

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Bumi dan Gas Bumi

Senyawa hidrokarbon hasil fosilisasi dari tumbuhan dan hewan masih memegang peranan penting dalam bidang energy di dunia terutama minyak bumi dan gas alam. Walaupun pengembangan energi terbarukan sudah menjamur (industri geothermal), namun hingga saat ini belum ada sumber energi alternatif yang mudah, murah dan aman dalam aplikasi sehari-hari selain minyak bumi, sehingga masih tetap diperlukan kajian-kajian lebih lanjut terhadap energi terbarukan tersebut. Minyak bumi sendiri adalah fase cair dari berbagai campuran hidrokarbon yang terjebak dalam suatu reservoir di bawah permukaan tanah. Fase ini akan tetap cair walaupun telah melalui fasilitas pemisahan di permukaan tanah pada tekanan atmosfer. Sedangkan gas bumi adalah campuran dari fase gas dan uap hidrokarbon (metana, etana, propane, butane, pentane, dan heksana) yang berasal dari sumur gas baik itu gas nonhidrokarbon yang tercampur secara alami, gas residu setelah ekstraksi zat hidrokarbon, gas pipa selubung, gas tambang basah ('LEMIGAS', 1995).

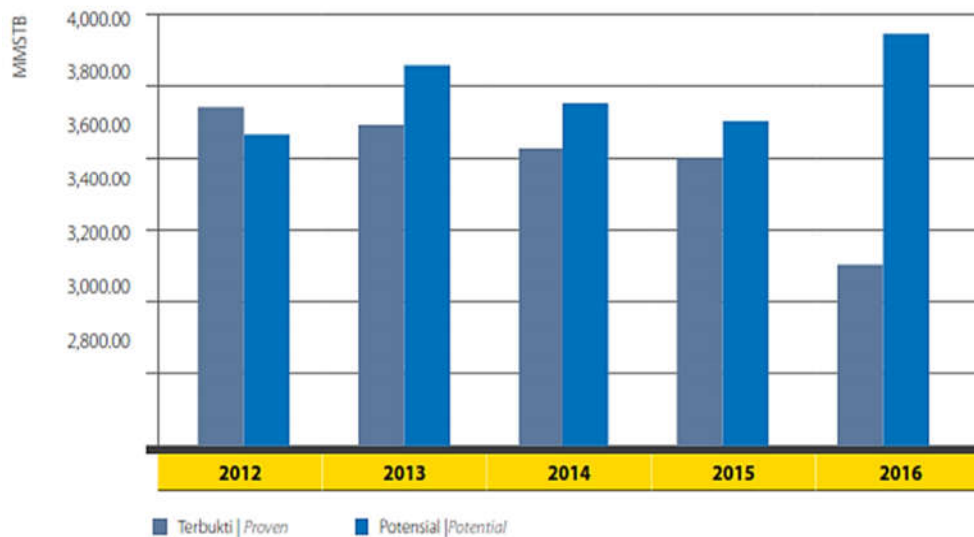
Lebih lanjut Rangkuti, 2009 menjelaskan bahwa proses fosilisasi terjadi lebih kurang pada masa 350 juta tahun lalu abad *Carboniferous* dan *Paleozoic*. Karbohidrat dari hasil fosilisasi tersebut akan berubah menjadi senyawa hidrokarbon rumus kimia C_xH_y dalam kondisi *anaerob* (tanpa oksigen) dengan tekanan dan suhu yang tinggi. Mengingat proses terbentuknya yang sangat lama, maka minyak bumi disebut sebagai sumber daya yang tidak terbarukan (*Non Renewable Source*) dan jumlahnya cenderung menurun (Ditjen Migas, 2016). Selama lima tahun terakhir, cadangan minyak bumi di Indonesia telah menurun sebanyak 449,4 MMSTB (*million stock tank barrels*). Sedangkan untuk cadangan

Gas Bumi masih bersifat fluktuatif walaupun masih memiliki kecenderungan menurun (Tahun 2012 sebanyak 103.3 TSCF dan 2016 101.22 TSCF / *triliun standard cubic feet*) Gambar 2 dan Gambar 3.

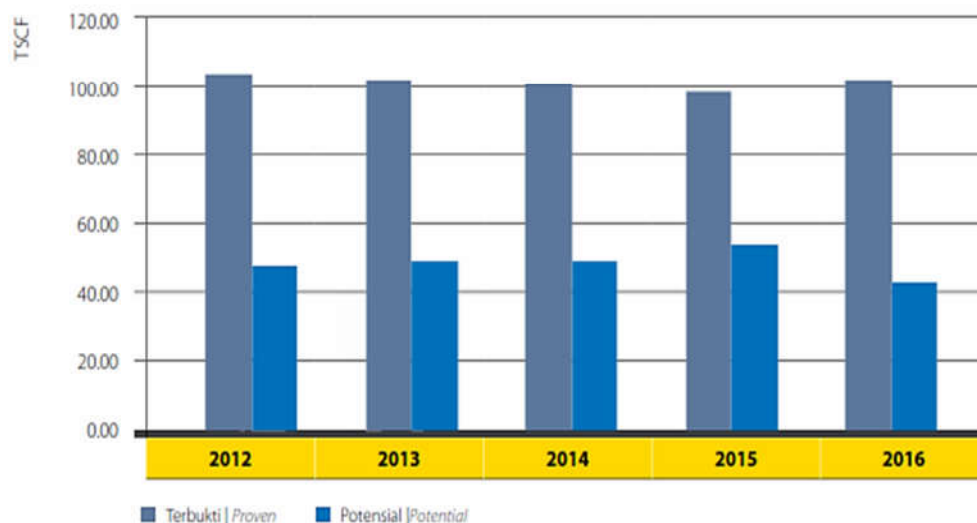
Dalam suatu kegiatan dengan tujuan mendapatkan senyawa hidrokarbon tersebut, terdapat beberapa tahapan yang secara garis besar sebagai berikut ('LEMIGAS', 1995; Rangkuti, 2009; Ramirez *et al.*, 2017) :

1. Eksplorasi

Kegiatan ini bertujuan untuk penyelidikan wilayah yang diperkirakan mengandung mineral hidrokarbon dalam menemukan deposit serta memperkirakan luasan wilayah reservoirnya (lokasi terjebakanya minyak bumi dan / atau gas bumi secara alami). Dalam kegiatan ini dilakukan dengan survey geologi, survey geofisik dan pengeboran setelah didahului dengan penyiapan lahan.



Gambar 2. Cadangan Minyak Bumi Indonesia dari Tahun 2012 – 2016.
(Ditjen Migas, 2016)



Gambar 3. Cadangan Gas Bumi Indonesia dari Tahun 2012 – 2016 (Ditjen Migas, 2016)

2. Studi Kelayakan/Feasibility Study

Hasil dari kegiatan eksplorasi akan dikaji lebih dalam untuk mendapatkan gambaran kelayakan produksi maupun tidak. Para ahli geologi, ahli geofisik, ahli perminyakan akan mencoba menginterpretasikan hasil eksplorasi guna memperkirakan cadangan hidrokarbon yang terperangkap didalamnya. Dalam kegiatan ini dimungkinkan terjadi kegiatan pengeboran dalam rangka menetapkan batas reservoir minyak dan gas bumi, produktivitas sumur, dan ciri minyak maupun gas bumi di wilayah tersebut. Dari analisa tersebut sangat diperlukan reservoir engineering's sense dalam menyusun *plan of development* (POD) atau rencana pengembangan maupun *plan of further development* (POFD) atau rencana pengembangan lebih lanjut untuk memutuskan apakah dalam wilayah berpotensi dijadikan reservoir migas ataupun tidak serta untuk menentukan skenario produksi yang akan digunakan. Jika suatu reservoir telah ditentukan layak, maka proses eksploitasi akan segera dilakukan. Dalam kegiatan ini dimungkinkan

terjadi kegiatan pengeboran dalam rangka menetapkan batas reservoir minyak dan gas.

3. Eksploitasi

Berbeda dengan eksplorasi, eksploitasi lebih mengerucut terhadap pengusahaan sumber minyak untuk menghasilkan produk yang ekonomis. Kegiatan ini dapat dikelompokkan secara umum yaitu :

a. Produksi Primer (*Primary recovery*)

Produksi akan dilakukan dengan mekanisme *natural flow* / sumur sembur alam dimana minyak bumi dialirkan dengan memanfaatkan tekanan reservoir dan volume air.

b. Produksi Sekunder (*secondary recovery*)

Apabila tekanan reservoir berkurang akan dilakukan mekanisme *artificial flow* / aliran yang dibuat dengan menginjeksikan air (*water flooding*) ataupun gas (*steam flooding*) dengan tujuan menambah tekanan reservoir untuk mendorong minyak ke atas.

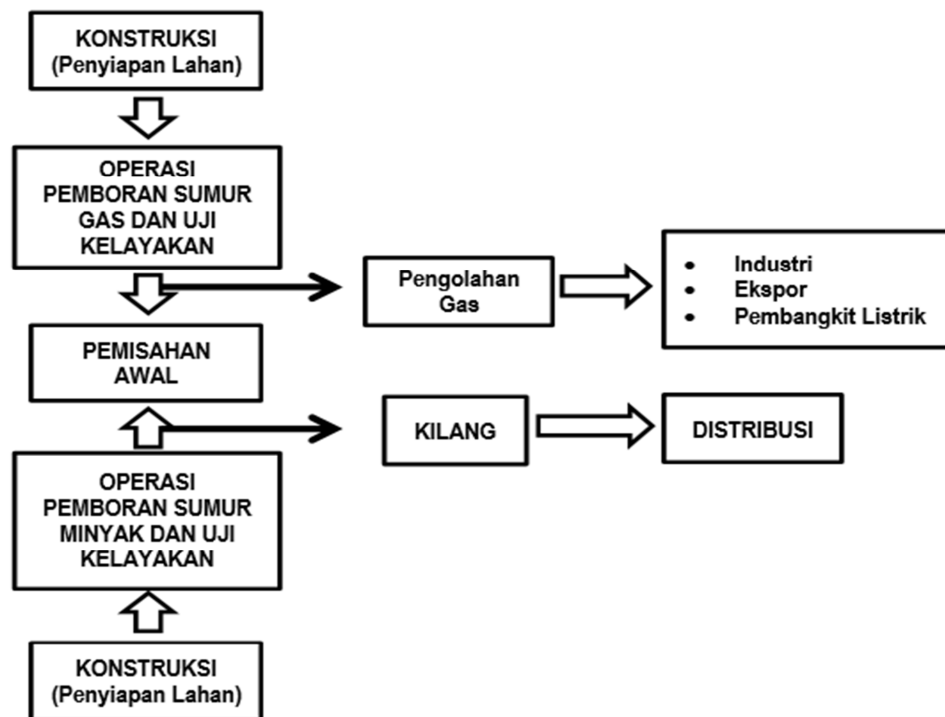
c. Produksi Tersier (*tertiary recovery*)

Salah satu mekanisme yang digunakan adalah EOR (*Enhance Oil Recovery*). Perbedaan dengan sistem produksi sekunder adalah metode penginjeksian menggunakan suhu (*thermal recovery*) dengan memanaskan minyak untuk mengurangi viskositas, penginjeksian gas alam (*Gas miscible*) dengan nitrogen atau karbon dioksida untuk mendorong minyak, penginjeksian dengan bahan kimia (*chemical flooding*) seperti biosurfaktan dan biopolymer, dan yang terakhir menggunakan mikroba (*Microbial Enhance Oil Recovery*) yang memungkinkan pencapaian minyak hingga 60 %.

4. Refinasi

Fluida yang keluar adalah bukan minyak bumi murni melainkan minyak mentah (*crude oil*), ada beberapa komponen yang mengikutinya antara lain lumpur, air, dan gas terlarut (*associated gas*). Untuk itu, diperlukan proses refinasi untuk mengolah *crude oil* menjadi produk yang berguna dan dapat dimanfaatkan. Sistem pemurnian tersebut menggunakan sistem destilasi berdasarkan perbedaan berat jenis dan titik didih.

Berdasarkan penjelasan diatas, aliran produksi minyak dan gas bumi dan kemungkinan emisi yang terjadi pada setiap tahapan tersaji pada Gambar 4 ('LEMIGAS', 1995; Rangkuti, 2009; Ramirez *et al.*, 2017).



Gambar 4. Alur Produksi Sumur Minyak dan Gas

2.2 Dampak Lingkungan Kegiatan Operasi Produksi Migas

Secara umum, hampir dari seluruh kegiatan migas akan berdampak terhadap lingkungan hidup baik udara (emisi gas hidrokarbon, H₂S, CO, dan CH₄), air maupun tanah (kontaminasi limbah pemboran, air terproduksi, dan *oil spill*) (Sulistyono, 2015). Lebih lanjut, dalam kegiatan produksi minyak bumi, sangat dimungkinkan untuk dapat menghasilkan gas ikutan baik yang di manfaatkan ataupun tidak dikarenakan tidak dapat ditangani oleh fasilitas produksi yang tersedia yang kemudian akan dibakar di *flare stack* atau biasa disebut gas suar yang sangat berpotensi dalam pemanasan global (Republik Indonesia, 2017). Pembakaran gas tersebut akan membebaskan gas-gas seperti hidrogen sulfide, toluene, benzene, sulfur dioksida, benzapryene, nitrogen dioksida dan silene; partikulat; dan jelaga (*black carbon*) (Giwa *et al.*, 2017).

Gas suar telah dikenal sebagai salah satu *driven factor* dalam penyebab efek gas rumah kaca. Pembakaran gas dari hasil kegiatan produksi ini dapat mengemisikan beberapa senyawa gas, panas, dan partikulat ke atmosfer (Giwa, Nwaokocha and Odufuwa, 2017). Pembakaran tersebut memiliki konsekuensi negatif yang berdampak pada lingkungan (biotik dan abiotik), kesehatan manusia, ekonomi, dan keselamatan (Ojjiagwo, Oduoza and Emekwuru, 2016). Lebih lanjut (Umukoro and Ismail, 2017) menjelaskan bahwa dampak negatif dari pembakaran gas ikutan dikarenakan adanya inefisiensi dari proses pembakaran itu sendiri. Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan beberapa produk yang beberapa diantaranya adalah CO dan air (Davoudi *et al.*, 2013). Efek GRK itu sendiri merupakan fenomena gelombang sinar matahari yang menembus atmosfer bumi akan tetapi tidak dapat dipantulkan kembali ke atmosfer dikarenakan ada seperti bayangan dari gas-gas pembentuk rumah kaca tersebut sehingga akan dipantulkan kembali ke bumi. Hal tersebut menyebabkan suhu permukaan bumi menghangat seperti berada dalam gedung / ruang yang di kelilingi

oleh kaca. Gas-gas rumah kaca tersebut berdasarkan Protocol Kyoto terdiri dari CO₂ (karbon dioksida), N₂O (nitrisida / dinitrogen oksida), CH₄ (metana), SF₆ (sulfur heksafluorida), PFC (perfluorokarbon), dan HFC (hidrofluorokarbon) oleh (Rangkuti, 2009; Giwa *et al.*, 2017).

Dalam dunia migas terdapat istilah *flare gas recovery* sebagai salah satu upaya dalam mereduksi volume gas suar ke udara diantaranya (Amin, 2011; Soltanieh, Zohrabian and Javad, 2016; Esquivel-Patiño, Serna-González and Nápoles-Rivera, 2017):

1. *Reinjection*. Gas, minyak atau air berlebih atau yang tidak dipergunakan akan diinjeksikan kembali ke sumur untuk menjaga tekanan reservoir;
2. *Gas Turbine Generator (GTG)*. Gas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik untuk turbin;
3. *Pipeline Natural Gas (PNG)*. Aplikasi ini masih dianggap kurang ekonomis, dengan perkiraan biaya investasi sebesar 1-5 USD tergantung kondisi lahan. Akan tetapi bukan tidak mungkin untuk diterapkan.
4. *Liquified Petroleum Gas (LPG)*. Kemudahan dalam penyimpanan dan transportasi masih dirasa belum cukup untuk melakukan investasi dalam rangka pengurangan volume gas suar. Proses pemurnian terhadap zat-zat yang tidak diinginkan dianggap sebagai nilai investasi yang tidak sepadan;
5. *Liquified Natural Gas (LNG)*. Pemampatan hingga volume 1/600 dari volume awal dan proses regasifikasi menyebabkan aplikasi ini untuk pengurangan gas suar menjadi tinggi tapi bukan berarti tidak bias digunakan;
6. *Compressed Natural Gas (CNG)*. Produk ini hampir sama dengan LNG. Akan tetapi kompresi tidak dilakukan hingga fase cair;

7. *Natural Gas Hydrates (NGH)*. Kegiatan recovery gas suar selanjutnya yang dapat dilakukan adalah dengan investasi ke produk NGH. Gas akan dihidrasi hingga suhu -200°C dan lebih memiliki nilai ekonomi dibandingkan LNG;
8. *Gas to Ethylene (GTE) and Methanol Ammonia Produce*. Gas metana yang terdapat pada gas suar dapat dikonversi menjadi produk DME (Dimethyl ether) dan olefin (ethylene dan propylene). Selain itu, gas tersebut dapat pula diubah menjadi ammonia sebagai bahan baku industry pupuk. Sedangkan ethylene dapat digunakan dalam industry LDPE (*low-density polyethylene*) and HDPE (*high-density polyethylene*);
9. *Gas to Liquid (GTL)*. Di Nigeria oleh Chevron Nigeria Limited, gas ini telah digunakan untuk tambahan dalam produksi GTL sebesar 70% dan naphthalene sebesar 30% dengan komposisi dari gas suar sebesar 15%. Untuk memproduksi ini membutuhkan 34000 BPD dan 9.6 MMSCMD.
10. *Carbon Capture Storage (CCS)*. Tujuan dari cara ini adalah dengan penangkapan karbon dioksida untuk kemudian disimpan di dalam formasi geologi. Hal ini dapat digunakan dalam pengurangan emisi karbon dioksida ke udara.

2.3 Penilaian Daur Hidup (PDH) / Life Cycle Assessment (LCA)

Penilaian daur hidup atau LCA adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk menilai dampak lingkungan baik itu dari potensi pemanasan global, toksisitas manusia, dan potensi penipisan ozon di lapisan stratosfer. Penilaian dilakukan dengan pendekatan secara menyeluruh dari bahan baku, proses produksi hingga pembuangan akhir. Penerapan penilaian daur hidup dapat dilakukan dengan *cradle to grave*, *cradle to gate*, atau *gate to gate* tergantung dari batasan sistem yang di bentuk / pembatasan masalah (Yani, Warsiki and Wulandari, 2013;

Stamford and Azapagic, 2014; Giandadewi, Andarani and Nugraha, 2017; Zhang *et al.*, 2017). Dalam hal ini, kerangka kerja LCA harus mencakup definisi tujuan dan lingkup, analisa inventory, penilaian dampak dan interpretasi hasil. Berikut terdapat beberapa kegunaan dari LCA berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

1. Digunakan untuk identifikasi peluang dalam peningkatan kinerja lingkungan di setiap tahapan kegiatan / siklus;
2. Sebagai informasi kepada pihak pengambil keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan yang strategis;
3. Memilih indikator yang relevan dari suatu kinerja lingkungan;
4. Meningkatkan nilai pemasaran terutama dalam industry yang menerapkan skema ecolabel serta untuk menghasilkan deklarasi lingkungan.

Selain kegunaan di atas, terdapat beberapa kelebihan kajian LCA yaitu (Badan Standardisasi Nasional, 2017) :

1. Dapat membantu identifikasi kesempatan dalam upaya peningkatan kualitas aspek lingkungan pada setiap titik / tahap daur hidupnya;
2. Membantu dalam merekomendasi pembuat keputusan dalam suatu organisasi (swasta maupun pemerintah);
3. Dapat membantu memilih indikator yang relevan (teknik pengukuran);
4. Membantu sistem pemasaran terutama dalam sistem ecolabel, *green certificate*, atau deklarasi lingkungan.

Sedangkan keterbatasan LCA antara lain (Badan Standardisasi Nasional, 2017) :

1. Asumsi dalam LCA (*boundary system, impact category*) bersifat subyektif;
2. Penggunaan model diasumsikan sendiri oleh peneliti (kemungkinan tidak dapat digunakan secara global);

3. Isu global hasil studi kemungkinan tidak sesuai dalam aplikasi lokal, atau tidak dapat terwakilinya kondisi lokal;
4. Spesifikasi tempat, agregasi, tipe data, rerata, kesenjangan dan kualitas data terbatas oleh ketersediaan data maupun aksesibilitas. Sehingga mempengaruhi akurasi kajian;
5. Ketidak pastian kategori dampak muncul karena kekurangan dimensi spasial dan temporal dalam inventory data.

Dalam LCA, kajian tidak akan lepas dari perhitungan emisi/lepasan dan limbah. Perlu dibedakan mengenai kedua istilah tersebut. Lepasannya merupakan emisi/hasil akhir yang dibuang ke udara, air maupun tanah setelah melewati kontrol polusi. Sedangkan sesuatu yang wajib dimusnahkan oleh pemiliknya disebut limbah. Kajian LCA akan dilakukan berdasarkan unit fungsi. Data yang digunakan dapat didapatkan dari data yang ada, perkiraan, maupun campuran berdasarkan kondisi yang sesuai (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

- i. *Global Warming Potential (GWP)*. Potensi pemanasan global merupakan akibat dari kegiatan manusia yang mengemisikan radiasi ke atmosfer yang berpotensi dan berkontribusi terhadap perubahan iklim akibat peningkatan dari suhu bumi (Scrivener and Carmical, 2012). Secara tidak langsung, kegiatan manusia tersebut baik langsung maupun tidak yang mengemisikan gas-gas rumah kaca dan terperangkap di atmosfer seperti pada Gambar 5 . Salah satu akibat dari hal tersebut adalah adanya peningkatan jumlah penyakit yang dikarenakan mikroorganisme keluar dari masa dormansi karena suhu yang menghangat. Fenomena diatas dapat di artikan sebagai adanya ketidak seimbangan dari suatu ekosistem dikarenakan adanya peningkatan suhu bumi (Sari, 2017). Dalam LCA, potensi pemanasan global (*Global Warming Potential*) yang umum dipicu oleh emisi gas CO₂ dan CH₄, dan digunakan sebagai kategori dampak yang diukur, biasanya selama 100 tahun dan di ekuivalenkan dengan konsentrasi karbon dioksida. (Rahman,

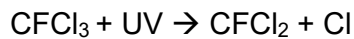
Canter and Kumar, 2015; Allen *et al.*, 2016; Ojjiagwo, Oduoza and Emekwuru, 2016). Nilai ekuivalen GWP tersebut didapatkan dari pengukuran beberapa massa dari beberapa gas penyebab gas rumah kaca yang memiliki kemampuan untuk menangkap radiasi panas pada kurun waktu tertentu (biasanya 100 tahun) di atmosfer, dibandingkan dari kemampuan massa karbon dioksida menyerap panas pada kurun waktu tersebut. Secara singkat nilai GWP adalah nilai “*tools*” untuk membandingkan potensi dari radiasi panas pada beberapa gas, dalam hal ini yang menyebabkan pemanasan global (IPCC, 2006a; American Petroleum Institute, 2009)

- ii. Potensi penipisan ozon (O_3) stratosfer. *Stratospheric Ozone Depletion Potential* (SODP) adalah penipisan lapisan ozon di stratosfer yang disebabkan oleh gas pencemar seperti Chlorofluorocarbon (CFC) dan Haloncarbon (HC) yang banyak ditemukan di refrigerator dan alat pendingin udara (Scrivener and Carmical, 2012). Selain CFC dan HC, terdapat gas prekursor lain seperti CH_4 , CO, NO_x , NMHC (*Non Methane Hydrocarbon*) yang berasal dari pembakaran bahan bakar biomasa dan fosil untuk kepentingan transportasi maupun industri. Lapisan ozon stratosfer berfungsi sebagai pelindung bumi dari pancaran sinar Ultraviolet (UV) yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan. Sinar UV dibedakan berdasarkan panjang gelombang dan terdiri dari UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm), dan UVC (200–280 nm). Sinar dengan panjang gelombang terpendek akan terserap habis oleh lapisan ozone. Akan tetapi jika lolos dikarenakan penipisan lapisan ozone menjadi paling berbahaya bagi manusia dikarenakan dapat berakibat pada penurunan kesehatan manusia, kerusakan DNA (*deoxyribonucleid acid*) dan mutasi genetik. Skema penipisan ozon di gambarkan pada Gambar 5 (Fotouhi *et al.*, 2015; Rafiq, Tajbar and Manzoor, 2017).

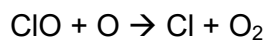
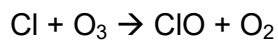
Gas prekursor penipisan lapisan ozon tersebut dengan bantuan energi matahari dipecah menjadi radikal brom dan klor yang untuk seterusnya membentuk reaksi berantai terhadap ozon di lapisan stratosfer menjadi radikal oksigen dan oksigen. Atom Cl dari gas prekursor dapat bertahan selama 40-150 tahun di atmosfer dan satu atom Cl dapat menguraikan 100,000 senyawa ozon. Perlu diketahui bahwa terdapat perbedaan antara ozon yang berada di lapisan troposfer dan stratosfer. Ozon yang berada di lapisan troposfer adalah polutan udara yang berada di udara ambien. Biasanya salah satu penyebab dari kabut perkotaan. Sedangkan ozon yang berada di lapisan stratosfer adalah ozon yang berfungsi melindungi bumi dari radiasi sinar ultraviolet. Lebih lanjut mengenai reaksi berantai dari penipisan ozon (Sari, 2017) sebagai berikut:

a. Penipisan dengan penyebab Klor

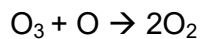
Fotodisosiasi CFC



Cl Bereaksi dengan O_3

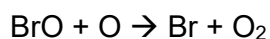
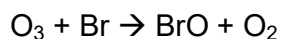


Hasil

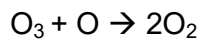


b. Perusakan karena Bromin

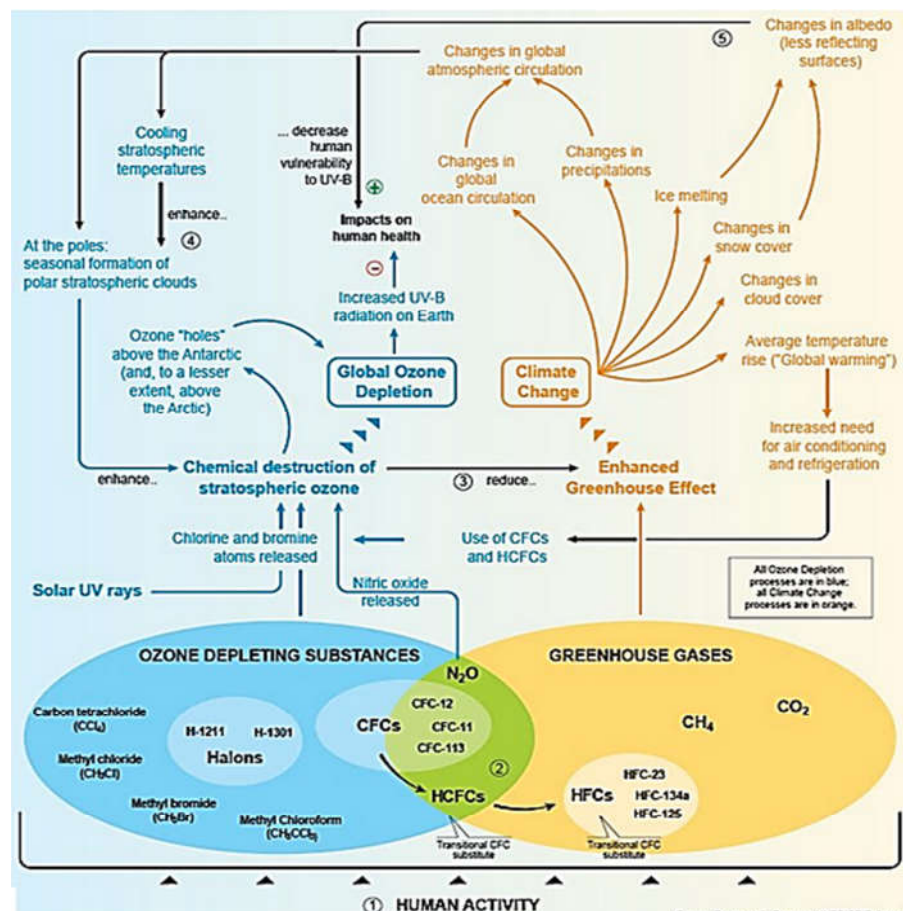
Senyawa Bromin dipecah oleh Sinar UV kemudian mengkatalis perusakan Ozon.



Hasil



Sebagai informasi, bahwa penipisan lapisan ozon di kawasan antartika (kutub selatan) dapat (90 – 99)%, dan lebih tinggi dibandingkan di kawasan artik (kutub utara) yang mencapai (50 – 70)%. Hal tersebut dipengaruhi oleh factor meteorologis (suhu dingin, *polar vortex*, *polar stratospheric cloud / PCS*, *stratospheric sudden warming / SSW*) yang menyebabkan meningkatnya reaksi kompleks heterogenisasi dalam pemecahan senyawa ozon (Massoli, Maturilli and Neuber, 2006; Dhitasari, 2011).



Sumber : (Allen, 2004)

Gambar 5. Skema Pemanasan Global dan Penipisan Ozon

Secara umum, penipisan ozon di ekuivalenkan dengan kilogram CFC (chlorofluorocarbon-11) yang memiliki karakter dan aplikasi dasar tertera pada Tabel 2 (Ul-haq et al., 2016). Konsep tersebut digunakan sebagai pengukuran keefektifan nilai dari massa gas-gas dan senyawa-senyawa yang berkontribusi dalam perusakan ozon dan pemanasan global yang dibandingkan dengan CFC11 (Rodriguez, 2007; Ul-haq et al., 2016).

Tabel 2. Nilai Ekuivalen dari Zat Penyebab Pemanasan Global

Banyak Terdapat	Unit	Ekuivalen Dengan	
		ODP	GWP
Refrigerant / Pembeku (<i>freezing</i>) / busa	CFC-11	1	4750
Refrigerant / Pembeku (<i>freezing</i>)	CFC-12	1	10900
Busa	HCFC-141b	0.11	717
Refrigerant / Pembeku (<i>freezing</i>) / busa / AC rumah / AC Kendaraan	HFC-134a	14	1370

Sumber : (Ul-haq et al., 2016)

2.4 Produksi Bersih / *Clean Development Mechanism* (CDM)

CDM atau mekanisme produksi bersih merupakan salah satu salah satu dari kesepakatan Protokol Kyoto 1997 dalam rangka penurunan emisi dari Negara *Annex I*. Mekanisme yang digunakan adalah perdagangan karbon guna mitigasi Gas Rumah Kaca tersertifikasi (CER : *certified emission reduction*). Kegiatan CDM terbagi menjadi kegiatan penurunan EGRK dan penyerapan EGRK dari atmosfer. Penurunan GRK biasanya menysasar sektor industri. Sedangkan penyerapan GRK menysasar ke sektor kehutanan (Rangkuti, 2009).

Sedangkan menurut Purwanto, (2009) produksi bersih lebih menekankan pada aspek efisiensi dengan memadukan aspek lingkungan

dan ekonomi dan pelestarian lingkungan hidup, dinamika sosial, dan pertumbuhan ekonomi sebagai dasarnya. Prinsip Produksi Bersih adalah :

1. *Rethink*

Berpikir ulang mengenai suatu produk tersebut apakah bisa didaur ulang atau tidak. Mengubah seluruh pola pikir masyarakat, pemerintah dan kalangan usaha.

2. *Reuse*

Penggunaan kembali barang yang sudah digunakan tanpa adanya proses kimia.

3. *Reduce*

Upaya mengurangi penggunaan barang tersebut agar limbah yang timbul sedikit.

4. *Recovery*

Pungut ulang atau pemanfaatan kembali barang-barang yang sudah menjadi limbah tapi masih bernilai ekonomi tinggi ke industri agar bermanfaat tanpa perlakuan fisika maupun kimia.

5. *Recycle*

Upaya daur ulang dari suatu bahan dengan perlakuan fisika maupun kimia.

6. *Elimination*

Mencegah timbulan limbah langsung dari sumbernya, mulai dari bahan baku, proses, hingga produk.

Van berkel, 2001 dalam Purwanto, (2009) menyebutkan empat kategori teknologi dari Produksi bersih yaitu :

1. *Business driven technologies*: peningkatan dan pengembangan teknologi produksi yang canggih dengan efisiensi dan peningkatan kualitas produksi, peningkatan daya saing, penurunan biaya

produksi, peningkatan kinerja lingkungan sebagai keuntungan tambahan.

2. *Cleaner technologies*: teknologi bersih yang memiliki tujuan utama untuk peningkatan kinerja lingkungan.
3. *Appropriate technologies*: penerapan teknologi sederhana dengan tujuan utama mendapatkan keuntungan ekonomi dan manfaat lain sehingga dapat meningkatkan kinerja lingkungan.
4. *Low hanging fruit technologies*: modifikasi terhadap teknologi produksi yang telah ada sehingga dapat meningkatkan kinerja lingkungan.

Berikut beberapa contoh dalam penerapan teknologi bersih diantaranya (Purwanto, 2009) Teknologi Manajemen Produk Ramah Lingkungan (*CleanerProduct Management Technology*), Produk Ramah Lingkungan (*Cleaner Product*, Teknologi Proses Daur Ulang dan Teknologi Proses Lingkar Tertutup (*Recycling and Closed Loop Process Technology*, Teknologi Bahan Ramah Lingkungan (*Cleaner Material Technology*), Teknologi Efisiensi Proses (*Processing Efficiency Technology*), Teknologi Efisiensi Energi (*Energy Efficiency Technology*), Teknologi Pengurangan Limbah (*Waste Reduction Technology*).