun dan pucuk tebu (<i>Cane and Top Cane</i>)	3000	30
Kelapa	Sabut kelapa	3300	30
	Tempurung kelapa (<i>Coconut shell</i>)	4300	15
Karet	Batang Replanting karet	4400	15
Padi	Sekam padi (<i>Rice husk</i>)	3350	12
	Jerami padi	2800	50
Jagung	Tongkol jagung (<i>Corn cob</i>)	3500	14
	Batang dan daun jagung	2500	40
Kayu	Kayu limbah industri (<i>Woodwaste</i>)	4400	15
<i>Pulp and Paper</i>	<i>Black liquor</i>	3300	70

Sumber: Kementerian ESDM 2013

Tabel 5 menyajikan database potensi biomassa berdasarkan studi oleh Direktorat Bioenergi, Kementerian ESDM.

Tabel 6. Potensi Biomassa

No	NASIONAL	Unit	Ketersediaan Bahan Baku (ton)	Potensi Energi (GJ)	Potensi umum (MWe)
1	Kelapa Sawit				
	Serat (<i>Fiber</i>)	ton	12.830.950	180.778.665	1.231
	Cangkang (<i>Shell</i>)	ton	6.136.541	108.861.141	759
	Tandan Kosong (EFB)	ton	23.988.298	118.757.608	827
	Limbah Cair (POME)	m3	47.995.674	34.903.142	430
	Pelepah	ton	75.517.083	1.063.384.453	8.430
	Tanam Ulang (Pelepah & Batang)	ton	8.412.853	123.280.262	977
2	Tebu				
	Ampas Tebu (<i>Bagasse</i>)	ton	9.559.395	73.470.505	582
	Daun dan Pucuk Tebu	ton	7.154.403	89.862.170	712
3	Karet				
	Tanam Ulang (Batang & Ranting)	ton	19.039.680	350.747.462	2.781
4	Kelapa				
	Sabut Kelapa	ton	1.119.301	15.464.755	119
	Tempurung Kelapa	ton	383.760	13.262.898	59

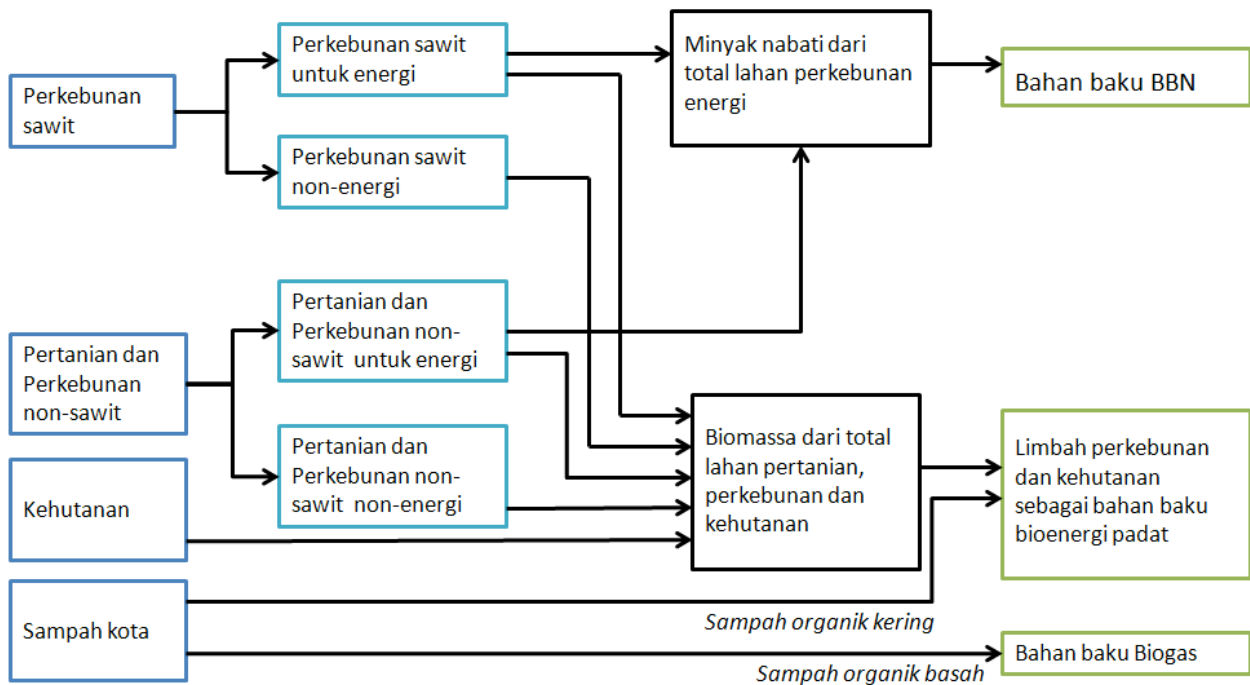
5	Padi				
	Sekam	ton	13.016.712	180.592.857	1.432
	Jerami	ton	90.370.365	1.056.602.982	8.376
6	Jagung				
	Tongkol	ton	4.263.116	62.470.849	495
	Batang & Daun	ton	14.920.906	156.177.123	1.238
7	Ubi Kayu				
	Limbah Cair	m3	111.796.967	10.089.673	271
8	Kayu				
	<i>Black Liquor</i> (Lindi Hitam)	ton	7.967.045	110.076.196	955
	Limbah Kayu	ton	2.678.782	49.348.299	380
9	Sapi				
	Kotoran	ton	53.782.761	35.496.619	535
10	Sampah Kota				
	Sampah Organik Basah	ton	18.499.755		
	<i>Refuse Derived Fuel</i>	ton	9.816.034	260.649.740	2.066
	TOTAL NASIONAL		-	4.094.277.399	32.654

1.3.2 Kebijakan Pengembangan Bioenergi Padat

Kebijakan terkait pengembangan biomassa yaitu Peraturan Menteri ESDM No. 27 Tahun 2014 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas oleh PT. PLN.

2. Metodologi

Sektor pasokan bioenergi dibagi menjadi 3 kategori, yaitu (1) sub-sektor pasokan bahan bakar cair nabati; (2) sub-sektor pasokan bioenergi padatan; serta (3) sub-sektor pasokan bioenergi gas. Struktur pemodelan sektor pasokan energi disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pemodelan pasokan sumber daya bioenergi

Sektor tata guna lahan yang terkait dengan sektor pasokan bioenergi yaitu sektor perkebunan sawit, perkebunan non-sawit dan kehutanan. Dalam pemodelan *Indonesia 2050 Pathway Calculator*, dilakukan simplifikasi untuk sektor pasokan bioenergi sebagai berikut.

- (1) Diasumsikan bahwa BBN yang diproduksi sebagian besar merupakan biofuel generasi pertama yang berbahan baku minyak nabati.
- (2) Diasumsikan bahwa bahan baku bioenergi padat hanya berasal dari limbah sektor pertanian, perkebunan dan kehutanan.
- (3) Diasumsikan bahwa bahan baku biogas hanya berasal dari sampah kota.

Pasokan bioenergi diasumsikan dibatasi luas lahan berdasarkan *one pager* yang dipilih pengguna. Luas lahan perkebunan baik kelapa sawit maupun non-kelapa sawit diasumsikan telah dibedakan untuk pasokan bioenergi dan non-energi. Penentuan asumsi dalam *one pager* dan parameter yang mempengaruhi proyeksi pasokan bioenergi hingga tahun 2050 dilakukan berdasarkan *expert judgement* dan melalui diskusi dengan para pemangku kepentingan termasuk pihak pemerintah, asosiasi, pelaku usaha dan kalangan akademisi. Perhitungan pasokan energi BBN dan bioenergi padat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$S = A \times P \times Y \times E$$

di mana

- S *Supply* atau pasokan energi BBN cair atau bioenergi padat dalam satuan energi
- A *Area* atau luas areal yang didedikasikan untuk memproduksi bioenergi
- P *Biomass potential* atau persentase potensi biomassa yang akan dimanfaatkan untuk pasokan bioenergi
- Y *Yield* atau perolehan BBN dan perolehan limbah biomassa untuk tiap luas lahan
- E *Energy content* atau kandungan energi dari produk BBN atau bioenergi padat yang dihasilkan

Pada persamaan di atas, parameter luas areal adalah asumsi level (*trajectory assumption*). Parameter potensi biomassa menjadi *trajectory assumption* hanya untuk sektor bioenergi padat. Parameter ini ditentukan 100% untuk sektor pasokan BBN. Parameter perolehan biomassa dan kandungan energi merupakan asumsi tetap (*fixed assumption*) yang diambil dari studi literatur. Parameter efisiensi konversi pada produksi BBN cair diasumsikan telah diakomodasi dalam nilai *yield* atau perolehan BBN. Luas areal yang menjadi input dalam perhitungan pasokan bioenergi padat mencakup luas total sektor pertanian dan perkebunan termasuk perkebunan sawit serta sektor kehutanan. Sedangkan luas areal yang menjadi input dalam perhitungan pasokan BBN cair hanya mencakup luas perkebunan sawit dan perkebunan non-sawit yang didedikasikan khusus untuk produksi BBN. Input luas areal ditentukan berdasarkan level yang dipilih pengguna pada sektor tata guna lahan dan pada sektor luas perkebunan energi. Perhitungan pasokan biogas dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$S = P \times W \times C \times E$$

di mana

- S *Supply* atau pasokan energi biogas dalam satuan energi
- P *Percentage of potential waste to energy* atau persentase dari potensi produksi sampah yang dapat diolah menjadi biogas
- C *Composition* atau komposisi sampah kota
- W *Waste production* atau produksi sampah kota dalam satuan berat per kapita per tahun
- E *Energy content* atau kandungan energi biogas yang dihasilkan untuk setiap satuan berat sampah

Pada persamaan di atas, parameter persentase potensi produksi sampah adalah *trajectory assumption*. Sedangkan parameter produksi sampah kota, komposisi sampah kota dan kandungan energi merupakan *fixed assumption* yang diambil dari studi literatur.

3. Sektor Pasokan BBN Cair

Asumsi Tetap/Fixed assumption

a. Perolehan BBN

Tabel 7. Asumsi perolehan BBN (DEN)

Sektor	Perolehan BBN
Pertanian & perkebunan non-sawit untuk energi	7 KL/ha
Perkebunan sawit untuk energi	6 KL/ha

b. Kandungan energi BBN

Tabel 8. Asumsi kandungan energi BBN (BPPT)

Sektor	Deskripsi	Kandungan energi
Pertanian & perkebunan non-sawit untuk energi	Biofuel generasi pertama	0,00759 MWh/L
Perkebunan sawit untuk energi	Biofuel generasi pertama	0,010034 MWh/L

c. Kebutuhan energi *own use*

Kebutuhan Energi *Own Use* untuk memproduksi BBN diasumsikan sebesar 5% dari produksi energi BBN yang dihasilkan (UK Calculator 2050).

Asumsi Level/ Trajectory assumption

Asumsi *trajectory* untuk sektor pasokan BBN cair yaitu luas perkebunan sawit dan non-sawit untuk BBN hingga tahun 2050. Luas perkebunan energi dihitung dari persentase berdasarkan level yang dipilih pengguna. Persentase tersebut dibandingkan dengan level luas perkebunan sawit dan non-sawit untuk non-energi yang dipilih pengguna pada sektor tata guna lahan. Luas perkebunan total diperoleh dari luas perkebunan non-energi ditambah dengan luas perkebunan energi.

Luas perkebunan (termasuk sawit) untuk BBN

Bahan baku BBN (bahan bakar nabati) generasi pertama berasal dari minyak nabati. Minyak kelapa sawit adalah bahan mentah yang paling baik untuk produksi biodiesel dilihat dari sisi ketersediaan bahan baku dan teknologi yang sudah komersial. Selain itu, minyak inti sawit juga merupakan bahan mentah untuk produksi bioavtur. Selain kelapa sawit, minyak nabati yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia antara lain singkong, tebu, jagung dan nipah untuk bioetanol; serta minyak tanaman non-pangan seperti jarak pagar, kemiri sunan, pongam, nyamplung, karet, dan lain-

lain. BBN juga dapat diproduksi dari bahan mentah berbasis lignoselulosa dan alga. *One pager* ini menjelaskan skenario yang dapat dipilih untuk menentukan luas perkebunan yang didedikasikan khusus untuk produksi BBN hingga 2050 berdasarkan skenario luas perkebunan non-energi termasuk kelapa sawit.

Level 1

Level 1 mengasumsikan luas perkebunan untuk biofuel mencapai 1,05 kali dari luas perkebunan non-energi pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terjadi dengan didukung oleh kebijakan pembatasan pembukaan lahan baru yang sangat ketat dan adanya insentif dari pemerintah untuk program intensifikasi sehingga lebih mendorong peningkatan produktivitas.

Level 2

Level 2 mengasumsikan luas perkebunan untuk biofuel mencapai 1,1 dari luas perkebunan non-energi pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terjadi dengan adanya kebijakan pembatasan pembukaan lahan baru dan kewajiban peremajaan perkebunan energi terutama kelapa sawit.

Level 3

Level 3 mengasumsikan luas perkebunan untuk biofuel mencapai 1,15 kali dari luas perkebunan non-energi pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terjadi dengan adanya kebijakan pembatasan pembukaan lahan baru yang lebih longgar tanpa didukung insentif untuk program intensifikasi.

Level 4

Level 4 mengasumsikan luas perkebunan untuk biofuel mencapai 1,3 kali dari luas perkebunan non-energi pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terjadi dengan dukungan komitmen pemerintah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari bahan bakar fosil.

4. Sektor Pasokan Bioenergi Padat

Sektor pasokan biomassa mencakup pemanfaatan limbah biomassa dari sektor pertanian, perkebunan dan kehutanan.

Asumsi Tetap/Fixed assumption

a. Perolehan dan kandungan energi limbah biomassa

Asumsi perolehan limbah biomassa dan kandungan energi biomassa diperoleh dari *database* biomassa Direktorat Bioenergi Kementerian ESDM. Luas lahan diperoleh dari data Kementerian Pertanian (2011). Berdasarkan data yang tersedia, asumsi perolehan dan kandungan energi biomassa disajikan pada Tabel 8. Perolehan dan kandungan energi diasumsikan konstan dari tahun dasar 2011 hingga tahun 2050.

Tabel 9. Asumsi perolehan dan kandungan energi limbah biomassa

Jenis industri/ sektor	Bahan baku	Sumber daya	Limbah (ton/tahun)	Luas lahan (ha)	Potensi energi (GJ)	Perolehan biomassa (ton/ha)	Potensi energi (TWh/ juta ton)
Perkebunan kelapa sawit	Kelapa sawit	Serat (<i>Fiber</i>)	12.830.950	8.992.824	180.778.665	13,17	3,45
		Cangkang (<i>Shell</i>)	6.136.541		108.861.141		
		Tandan kosong (EFB)	23.988.298		118.757.608		
		Pelepah	75.517.083		1.063.384.453		
Pertanian & perkebunan non sawit	Padi	Sekam	13.016.712	38.683.978	180.592.857	3,64	3,25
		Jerami	90.370.365		1.056.602.982		
	Jagung	Tongkol	4.263.116		62.470.849		
		Batang & daun	14.920.906		156.177.123		
	Tebu	Ampas tebu (<i>Bagasse</i>)	9.559.395		73.470.505		
		Daun dan pucuk tebu	7.154.403		9.862.170		
	Kelapa	Sabut kelapa	1.119.301		15.464.755		
		Tempurung kelapa	383.760		13.262.898		
Kehutanan		Kayu limbah industri	8.345.932	10.046.839	153.645.269	0,27	5,12

(dari berbagai sumber)

b. Kebutuhan energi *own use*

Kebutuhan energi *own use* untuk memproduksi bioenergi padatan diasumsikan sebesar 2% dari produksi energi bioenergi padatan yang dihasilkan (UK Calculator 2050).

Asumsi Level/ Trajectory assumption

Asumsi *trajectory* untuk sektor pasokan biomassa yaitu level pemanfaatan limbah biomassa di sektor pertanian, perkebunan dan kehutanan hingga tahun 2050.

a. Pemanfaatan limbah biomassa sektor pertanian dan perkebunan non-sawit

Limbah biomassa sektor pertanian mencakup jerami dan sekam padi, batang dan tongkol jagung, batang ubi kayu dan sebagainya. Sedangkan limbah sektor perkebunan termasuk ampas tebu, tempurung dan sabut kelapa, serta batang karet. Indonesia memiliki potensi biomassa dari sektor pertanian dan perkebunan sebesar 12.085 Mwe dan 14.191 Mwe berdasarkan *database* biomassa Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2013.

Level 1

Level 1 mengasumsikan tingkat potensi biomassa yang dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat dari limbah sektor pertanian dan perkebunan non-sawit hanya mencapai 5% pada tahun 2050. Hal ini karena pemanfaatan biomassa masih dilakukan secara tradisional tanpa adanya infrastruktur dan teknologi pendukung yang dikuasai masyarakat.

Level 2

Level 2 mengasumsikan tingkat potensi biomassa yang dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat dari limbah sektor pertanian dan perkebunan non-sawit mencapai 10% pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terjadi karena adanya kebijakan pemberian insentif dan *feed in tariff* listrik dari biomassa. Para pelaku usaha sektor pertanian dan perkebunan telah mulai menggunakan energi alternatif dari limbah biomassa untuk kegiatan industri.

Level 3

Level 3 mengasumsikan tingkat potensi biomassa yang dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat dari limbah sektor pertanian dan perkebunan non-sawit mencapai 25% pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan didukung oleh adanya kebijakan insentif, *feed in tariff*, kebijakan industri hijau, penurunan emisi GRK, penurunan konsumsi BBM, dan sebagainya. Pada level ini, akses pendanaan dan kapasitas sumber daya manusia semakin meningkat.

Level 4

Level 4 mengasumsikan tingkat potensi biomassa yang dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat dari limbah sektor pertanian dan perkebunan non-sawit telah mencapai 80% pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terwujud melalui dukungan komitmen pemerintah untuk pemanfaatan biomassa dari sektor pertanian dan perkebunan non-kelapa sawit. Akses teknologi dan pendanaan, serta kualitas sumber daya manusia telah semakin meningkat seiring dengan adanya dukungan kebijakan pemerintah daerah.

b. Pemanfaatan limbah biomassa sektor perkebunan kelapa sawit

Indonesia memiliki potensi limbah biomassa sektor perkebunan mencapai 14.191 Mwe berdasarkan *database* biomassa Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2013. Limbah biomassa sektor perkebunan kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan untuk menjadi sumber energi alternatif mencakup batang, cangkang dan tandan kosong sawit.

Level 1

Level 1 mengasumsikan 25% dari potensi limbah biomassa sektor perkebunan kelapa sawit telah dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terjadi karena pemanfaatan biomassa masih dilakukan dalam skala kecil oleh industri serta secara tradisional tanpa adanya infrastruktur dan teknologi pendukung yang dikuasai oleh masyarakat.

Level 2

Level 2 mengasumsikan 35% dari potensi limbah biomassa sektor perkebunan kelapa sawit telah dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terwujud melalui adanya kebijakan insentif dan *feed in tariff* listrik dari biomassa. Dengan demikian, pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif untuk kegiatan industri oleh para pelaku usaha perkebunan kelapa sawit semakin meningkat.

Level 3

Level 3 mengasumsikan 50% dari potensi limbah biomassa sektor perkebunan kelapa sawit telah dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan didukung oleh kebijakan insentif, *feed in tariff*, kebijakan industri hijau, penurunan emisi GRK, penurunan konsumsi BBM, dan sebagainya. Pada level ini, akses pendanaan dan kapasitas sumber daya manusia semakin meningkat.

Level 4

Level 4 mengasumsikan 80% dari potensi limbah biomassa sektor perkebunan kelapa sawit telah dimanfaatkan untuk memproduksi bioenergi padat pada tahun 2050. Kebijakan utama yang mendukung pemanfaatan biomassa tersebut adalah kebijakan *zero waste* dari kegiatan industri perkebunan kelapa sawit, yang didukung oleh ketersediaan teknologi skala besar dan kecil yang lebih efisien. Sejumlah skema pendanaan kegiatan pemanfaatan biomassa pada level ini diasumsikan telah berkembang dengan baik dan didukung oleh kebijakan pemerintah pusat dan daerah.

c. Pemanfaatan limbah biomassa sektor kehutanan

Selain limbah dari sektor pertanian dan perkebunan, limbah dari sektor kehutanan juga merupakan input bagi sektor pasokan bioenergi padat. Selain dapat dimanfaatkan langsung oleh masyarakat misalnya untuk memasak di sektor rumah tangga, limbah biomassa ini dapat dimanfaatkan sebagai pasokan bahan baku pembangkit listrik tenaga biomassa. Berdasarkan *database* biomassa

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2013, potensi umum biomassa dari sektor kehutanan mencapai 1.308 Mwe.

Level 1

Level 1 mengasumsikan tingkat potensi biomassa dari limbah kegiatan industri kehutanan yang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif hanya mencapai 5% pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan terjadi karena pemanfaatan biomassa masih dilakukan dalam skala kecil oleh industri dan secara tradisional oleh masyarakat sekitar.

Level 2

Level 2 mengasumsikan tingkat potensi biomassa dari limbah kegiatan industri kehutanan yang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif mencapai 10% pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan karena adanya ketersediaan akses teknologi dan aspek pendukung lainnya seperti insentif dan *feed in tariff* untuk listrik dari limbah biomassa. Kesadaran masyarakat dalam memanfaatkan biomassa secara non-tradisional telah meningkat.

Level 3

Level 3 mengasumsikan tingkat potensi biomassa dari limbah kegiatan industri kehutanan yang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif mencapai 25% pada tahun 2050. Hal ini diasumsikan karena adanya kebijakan pendukung seperti insentif, *feed in tariff*, kebijakan industri hijau, penurunan emisi GRK, penurunan konsumsi BBM, dan sebagainya. Pada level ini, akses pendanaan dan kapasitas sumber daya manusia semakin meningkat.

Level 4

Level 4 mengasumsikan tingkat potensi biomassa dari limbah kegiatan industri kehutanan yang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif telah mencapai 80% pada tahun 2050. Kebijakan utama yang mendukung pemanfaatan biomassa adalah kebijakan *zero waste* dari kegiatan industri kehutanan, yang didukung oleh ketersediaan teknologi skala besar dan kecil yang lebih efisien. Sejumlah skema pendanaan kegiatan pemanfaatan biomassa pada level ini diasumsikan telah berkembang dengan baik dan didukung oleh kebijakan pemerintah pusat dan daerah.

5. Sektor Pasokan Biogas

Asumsi Tetap/ Fixed assumption

a. Produksi sampah per orang

Produksi sampah kota diasumsikan sebesar 0,5 kg/kapita/hari, asumsi ini didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh NUDES (National Urban Development Strategy, 2003).

b. Komposisi sampah kota

Tabel 10. Asumsi komposisi sampah kota (ESDM)

Tipe	Persentase
Sampah kering	34,0%
Sampah basah	65,0%
Sampah inorganik	1,0%

c. Kandungan energi sampah kota

Tabel 11. Asumsi kandungan energi sampah kota (UK Calculator 2050)

Tipe	Kandungan energi (TWh/ juta ton)
Sampah kering	8,33
Sampah basah	1,39
Sampah anorganik	-

Asumsi Level/ Trajectory assumption

Biogas dari pemrosesan sampah kota adalah salah satu komponen dari sektor penyediaan sumber daya bioenergi. Biogas diproduksi dari sampah organik melalui proses anaerobik dengan bantuan mikroorganisme. Biogas dapat digunakan untuk memasak dan membangkitkan listrik. Saat ini, sampah kota belum banyak dimanfaatkan dan dibuang ke tempat pembuangan akhir (*landfill*).

Level 1

Level 1 mengasumsikan potensi biogas yang telah dikembangkan mencapai 1,87 MWe pada tahun 2050. Hal ini didukung dengan telah dibangunnya fasilitas pengelolaan sampah kota dan *biodigester* di 20 kota besar di Indonesia. Kapasitas fasilitas biogas yang paling efisien secara skala ekonomi yaitu di kota besar sehubungan dengan potensi sampah yang dihasilkan.

Level 2

Level 2 mengasumsikan potensi biogas yang telah dikembangkan mencapai 2,8 MWe pada tahun 2050. Hal ini didukung dengan telah dibangunnya fasilitas pengelolaan sampah kota dan *biodigester* di 20 kota besar dan 25 kota sedang di Indonesia. Hal ini juga didukung oleh adanya kebijakan *feed in tariff* serta telah tumbuhnya kesadaran pemerintah daerah untuk ikut serta berinvestasi dalam pengembangan pemanfaatan sampah kota untuk energi.

Level 3

Level 3 mengasumsikan potensi biogas yang telah dikembangkan mencapai 3,7 MWe pada tahun 2050. Hal ini didukung dengan telah dibangunnya fasilitas pengelolaan sampah kota dan *biodigester* di 20 kota besar dan 50 kota sedang di Indonesia. Hal ini juga didukung oleh adanya kebijakan *feed in tariff* serta telah tumbuhnya kesadaran pemerintah daerah untuk turut berpartisipasi dalam pengembangan pemanfaatan sampah kota untuk energi melalui mekanisme KPS (Kemitraan Publik Swasta). Teknologi *waste to energy* (WTE) untuk skala kecil yang efisien juga diasumsikan telah tersedia.

Level 4

Level 4 mengasumsikan potensi biogas yang telah dikembangkan mencapai 6,2 MWe pada tahun 2050. Hal ini didukung dengan telah dibangunnya fasilitas pengelolaan sampah kota dan *biodigester* di 20 kota besar dan 100 kota sedang di Indonesia. Hal ini juga didukung oleh adanya kebijakan *feed in tariff* serta telah tumbuhnya kesadaran pemerintah daerah untuk ikut berpartisipasi dalam pengembangan pemanfaatan sampah kota untuk energi melalui mekanisme KPS (Kemitraan Publik Swasta) yang lebih luas. Teknologi WTE untuk skala kecil yang efisien juga diasumsikan telah tersedia sehingga semakin banyak kota kecil yang memanfaatkan teknologi WTE ini dalam sistem pengelolaan sampahnya.

6. Referensi

- APEC. 2010. A Study of Employment Opportunities from Biofuel Production in APEC Economies. APEC Energy Working Group February 2010. [http://zunia.org/sites/default/files/media/node-files/21/188724_210_ewg_Biofuels-Employ\[1\]1269935661.pdf](http://zunia.org/sites/default/files/media/node-files/21/188724_210_ewg_Biofuels-Employ[1]1269935661.pdf) Diakses pada 30 Maret 2015.
- BPPT. 2014. Indonesia Energy Outlook 2014. www.bppt.go.id/index.php/unduh?task=document.download&id=519 Diakses pada 30 Maret 2015.
- ESDM. 2011. Tantangan Pengembangan Biogas Di Indonesia. <http://www.esdm.go.id/news-archives/323-energi-baru-dan-terbarukan/4177-tantangan-pengembangan-biogas-di-indonesia-.html> Diakses pada 30 Maret 2015.
- Febijanto, I., Agency for Assessment and Application of Technology (AAAT), Indonesian Renewable Energy Development and Opportunity to Implement CDM Scheme, Asian Science & Technology Seminar, Jakarta, March 2007, http://www.jst.go.jp/asts/asts_j/files/ppt/12_ppt.pdf
- IEA. 2012. Biomass Availability and Identification of Feedstock Potential in Indonesia. Bambang Prastowo. Indonesian Center for Estate Crops Research and Development Ministry of Agriculture. http://www.iea.org/media/workshops/2012/bioenergyccsandbeccs/3indonesian_center_crop_research.pdf. Diakses pada 28 Maret 2015.
- Kementan. 2014. Biofuel Generasi 1 Generasi 2. <http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2014/07/Biofuel-Generasi-Dua-REVIEV-2014-set-A5+-cover-oke.pdf> Diakses pada 30 Maret 2015.
- Kementerian ESDM. 2013. Metode dan Asumsi. <http://aplikasi.ebtke.esdm.go.id/biomass/index.php/geochart/index> Diakses pada 10 April 2015.
- Kementerian Pertanian. 2011. Outlook Pertanian 2010-2025. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- LIPI. 2010. Eksplorasi Sumberdaya Mikroba Penghasil Lemak Sel Tunggal Untuk Pengembangan Bioenergi Alternatif Berbasis Biodiesel dan Biometan. <http://km.ristek.go.id/assets/files/LIPI/1030%20D%20S/1030.pdf> Diakses pada 30 Maret 2015.
- Priyanto, U. and Ridlo, R., Agricultural and Wood Waste Potentials and Utilization in Indonesia, Center of Energy Resource Development Technology, Agency for Assessment and Application of Technology (AAAT), presentation at the Fourth Biomass Asia Workshop, November 2007, Malaysia http://www.biomass-asiaworkshop.jp/presentation_files/28_Priyant.pdf Diakses pada 30 Maret 2015.
- Suciyanto, Z., Kuniarsih, A., Slamet U. U. 2006. Pengolahan Jagung Tongkol menjadi Jagung Pipil. Universitas Mercubuana : Yogyakarta.
- Soerawidjaja, T.H. 2010. Peran Bioenergi dan Arah-araha Utama LitBangRap-nya di Indonesia. Lokakarya Gasifikasi Biomassa, Kampus ITB, Bandung, 16-17 Desember 2010. <http://www.lppm.itb.ac.id/wp-content/uploads/2011/01/THS-PeranBioenergiDanArahUtamaLitbangrap.ppt> Diakses pada 30 Maret 2015.
- Survey of Biomass Resource Assessments and Assessment Capabilities in APEC Economies. Energy Working Group November 2008. APEC. <http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/43710.pdf> Diakses pada 30 Maret 2015.