

Kondisi Gas Bumi Indonesia dan Energi Alternatif Pengganti Gas Bumi

Yudhanto Edhi Wibowo, Jaka Windarta

Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro

Email : yudhantoedhiwibowo@students.undip.ac.id (Y.E.W), jakawindarta@lecturer.undip.ac.id (J.W);

Abstrak : Sejalan dengan kebutuhan akan energi gas bumi, penurunan produksi dan cadangan gas bumi dalam negeri maka diprediksi neraca gas bumi Indonesia akan segera terjadi. Untuk mengurangi impor dan memperlambat habisnya cadangan gas bumi maka perlu dikembangkan energi alternatif yang terbarukan untuk dipakai atau menjadi energi pengganti dari Gas Bumi. Gas bumi digunakan dalam fase gas dan biasanya digunakan sebagai energi penggerak turbin gas atau mesin gas, untuk itu alternatif pengganti gas bumi harus memungkinkan untuk diterapkan pada atau mesin dengan tenaga gas bumi. Energi terbarukan yang mendukung untuk mengganti peran gas bumi antara lain LFG (*Landfill Gas*), Biogas dan Hidrogen. Indonesia dapat memproduksi LFG dalam jumlah besar jika dapat melakukan upgrade TPA yang ada lebih dari 500 lokasi tersebar di seluruh Indonesia. Biogas Indonesia dapat diproduksi dari bahan baku limbah POME dan limbah ternak yang melimpah. Sedangkan hidrogen adalah sumber alternatif masa depan yang sangat bersih, dimana perkembangan teknologi proses produksi dan pengguna produk hidrogen cukup cepat. Hidrogen dapat dihasilkan dari berbagai proses terbarukan dimana akan menjadi potensi yang sangat bermanfaat bagi dunia, dan khususnya Indonesia di masa mendatang. Pemerintah Indonesia perlu melakukan langkah nyata untuk menerapkan bahan bakar alternatif pengganti gas bumi melalui penyediaan fasilitas dan pelaksanaan kebijakan.

Kata Kunci : Gas Bumi, LFG, Biogas, Hidrogen.

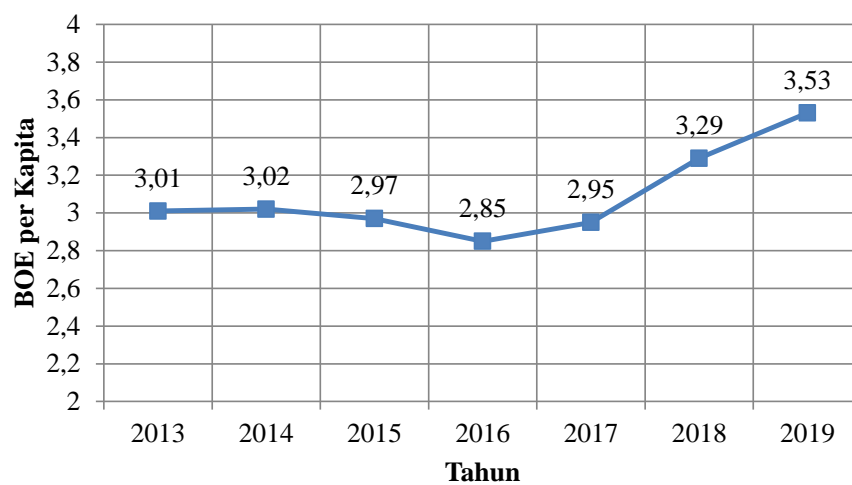
Abstract : In line with the need for natural gas energy, the decline in domestic natural gas production and reserves, it predicted that Indonesia's natural gas balance will soon occur. To reduce imports and slow down the depletion of natural gas reserves, it is necessary to develop alternative renewable energy to be used or as a substitute energy for natural gas. Natural gas used in the gas phase and is usually used as energy to drive gas turbines or gas engines, for that alternative natural gas substitutes must be possible to be applied to or machines powered by natural gas. Renewable energies that support to replace the role of natural gas include LFG, Biogas and Hydrogen. Indonesia can produce LFG in large quantities if it can upgrade the existing landfills in more than 500 locations spread throughout Indonesia. Indonesia's biogas can produced from abundant POME and livestock waste raw materials. Meanwhile, hydrogen is an alternative source of a very clean future, where the development of technology for the production process and users of hydrogen products is quite fast. Hydrogen can produced from various renewable processes that will be a very useful potential for the world, and especially for Indonesia in the future. The Indonesian government needs to take concrete

steps to implement alternative fuels to replace natural gas through the provision of facilities and implementation of policies.

Keywords : Natural Gas, LFG, Biogas, Hydrogen.

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki jumlah populasi penduduk no 4 terbanyak di dunia. Dari data tahun 2018, jumlah penduduk Indonesia berjumlah 265 juta jiwa dengan pertumbuhan rata-rata tahun 2010-2018 sebesar 1,33%. (Badan Pusat Statistik, 2019). Dari gambar 1 dibawah terlihat bahwa Indonesia juga mempunyai intensitas konsumsi energi final yang cukup tinggi dengan tendensi naik tiap tahunnya.



Gambar 1. Grafik Intesitas Energi Final Indonesia (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019)

Dengan jumlah penduduk dan intensitas energi yang besar, Indonesia memiliki tantangan untuk memenuhi kebutuhan dan energi dalam negeri.

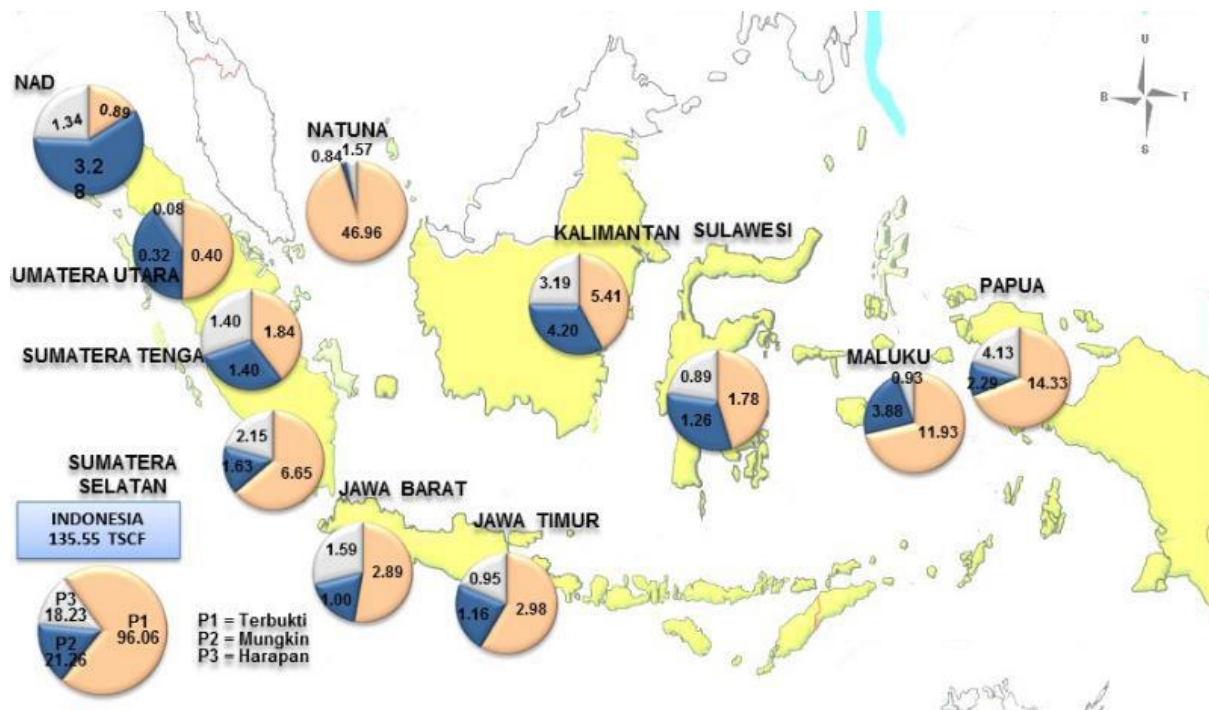
Gas bumi adalah salah satu sumber energi yang memiliki peran cukup penting pada pemenuhan kebutuhan energi Indonesia. Kebutuhan gas bumi di Indonesia diperuntukan baik untuk sektor industri, sektor transportasi, sektor rumah tangga maupun sektor komersial. Gas bumi dan turunannya adalah sumber pemenuhan energi primer Indonesia ketiga terbesar setelah batubara dan minyak bumi. Pada tahun 2019, suplai energi primer gas bumi dan turunannya untuk kebutuhan energi Indonesia adalah sebesar 288,59 juta SBM (setara barel minyak) yang setara dengan 17,8% dari total suplai energi primer Indonesia (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019).

Dari dasar diatas maka diperlukan perhatian khusus dari semua pihak untuk melakukan optimalisasi dan perencanaan energi serta penyiapan energi alternatif untuk menggantikan sumber energi fosil dimana salah satunya adalah gas bumi.

2. Potensi dan Cadangan Gas Bumi

Indonesia memiliki cadangan gas bumi sebesar 1,5 % dari total cadangan gas dunia. Berdasarkan data per 1 Januari 2018, cadangan gas Indonesia berjumlah 135,55 TSCF terdiri dari cadangan terbukti (P1) sebesar 99,02 TSCF, cadangan mungkin (P2) sebesar 21,26 TSCF dan cadangan harapan (P3) sebesar 18,23 TSCF (Dewan Energi Nasional, 2020). Cadangan terbukti P1 (*proved reserves*) adalah mencakup cadangan yang telah dibuktikan dengan pengeboran dan telah dihitung keekonomiannya. Sedangkan cadangan mungkin P2 (*probable reserves*) dan cadangan harapan P3 (*possible reserves*) adalah cadangan yang berpotensi untuk dikembangkan dan dieksploitasi melalui eksplorasi yang lebih teliti dan menggunakan teknologi yang lebih baik.

Cadangan gas bumi Indonesia tersebar di beberapa propinsi dimana cadangan terbesar berada di propinsi Kepulauan Riau yaitu di Natuna, diikuti propinsi Papua, propinsi Maluku dan propinsi Kalimantan. Sebaran cadangan gas bumi dapat dilihat di Gambar 2.



Gambar 2. Peta Sebaran Cadangan Gas Bumi Indonesia (Dewan Energi Nasional, 2020)

3. Kebutuhan dan Produksi Gas Bumi Indonesia

3.1. Kebutuhan Dalam Negeri Gas Bumi Indonesia

Kebutuhan Gas Bumi sebagai suplai energi primer Indonesia berada pada peringkat ketiga setelah batubara dan minyak bumi. Jumlahnya kebutuhan energi primer dari gas bumi naik secara perlahan dari tahun ketahun. Namun suplai gas bumi tersebut masih belum mampu memenuhi harapan dimana gas bumi diharapkan sebagai pengganti peran minyak bumi. Hal ini dapat dilihat dari nilai presentase bauran dimana di tahun 2019 gas bumi hanya mempunyai peran sebesar 17,8% dari total bauran energi primer, turun dari 20,52% di tahun 2013. Porsi minyak saat ini ditekan dari suplai energi primer batubara seperti dapat dilihat di tabel 1 berikut :

Tabel 1.
 Sumber Pemenuhan Energi Primer Indonesia tahun 2013-2019
 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019)

Tahun	Batubara (SBM)	Minyak Bumi dan turunannya (SBM)	Gas Bumi dan turunannya (SBM)	Lainnya (SBM)	Total (SBM)
2013	302.694.000	587.652.963	270.134.751	155.913.565	1.316.395.279
2014	319.956.003	584.459.891	271.375.371	152.215.690	1.328.006.955
2015	364.619.216	509.485.005	275.465.640	144.857.283	1.294.427.144
2016	380.310.000	613.390.738	288.546.633	163.747.093	1.445.994.464
2017	407.526.000	552.942.024	285.604.946	163.969.335	1.410.042.305
2018	483.335.998	566.987.912	288.310.815	193.567.158	1.532.201.883
2019	581.356.407	546.169.969	288.586.414	204.575.096	1.620.687.886

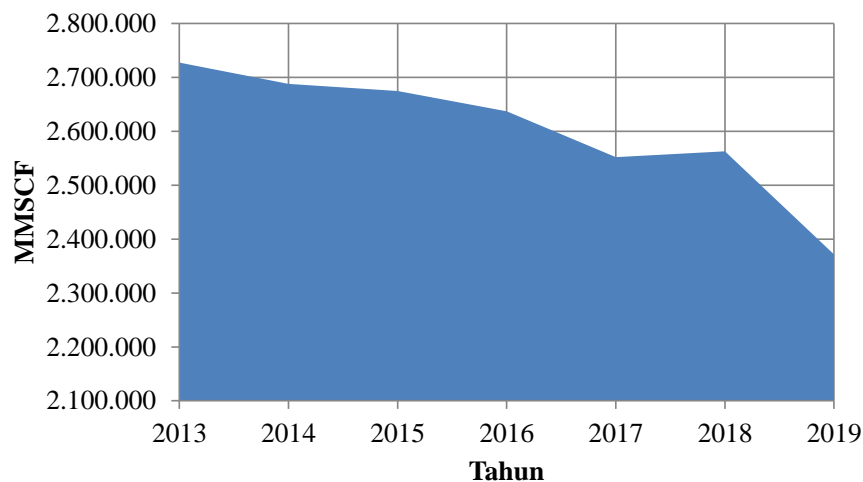
Produksi Gas Bumi Indonesia digunakan di berbagai sektor dalam negeri antara lain: produksi LNG, produksi LPG, Kilang, gas rumah tangga, industri, dan pembangkitan listrik. Hal ini dapat dilihat di tabel 2 dibawah. Pada tabel 2 dibawah, mulai tahun 2018, kebutuhan gas bumi sektor komersial dimasukkan ke kategori sektor industri dari sektor gas kota. Sektor gas kota hanya meliputi konsumen skala kecil seperti sektor rumah tangga. (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019)

Tabel 2.
 Kebutuhan Gas Bumi di Beberapa Sektor Tahun 2013-2019
 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019)

Tahun	Industri LNG (MMSCF)	Industri LPG (MMSCF)	Kilang Minyak (MMSCF)	Gas Kota (MMSCF)	Industri (MMSCF)	Listrik (MMSCF)
2013	1.040.992	26.647	38.866	8.669	697.028	302.958
2014	978.978	29.757	41.992	8.702	691.078	319.491
2015	919.723	24.801	47.384	8.847	687.560	305.484
2016	913.303	24.805	105.138	8.701	562.243	337.055
2017	841.862	22.418	50.033	8.691	627.499	297.649
2018	968.994	29.842	42.322	3.065	672.298	263.534
2019	834.243	20.167	40.917	3.457	666.518	238.703

3.2. Produksi Gas Bumi Indonesia

Produksi Gas Bumi Indonesia mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Hal ini dapat dilihat di Gambar 3. Pencapaian produksi rata-rata gas bumi mulai menurun yang disebabkan oleh penurunan performance reservoir secara alami (*natural decline*) dan juga belum ditemukannya cadangan besar yang akan menggantikan produksi gas yang mulai menurun. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019). Selain itu terdapat beberapa masalah pada usaha penambahan eksplorasi diantaranya yaitu data subsurface untuk menetapkan peningkatan wilayah eksplorasi menjadi eksploitasi masih terbatas, penetapan harga gas untuk suplai dalam negeri yang belum kompetitif, dan biaya investasi yang besar. (Dewan Energi Nasional, 2020)



Gambar 3. Produksi Gas Bumi Indonesia 2013-2020 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019)

3.3. Ekspor Gas Bumi & LNG Indonesia

Meskipun cadangan gas bumi Indonesia hanya 1,5% dari cadangan gas bumi dunia, Indonesia adalah salah satu negara pengeksport gas bumi dan LNG. Pada tahun 2018 masih masuk dalam sepuluh besar negara pengeksport LNG dengan persentase 4.7% dari seluruh ekspor LNG dunia (PricewaterhouseCoopers (PWC), 2019). Tujuan ekspor gas bumi dan LNG Indonesia didominasi negara-negara di Asia Timur dan Tenggara seperti Singapura, Jepang, China, Korea dan Malaysia. (Badan Pusat Statistik, 2019). Perkembangan ekspor gas bumi dan LNG Indonesia dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3.
 Perkembangan Ekspor Gas Bumi dan LNG Indonesia tahun 2013-2019
 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019)

Tahun	Ekspor Gas Bumi (pipa) (MMSCF)	Ekspor LNG (ribu MMBTU)	% Ekspor LNG terhadap Produksi LNG	% Ekspor Gas Bumi & LNG terhadap Produksi Bersih Gas Bumi
2013	335.164	888.134	94,2%	47,3%
2014	342.669	834.243	92,0%	45,5%
2015	306.679	811.043	89,4%	45,0%
2016	282.741	747.697	85,8%	45,4%
2017	272.356	689.442	85,5%	44,6%
2018	261.180	696.340	85,3%	43,6%
2019	252.237	512.517	78,6%	39,3%

Dari tabel diatas terlihat bahwa terjadi penurunan ekspor gas bumi dan LNG. Hal ini utuk menjamin kebutuhan gas bumi dalam negeri (domestik) karena menurunnya produksi dan meningkatnya kebutuhan gas bumi nasional.

3.4. Neraca Gas Bumi Indonesia Mendatang

Untuk menjaga pasokan gas bumi positif pemerintah berusaha merealisasikan proyek gas bumi baru seperti Lapangan Merakes (ENI East Sepinggan) dan Asap Kido Merah (Genting Oil); Lapangan Gendalo, Gandang dan Gehem (IDD Project); Lapangan Abadi (INPEX Masela) dan East Natuna. Pemerintah juga tidak akan memperpanjang komitmen ekspor gas bumi untuk memperkuat pasokan domestik, antara lain: komitmen LNG 1973 dan 1981 (Western Buyers Extention) akan berakhir di 2020 dan komitmen ekspor LNG Tangguh akan berakhir di tahun 2020 dan 2022. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada buku Neraca Gas Bumi Indonesia 2018-2027 melakukan prediksi dengan tiga skenario, seperti yang terlihat pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4. Neraca Gas Nasional 2018-2027 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018)

Dimana skenario pada Neraca Gas Nasional skenario 1 akan mengalami surplus gas dari tahun 2018-2027, dikarenakan perhitungan demand didasarkan pada realisasi pemanfaatan gas bumi serta tidak diperpanjangnya kontrak-kontrak ekspor gas pipa/LNG jangka panjang. Sedangkan skenario 2 & 3 diassumsikan : pemanfaatan gas dari kontrak eksisting terealisasi 100%, pemanfaatan gas untuk sektor kelistrikan sesuai dengan RUPTL 2018-2027, asumsi pertumbuhan gas bumi sesuai dengan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan pabrik-pabrik baru petrokimia dan pupuk sesuai jadwal (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018). Dewan Energi Nasional pada buku Buku Bauran Energi Nasional 2020 memperkirakan dengan kondisi cadangan terbukti sekarang dan rata-rata produksi gas bumi tahunan 2.833,78 MMSCF serta jika tidak ditemukan cadangan baru maka gas bumi Indonesia akan habis dalam 34 tahun. Dengan gambaran dua prediksi diatas diperlukan langkah antisipasi energi pengganti yang terbarukan untuk energi primer gas bumi.

4. Energi Alternatif Pengganti Gas Bumi

Gas Bumi digunakan sebagai sumber energi dalam fase gas, sehingga mempunyai beberapa keuntungan dibanding energi fosil lain, yaitu :

- Emisi yang dihasilkan relatif lebih rendah.
- Mudah untuk dikirim (dengan perpipaan).
- Tidak menimbulkan abu ketika dibakar.
- Proses dan operational pengkonversian ke energi listrik relative lebih mudah, dan sebagainya.

Ada beberapa sumber energi terbarukan yang diharapkan dapat menggantikan atau dipakai bersamaan dengan gas bumi pada mesin bertenaga gas (*gas engine*) antara lain: *landfill gas* (gas TPA), biogas, *hydrogen* (gas hidrogen). Peningkatan penggunaan energi terbarukan tersebut dapat memperlambat habisnya gas bumi.

4.1. Gas TPA (*landfill gas/LFG*)

LFG adalah produk proses dekomposisi yang terjadi pada tempat pembuangan akhir (TPA) dimana mayoritas berupa sampah rumah tangga. Komposisi mayoritas berupa gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2) (Martinec et al., 2019). Hampir diseluruh kota atau wilayah di Indonesia memiliki TPA. Saat ini setiap penduduk Indonesia membuang sampah sebesar 0,85 kg setiap hari. Jumlah itu diperkirakan akan naik menjadi 1,2 kg per hari per penduduk seiring dengan pertumbuhan kesejahteraan penduduk. Dari jumlah sampah yang diproduksi kurang lebih 40% akan menuju ke TPA (Prihatin, 2020). Di lain pihak gas metana yang dihasilkan dari TPA mempunyai efek rumah kaca yang jauh lebih kuat dari carbon dioksida (Trubaev et al., 2018). Gas metana ini memiliki densitas yang rendah sehingga cenderung bergerak keatas dan jika tidak diserap akan terlepas ke atmosphere secara langsung sebagai emisi gas rumah kaca.

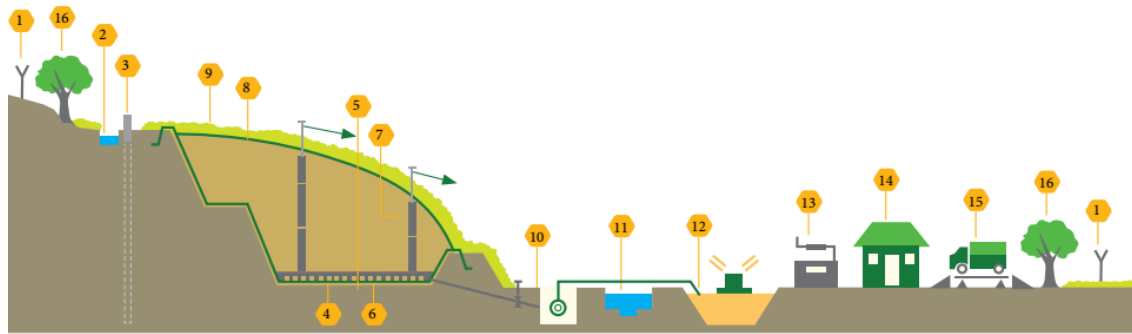
Dari kebanyakan TPA yang ada di Indonesia hanya sedikit TPA yang berkategori sanitary landfill, seperti terlihat pada tabel 4. TPA perlu diupgrade menjadi sanitary landfill untuk dapat memanen LFG dan mengkonversi sampah menjadi energi:

Tabel 4.

Data TPA di Indonesia tahun 2007
(Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2015)

Tipe	Jumlah	Luas (Ha)
TPA terbuka (<i>open dump</i>)	445	1.433
TPA terkontrol (<i>Controlled landfill</i>)	52	483
TPA sanitasi (<i>Sanitary landfill</i>)	24	182
Total	521	2.098

Karena sanitary landfill di desain dan memiliki elemen operasi yang diperlukan untuk melakukan penangkapan LFG secara optimal seperti: penggunaan sistem pelapis bagian bawah (*Bottom liner*), sistem pengumpul, pemroses dan pembuangan air lindi, lapisan pembatas bagian atas, sistem pengisian landfill yang benar, pengkopakan/pengepresan sampah, sistem pengontrol kebakaran, dsb seperti terlihat di gambar 5 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2015).



- | | |
|--|---|
| 1. Pagar Batas | 9. Permukaan tanah yang dipulihkan |
| 2. Drainase Limpasan Permukaan | 10. Tempat Pemompaan Air Lindi/Leachate |
| 3. Pemantauan Air Tanah | 11. Sistem Drainase Perimeter |
| 4. Sistem Lapisan Penahan Bagian Bawah | 12. Instalasi Pengolahan Air Lindi |
| 5. Sistem Pengumpulan Air Lindi/Leachate | 13. Pembangkit Listrik Tenaga Gas TPA (LGF) |
| 6. Pipa Drainase Air Lindi/Leachate | 14. Kantor Operasi |
| 7. Sumur Gas untuk TPA | 15. Jembatan timbang |
| 8. Pembatasan/Pelapis Bagian atas | 16. Pohon Penyaringan |

Gambar 5. Skema tipikal sanitary landfill

(Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2015)

Dengan mengupgrade TPA di Indonesia menjadi *sanitary landfill* akan meningkatkan produksi LFG yang dapat digunakan secara mandiri atau bersamaan dengan gas bumi untuk menjalankan mesin bertenaga gas dan mengkonversi energi ke bentuk lain seperti energi listrik atau energi panas. Diperlukan waktu empat sampai lima tahun agar *sanitary landfill* menghasilkan gas metana secara stabil (*phase: Anaerobic methanogenic steady*), dimana produksi akan berlangsung sepuluh sampai tiga puluh tahun. Terdapat beberapa TPA yang sudah menghasilkan LFG seperti : TPA Bantar Gebang di Bekasi, TPA Benowo di Gresik, TPA Sarbagita Bali dan TPA Meulaboh di Aceh.

4.2. Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh pencernaan anaerobik dari bahan yang dapat terurai alami oleh mikroorganisme terutama bakteri, bahan tersebut antara lain : kotoran ternak, biomassa, limbah rumah tangga, dan limbah pertanian. Seperti halnya LFG, biogas tersusun mayoritas dari gas metana dan gas karbondioksida, seperti terlihat pada tabel 5:

Tabel 5.

Komposisi Biogas (Bharathiraja et al., 2018)

Unsur	Formula	Konsentrasi (v/v)	Catatan
Metana	CH ₄	40% – 75%	Mudah terbakar
Karbondioksida	CO ₂	15% – 60%	
Uap air	H ₂ O	1% – 5%	
Nitrogen	N ₂	0% – 5%	
Hidrogen Sulfida	H ₂ S	0 – 5.000 ppm	Mudah terbakar
Oksigen	O ₂	< 2%	
Ammonia	NH ₄	0 – 500 ppm	

Biogas bersifat tidak berbau, tidak berwarna, relatif lebih ringan dari udara, memiliki nilai kalori 20 MJ/Nm³ dan temperature nyala antara 650°C sampai 750°C. (United States Agency for International Development, 2015). Beberapa bahan baku yang potensial digunakan sebagai bahan baku biogas antara lain: limbah produksi minyak sawit (POME : *Palm Oil Mill Effluent*), dan limbah ternak. Indonesia adalah salah satu penghasil minyak sawit terbesar dunia, data di tabel 6 menunjukkan besarnya keberadaan perkebunan sawit dimana secara tidak langsung menunjukkan besarnya potensi industri biogas dengan bahan POME.

Tabel 6.

Data Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia tahun 2018 (Badan Pusat Statistik, 2019)

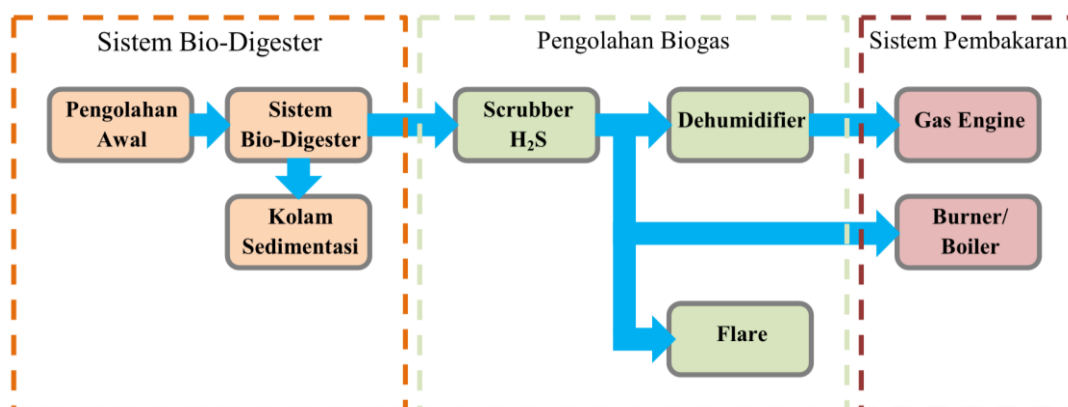
Kelapa Sawit			
Tahun	Luas Kebun (ribu ha)	Produksi Kebun (ribu ton)	Jumlah Perusahaan Perkebunan Besar
2018	14.327,1	40.567,2	1.600

Dengan jumlah penduduk yang besar, Indonesia juga mempunyai ternak dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Tabel 7 menunjukkan besar populasi ternak Indonesia tahun 2018 dimana secara tidak langsung menunjukkan potensi industry biogas dengan bahan baku kotoran ternak.

Tabel 7.

Data Ternak Indonesia tahun 2018 (Badan Pusat Statistik, 2019)

Tahun	Sapi perah (ribu ekor)	Sapi Potong (ribu ekor)	Kerbau (ribu ekor)	Kuda (ribu ekor)	Kambing (ribu ekor)	Domba (ribu ekor)	Babi (ribu ekor)
2018	550,1	17050	1356,4	421,1	18720	17397	8542



Gambar 6. Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Biogas
 (United States Agency for International Development, 2015)

Gambar 6. Diatas adalah diagram pembangkit listrik tenaga biogas, dimana terdapat 3 proses utama : yaitu sistem bio-digester, pengolahan biogas dan sistem pembaran. Pada sistem bio-digester, pada pengolahan awal, bahan baku disiapkan untuk memenuhi kriteria proses di digester. Di dalam digester biogas dihasilkan melalui proses anaerobik. Limbah dari proses bio digester akan masuk ke

kolam sedimentasi sedangkan biogas diproses lebih lanjut pada scrubber untuk pemisahan H₂S dan dehumidifier untuk mengurangi kadar air dari biogas sebelum digunakan di gas engine. Pada gas engine energi dari biogas dikonversi menjadi energi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik melalui generator. Dengan mengintegrasikan pembuangan limbah organik dan unit pengolah biogas maka potensi energi biogas Indonesia dapat dioptimalkan sehingga menjadi energi alternative yang terbarukan untuk digunakan bersama atau menjadi pengganti gas bumi.

4.3. Hidrogen

Hidrogen energi adalah salah satu topik terhangat dalam perkembangan energi terbarukan. Proses pembuatan hidrogen secara terbarukan berkembang dan memungkinkan biaya produksi turun mencapai harga yang terjangkau dimasa datang. Berbagai peralatan, gas engine dan alat transportasi dikembangkan untuk dapat menggunakan hidrogen sebagai sumber energinya secara aman dan berkesinambungan. Beberapa hal yang dipertimbangkan bahwa teknologi hidrogen perlu dikembangkan (IRENA, 2019), yaitu :

- Hidrogen dapat membantu mengatasi krisis energi dan emisi.
- Hidrogen dapat digunakan diberbagai penggunaan dan dapat dihasilkan dari bermacam-macam proses.
- Hidrogen dapat meningkatkan kontribusi renewable energi secara signifikan.

Hidrogen adalah pembawa energi yang bersih dan gratis (free and clean energy carrier) dapat diaplikasikan ke beberapa sektor industri :

- 1) Chemical : kosmetik, produksi ammonia, produksi dan fabrikasi logam, industri makanan, produksi methanol, dan industry elektronik
- 2) Fuel :
 - a) Turbin gas/gas engine

Melalui turbin gas/gas engine, hidrogen dapat dikonversi menjadi energi listrik, energi panas maupun energi mekanik. Beberapa perusahaan manufaktur turbin gas berlomba-lomba untuk menghasilkan produk yang dapat dioperasikan dengan energi dari hidrogen, seperti :

GE Power yang mempunyai teknologi Turbin gas dengan pembakaran yang dapat mengakomodasi bahan bakar hidrogen hingga 100%.
(<https://www.ge.com/power/gas/fuel-capability/hydrogen-fueled-gas-turbines>)

Ansaldo Energia yang mempunyai teknologi Turbin gas dengan pembakaran yang dapat mengakomodasi bahan bakar hidrogen hingga 50%.
<https://www.ansaldoenergia.com/PublishingImages/Idrogeno/Ansaldo%20Energia%20Solutions%20For%20Hydrogen%20Combustion.pdf>

Kawasaki yang sukses melakukan verifikasi operational turbin gas berbahan bakar 100% hydrogen dengan teknologi pembakaran rendah NOx.
https://global.kawasaki.com/news_200721-1e.pdf

Siemens yang berkomitmen untuk meningkatkan kapabilitas bahan bakar hydrogen untuk turbin gasnya dari 20% di tahun 2020 menjadi 100% di tahun 2030.
<https://gasturbine.world/working-toward-100-percent-hydrogen/>

Beberapa tipe turbin gas yang mempunyai teknologi untuk memakai bahan bakar hidrogen dimasa datang sudah terpasang di beberapa pembangkit di Indonesia, antara lain:

Turbin gas GE dengan model Aeroderivative, F Class dan HA Class terinstall di beberapa pembangkit, seperti : PLTGU Jawa 1 dan PLTGU Tambak Lorok dengan turbin gas tipe HA Class. <https://www.ge.com/apac/our-company/indonesia>

Turbin gas Ansaldo dengan tipe AE94.2 di PLTGU Grati <https://www.ansaldoenergia.com/Pages/Ansaldo-Energia-awarded-contracts-in-Indonesia-worth-80-million-euros.aspx>

b) Fuel cell

Fuel cell dianggap sebagai salah satu teknologi kunci abad 21, menghasilkan energi listrik dan energi panas secara bersih dan efisien. Fuel cell pada umumnya menggunakan hidrogen atau bahan dengan kandungan Hidrogen konsentrasi tinggi dan oksigen dari udara sebagai sumber energi. Fuel cell dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan dari pembangkit listrik mikro, portable maupun stationary. Sebagai pembangkit listrik, fuel cell memiliki keunggulan, antara lain kebutuhan maintenance rendah, modularitas dan penempatan yang flexible, mempunyai volumetrik dan grafimetrik efisiensi yang tinggi, tidak menghasilkan polutan, menghasilkan emisi suara, kimia dan panas yang rendah (Giorgi & Leccese, 2013).

Saat ini total lebih dari 800MW sistem stationary fuel cell dengan kapasitas masing-masing diatas 200kW terinstall di dunia dan digunakan untuk produksi listrik dan panas. Sistem tersebut kebanyakan dikembangkan di Amerika dan Korea Selatan (Weidner et al., 2019).

Fuel cell saat ini belum banyak dikembangkan di Indonesia karena biaya pengadaan yang masih cukup tinggi dan ketersediaan hidrogen sebagai sumber energi masih sedikit, harga mahal dan distribusi network yang belum tersedia dengan baik. Melihat perkembangan teknologi fuel cell dan produksi hidrogen, kedepannya teknologi ini dapat menjadi alternative pemenuhan kebutuhan energi listrik yang bersih serta menjangkau daerah terisolir dan pulau pulau yang tidak terkoneksi jaringan listrik utama.

Beberapa sumber energi yang dapat diaplikasikan untuk memproduksi Hidrogen :

1) Energi Fosil

Saat ini produksi hidrogen mayoritas diproduksi dari gas bumi melalui proses steam reforming (Straka, 2012). Energi fosil lain yang dapat digunakan adalah batubara dengan proses gasifikasi. Proses gasifikasi terdiri dari tahap pengeringan, pyrolysis, pembakaran dan gasifikasi dengan hasil utama gas hidrogen dan karbonmonoksida (Rizkiana et al., 2018). Indonesia memiliki banyak sumber daya dan cadangan batubara. Dari data tahun 2019, Indonesia memiliki 88 milyar ton sumber daya batubara terverifikasi dan 25 milyar ton cadangan batubara terverifikasi. (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019). Dengan proses gasifikasi, batubara Indonesia khususnya yang berkualitas rendah dapat ditingkatkan nilainya menjadi bahan bakar hidrogen yang ramah lingkungan dan dapat digunakan untuk mesin dan turbin gas (pengganti gas bumi).

2) Energi terbarukan (Air)

Elektrolisis adalah salah satu cara pemecahan molekul air menjadi hidrogen dan oksigen yang paling banyak digunakan dimana dalam prosesnya menggunakan energi listrik arus searah yang dilewatkan ke dua elektroda (Straka, 2012). Elemen utama dalam proses elektrolisis adalah air dan energi. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut di Indonesia menjadi proses yang lebih ekonomis dan menguntungkan. Penempatan electrolyzer, tabung gas hidrogen dan fuel cell pada jaringan listrik merupakan salah satu cara untuk melakukan penyimpanan energi (energy storage). Kebutuhan dan produksi energi listrik sangat bervariasi terhadap waktu. Ketika kebutuhan energi listrik turun, energi dapat disimpan dalam bentuk hidrogen dengan penggunaan electrolyzer. Ketika permintaan produksi listrik tinggi, hidrogen dapat diubah menjadi energi listrik dengan memanfaatkan fuel cell (Campbell, 2020).

3) Energi Terbarukan (Biomassa)

Energi pada biomassa dapat dikonversi menjadi hidrogen melalui proses biologi dengan penggunaan bakteri anaerob atau algae. Produksi hidrogen secara biologi sebagai produk samping dari metabolisme mikroorganisme dapat dibagi menjadi 5 kategori : direct biophotolysis, indirect biophotolysis, biological watergas conversion, photofermentation dan dark fermentation. Semua proses ini dikendalikan oleh enzim yang menghasilkan hidrogen, khususnya nitrogenase dan hydrogenase (Straka, 2012). Produksi biohidrogen Indonesia masih sebatas wacana namun dapat dijadikan alternative dimasa datang ketika produk, mesin dan peralatan berbahan bakar hidrogen semakin berkembang dimasa datang.

Tabel 7 menunjukkan ringkasan teknologi produksi hidrogen dari elemen non hidrokarbon.

Tabel 7.

Ringkasan Teknologi Produksi Hidrogen Non Hydrocarbon (Straka, 2012)

Teknologi	Element Utama	Efektivitas	Catatan
Alkaline electrolyzer	air & energi listrik	50% – 70%	
PEM electrolyzer	air & energi listrik	55% – 70%	
Electrolyzing cells of solid oxides	air, energi listrik & panas	40% – 60%	Efisiensi elektrolisis suhu tinggi tergantung pada suhu kerja elektrolisis dan efisiensi sumber energi panas.
Photoelectrochemical water splitting	air & energi matahari	12,40%	tidak termasuk proses pemurnian Hidrogen
Dark fermentation	Biomassa	60% – 80%	
Photofermentation	Biomassa & energi matahari	0,10%	tidak termasuk proses pemurnian Hidrogen
Microbial electrolysis cells	Biomassa & energi listrik	78%	tidak termasuk proses pemurnian Hidrogen
Pyrolysis	Batubara	50%	Efisiensi termal berdasarkan nilai kalor yang lebih tinggi
Co-pyrolysis	Batubara dan material sampah	80%	Efisiensi termal berdasarkan nilai kalor yang lebih tinggi

5. Kesimpulan

Sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan energi khususnya energi gas bumi dan semakin berkurangnya produksi dan cadangan gas bumi dalam negeri maka diprediksi neraca gas bumi Indonesia akan menjadi negative dalam waktu dekat. Seperti terlihat di tabel Gambar 4 Neraca Gas Nasional 2018-2027 dimana untuk sekenario 2 dan 3 neraca energi Indonesia berubah menjadi negative pada tahun 2025. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor dan memperlambat habisnya cadangan gas bumi maka perlu dikembangkan energi alternative yang terbarukan untuk dipakai bersama atau menjadi energi substitusi dari Gas Bumi.

Gas bumi diaplikasikan dalam suatu proses dalam bentuk fase gas. Gas bumi merupakan sumber energi penggerak utama pada turbin gas atau mesin gas. Untuk itu energi alternative pengganti Gas Bumi harus dapat diaplikasikan ke proses dan peralatan yang sama dengan Gas Bumi. Sumber energi alternative yang memungkinkan sebagai pengganti gas bumi di Indonesia antara lain: LFG, Biogas dan Hidrogen. Indonesia mempunyai potensi untuk memproduksi LFG dalam jumlah besar dengan cara mengupgrade lebih dari 500 TPA yang ada menjadi TPA sanitary. Untuk produksi biogas, Indonesia mempunyai potensi cukup besar dengan menggunakan bahan baku limbah produksi minyak sawit (POME :Palm Oil Mill Effluent), dan limbah ternak. Kebun kelapa sawit Indonesia menghasilkan lebih dari 40 juta ton Kelapa sawit yang berpotensi menghasilkan POME dalam jumlah besar sebagai produk limbah dalam pembuatan minyak sawit. Dari data 2018, jumlah ternak sapi Indonesia lebih dari 500 ribu ekor dan jumlah ternak hewan besar keseluruhannya mencapai lebih dari 30 juta ekor. Dari data tersebut terlihat bahwa potensi biogas dari kotoran hewan ternak Indonesia cukup besar jika seluruh perternakan Indonesia diintegrasikan dengan fasilitas produksi biogas.

LFG dan biogas Indonesia dapat menjadi energi pengganti yang sekaligus mengurangi emisi gas methan ke udara yang dihasilkan oleh sampah organik dan kotoran ternak. Sedangkan hidrogen dapat menjadi energi bersih pengganti gas bumi dengan semakin berkembangnya teknologi penghasil hidrogen serta produk, peralatan, sistem produksi. Pemerintah Indonesia perlu melakukan langkah nyata untuk mengaplikasikan bahan bakar alternative pengganti gas bumi melalui penyediaan fasilitas dan pelaksanaan kebijakan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik. (2019). Statistik Indonesia 2019 (Statistical Year Book of Indonesia 2019). <https://www.bps.go.id/publication/2019/07/04/daac1ba18cae1e90706ee58a/statistik-indonesia-2019.html>
- Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., & Iyyappan, J. (2018). Biogas production – A review on composition , fuel properties , feed stock and principles of anaerobic digestion Biogas production – A review on composition , fuel properties , feed stock and principles of anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 570–582. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.093>
- Campbell, R. J. (2020). Hydrogen in Electricity's Future. Congressional Research Service. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46436>
- Dewan Energi Nasional. (2020). Bauran Energi Nasional 2020. <https://filesharing.den.go.id/index.php/s/mRSni5lOQAUzv3R/download>

Giorgi, L., & Leccese, F. (2013). Fuel Cells: Technologies and Applications. *The Open Fuel Cells Journal*, 6, 1–20. <https://doi.org/10.2174/1875932720130719001>

IRENA, I. R. E. A. (2019). Hydrogen: a Renewable Energy Perspective. In International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2018). Neraca Gas Bumi Indonesia 2018 - 2027. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-neraca-gas-indonesia-2018-2027.pdf>

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi 2019. <https://migas.esdm.go.id/uploads/informasi-publik/laporan-kinerja/200206---LAKIN-Ditjen-Migas---A4---rev-12--FINAL-printed-n-ttd-prestasi-v2--.pdf>

Martinec, M., Chumchalová, J., & Kubal, M. (2019). Continuous Monitoring of Landfill Gas. *Paliva (Fuels)*, 11(2), 57–61. <https://doi.org/10.35933/paliva.2019.02.05>

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2015). Waste to Energy Guidebook (Issue 1). <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=NMWtlg7uDxwXTf1bDxgrren7d8x6y5lu>

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2019). Handbook Of Energy & Economic Statistics Of Indonesia 2019. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2019.pdf>

PricewaterhouseCoopers (PWC). (2019). Oil and Gas in Indonesia (Investment and Taxation Guide) 2019. <https://www.pwc.com/id/en/energy-utilities-mining/assets/oil-and-gas/oil-gas-guide-2019.pdf>

Prihatin, R. B. (2020). Pengelolaan Sampah di Kota Bertipe Sedang : Studi Kasus di Kota Cirebon dan Kota Surakarta. *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.22212/aspirasi.v11i1.1505>

Rizkiana, J., Pranata, R., Fauzi, H., Wulandari, W., & Sasongko, D. (2018). Low Rank Coal Pre-treatment to Increase Its Reactivity Towards Gasification with Biomass. *MATEC Web Conf.*, 156, 3020. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815603020>

Straka, P. (2012). Production of hydrogen from renewable resources and its effectiveness. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(16), 11563–11578. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.05.047>

Trubaev, P. A., Verevkin, O. V, Grishko, B. M., Tarasyuk, P. N., Shchekin, I. I., Suslov, D. Y., & Ramazanov, R. S. (2018). Investigation of Landfill Gas Output from Municipal Solid Waste at the Polygon. *International Conference on Energy Systems-2007 (ICES-2017) 23–27 November 2017, Belgorod, Russian Federation*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1066/1/012015>

United States Agency for International Development. (2015). Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas (pengembangan proyek di Indonesia). Winrock International. <https://winrock.org/wp-content/uploads/2016/05/CIRCLE-Handbook-INDO-compressed.pdf>

Weidner, E., Cebolla Ortiz, R., & Davies, J. (2019). Global deployment of large capacity stationary fuel cells – Drivers of, and barriers to, stationary fuel cell deployment. In EUR 29693 EN, Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/372263>