

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik adalah polimer rantai panjang atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau monomer. Bahan pembuat plastik pada mulanya adalah minyak dan gas sebagai sumber alami, tetapi di dalam perkembangannya bahan-bahan ini digantikan dengan bahan sintesis sehingga dapat diperoleh sifat-sifat plastik yang diinginkan dengan cara kopolimerisasi, laminasi dan ekstruksi (Syarief, 1989).

Plastik yang umum terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, chlorine atau belerang di tulang belakang. Tulang belakang adalah bagian dari rantai di jalur utama yang menghubungkan unit monomer menjadi kesatuan. Untuk mengeset properti plastik, grup molekuler berlainan "bergantung" dari tulang-belakang (biasanya "digantung" sebagai bagian dari monomer sebelum menyambungkan monomer bersama untuk membentuk rantai polimer).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastik dan termosetting. Thermoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Jenis-jenis plastik yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan minyak pirolisis antara lain polipropilena (PP), polietilena (PE/PET), polistirena (PS), *high density polyethylene* (HDPE). Jenis-jenis plastik dibedakan berdasarkan sifat thermal yang sangat penting untuk pencairan plastik, sifat thermal yang dimaksud antara lain titik lebur, temperatur transisi (Tg) dan temperatur dekomposisi (Surono, 2013). Tabel 2.1 merupakan jenis-jenis plastik yang dapat didaur ulang dan penggunaannya.

Tabel 2.1 Jenis Plastik dan Penggunaannya

No Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (<i>High-density Polyethylene</i>)	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4	LDPE (<i>Low density polyethylene</i>)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP (<i>Polypropylene</i>)	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6	PS (<i>Polystyrene</i>)	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain no.1 hingga no. 6	botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego

(Sumber : Kurniawan, 2012)

2.1.1 *Polyethylene Terephthalate* (PET)

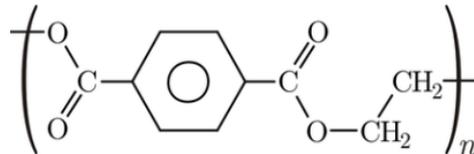
Polyethylene Terephthalate (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P) adalah suatu resin polimer plastik termoplast dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintesis, botol minuman dan wadah makanan, aplikasi thermoforming, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. PET dapat berwujud padatan amorf (transparan) atau sebagai bahan semi-kristal yang putih dan tidak transparan, tergantung kepada proses dan riwayat termalnya. Monomernya dapat diproduksi melalui esterifikasi asam tereftalat dengan etilen glikol, dengan air sebagai produk sampingnya. Monomer PET juga dapat dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi etilen glikol dengan dimetil tereftalat dengan metanol sebagai hasil samping.

Polimer PET dihasilkan melalui reaksi polimerasi kondensasi dari monomernya. Reaksi ini terjadi sesaat setelah esterifikasi/transesterifikasinya dengan etilen glikol sebagai produk samping (dan etilen glikol ini biasanya didaur

ulang). Kebanyakan (sekitar 60%) dari produksi PET dunia digunakan dalam serat sintetis, dan produksi botol mencapai 30% dari permintaan dunia. Dalam penggunaannya di bidang tekstil, PET biasanya disebut dengan poliester saja.

Sifat-sifat Fisika *Polyethylene Terephthalate* (PET) ;

- Struktur kimia:



Gambar 2.1 Struktur molekul PET

- Rumus molekul : C₁₀H₈O₄
- Densitas : 1370 kg/m³
- Modulus young : 2800-3100 Mpa
- *Tensile strength* : 55-75 Mpa
- *Temperature glass* : 75°C
- Titik leleh : 260 °C
- Konduktivitas termal : 0.24 W/(m.K)
- Panas Spesifik : 1.0 KJ/(Kg.K)
- Penyerapan air : 0.16
- Viskositas intristik : 0.629 dl/g
- Batas elastisitas : 50 – 150 %

2.1.2 HDPE (*High Density Polyethylene*)

Biasa dipakai untuk botol kosmetik, botol obat, botol minuman, botol susu yang berwarna putih susu, *tupperware*, galon air minum, kursi lipat, jerigen, dan pelumas. Memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. HDPE direkomendasikan hanya untuk sekali pakai, karena pelepasan senyawa SbO₃ (Antimon Trioksida) terus meningkat seiring waktu.

2.1.3 PVC (*Polyvinyl Chloride*)

Biasa dipakai pada plastik pembungkus (*cling wrap*), untuk mainan, selang, pipa bangunan, taplak meja plastik, botol kecap, botol sambal dan botol shampoo.

Jenis plastik yang paling sulit didaur ulang. PVC mengandung DEHA yang mudah melebur jika terdapat kontak antara permukaan plastik dengan minyak, berbahaya untuk ginjal dan hati.

2.1.4 LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Biasa dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, botol-botol yang lembek, tutup plastik, kantong/tas kresek, dan plastik tipis lainnya. Bersifat fleksibel, kuat, sulit dihancurkan. Pada suhu di bawah 600°C sangat resisten terhadap senyawa kimia.

2.1.5 PP (*Polypropylene*)

Merupakan pilihan bahan plastik terbaik dan paling aman, terutama untuk tempat makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, tutup botol, cup plastik, mainan anak, botol minum dan yang terpenting, pembuatan botol minum untuk bayi, bersifat elastis.

2.1.6 PS (*Polystyrene*)

Biasa dipakai sebagai bahan tempat makan *styrofoam*, tempat minum sekali pakai seperti sendok, garpu gelas. *Polystyrene* dapat mengeluarkan bahan Styrene ke dalam makanan ketika makanan tersebut bersentuhan, berbahaya untuk otak dan sistem saraf, memiliki bahaya yang sama seperti asap rokok dan asap kendaraan. Bahan ini sulit didaur ulang.

2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses degradasi atau penguraian bahan baku yang padat menjadi gas dengan bantuan panas tanpa atau dengan sedikit adanya oksigen. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan. Beberapa faktor yang mempengaruhi pirolisis adalah sebagai berikut (Basu, 2010) :

a. Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh yang besar dalam proses pirolisis. Semakin tinggi temperatur maka semakin banyak gas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan bahan baku padatan akan menguap dan berubah menjadi gas sehingga berat dari padatan bahan baku akan berkurang. Namun semakin tinggi temperatur akan

membuat produk oil yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan temperatur yang tinggi dapat merubah hidrokarbon rantai yang panjang dan sedang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang pendek.

b. Waktu Reaksi

Waktu memiliki pengaruh pada proses pirolisis. Dalam kondisi vakum, waktu reaksi yang lama akan menyebabkan produk pirolisis menjadi gas. Karena semakin lama waktunya maka akan membuat hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek. Produk padatan juga akan semakin berkurang karena menguap jika waktu reaksinya semakin lama.

c. Ukuran Bahan Baku

Ukuran bahan baku yang besar akan membuat perambatan panas antar bahan baku akan berlangsung lama. Hal ini akan menyebabkan proses penguapan bahan baku menjadi lebih lama.

d. Laju Pemanasan

Laju pemanasan sangat mempengaruhi hasil dari produk pirolisis yang didapatkan. Pada kondisi kerja bertekanan lingkungan, semakin tinggi laju reaksi pada pirolisis maka akan mendapatkan jumlah oil yang banyak. Namun, hal ini tidak efisien dikarenakan jika memperbesar laju reaksi maka akan membuat pemakaian energi untuk proses pirolisis menjadi lebih besar.

e. Katalis

Keberadaan katalis dengan jumlah yang banyak akan membuat proses dekomposisi semakin cepat. Namun jika terlalu banyak katalis yang dimasukkan maka akan membuat produk pirolisis akan menjadi gas. Ukuran pori dari katalis mempengaruhi hasil produk pirolisis. Semakin kecil ukuran katalis maka akan semakin besar luas permukaan katalis dan semakin memperbanyak jumlah pori pada katalis.

f. Kondisi Kerja

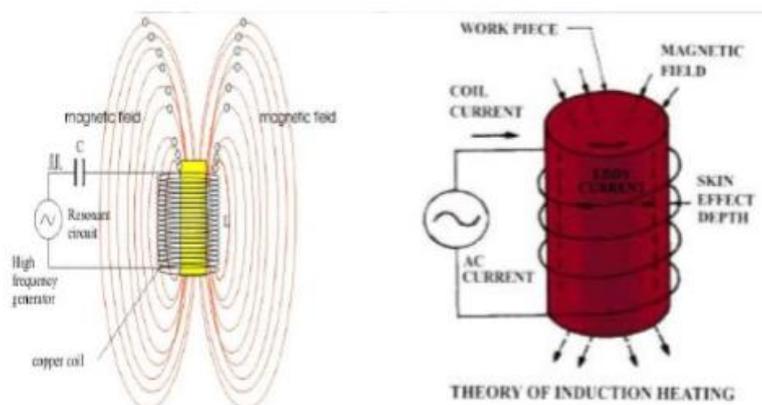
Kondisi kerja dalam pirolisis dapat dibagi menjadi dua, yaitu secara vakum dan secara atmosfer. Pada kondisi atmosfer, ketika bahan baku sudah menguap, maka akan langsung keluar dan dikondensasi. Sementara pada kondisi vakum maka hasil dari uap ditahan dan terjadi reaksi yang berkelanjutan.

g. Perlakuan Panas

Dalam proses pirolisis terdapat dua cara untuk memanaskan bahan baku, yaitu secara isothermal dan secara transien. Secara transien, bahan baku dipanaskan dari temperatur ruangan menuju temperatur kerja. Sementara jika secara isothermal maka reaktor dipanaskan terlebih dahulu hingga temperatur kerja dan bahan baku diumpankan ke dalam reaktor setelah temperatur kerja didapatkan.

2.3 Mekanisme Pirolisis dengan Pemanas Induksi

Pemanas induksi adalah proses pemanasan non-kontak yang menimbulkan panas pada logam yang terkena induksi medan magnet. Prinsip kerja pemanas induksi yaitu aliran arus yang berasal dari power supply akan diteruskan menuju lilitan kumparan kerja, lilitan akan dialiri oleh arus bolak balik yang menimbulkan medan magnet disekitar kawat penghantar, reaktor/bahan konduktif yang berada di tengah kumparan yang dikelilingi oleh medan magnet akan di aliri arus yang disebut arus eddy yang akan mengubah aliran elektromagnetik menjadi energi panas. (Arif, 2013). Pada pemanas induksi, dapat dibagi atas bagian *power supply* dan kumparan kerja. *Power supply* terdiri atas sebuah trafo tunggal (trafo engkel) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, digunakan untuk menggerakkan arus yang besar melalui sebuah kumparan kerja. Kumparan kerja berfungsi untuk mengalirkan arus listrik di sekeliling benda kerja untuk membangkitkan arus eddy. Kawat konduktor akan dialiri arus listrik yang akan membuat sekelilingnya akan terbentuk garis gaya magnet. Reaktor akan menerima pengaruh garis gaya magnet lalu di dalam reaktor tersebut akan mengalir arus eddy. Skema reaktor pemanas induksi dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.2. Skema Reaktor Pemanas Induksi

Sumber : (Rizky Noviansyah, 2011)

Medan magnet yang tinggi akan menyebabkan sebuah beban (reaktor) dalam kumparan kerja tersebut melepaskan panasnya, sehingga panas yang ditimbulkan oleh reaktor tersebut akan melelehkan plastik yang terdapat dalam reaktor. Panas yang dialami oleh plastik akan semakin tinggi sehingga dapat menunjang temperatur optimum dalam operasi *Thermal Cracking* yang berlangsung dalam waktu yang lebih singkat.

2.4 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Dimasa yang akan datang, kemungkinan bahan bakar cair yang berasal dari oil shale, tar sands, batubara dan biomassa akan meningkat. Minyak (*petroleum*) berasal dari kata Petro = *rock* (batu) dan leaum = *oil* (minyak).

Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral. Dengan kemudahan penggunaan, ditambah dengan efisiensi thermis yang lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan.

Beberapa kelebihan bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain kebersihan dari hasil pembakaran, menggunakan alat bakar yang lebih kompak, dan penanganannya lebih mudah. Salah satu kekurangan

bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks.

2.5 Pengujian Karakteristik Bahan Bakar Cair

2.5.1 Berat Jenis (*Specific Gravity*) dan *API Gravity*

Specific gravity (Berat Jenis) adalah perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Umumnya, bahan bakar minyak memiliki *specific gravity* 0,74 – 0,96, dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Pada beberapa literatur digunakan *American Petroleum Institute (API) gravity*. *Specific gravity* dan *API gravity* adalah suatu pernyataan yang menyatakan density (kerapatan) atau berat per satuan volume dari suatu bahan.

Berat jenis dan *API Gravity* menyatakan densitas atau berat persatuan volume suatu zat. *API Gravity* dapat diukur dengan hidrometer (ASTM 287), sedangkan berat jenis dapat ditentukan dengan piknometer (ASTM D 941 dan D 1217). Pengukuran *API Gravity* dengan hidrometer dinyatakan dengan angka 0-100, sedangkan *specific gravity* merupakan harga relatif dari densitas suatu bahan terhadap air. Hubungan *API Gravity* dengan berat jenis adalah sebagai berikut:

$$\text{spgr} = \frac{\text{Densitas minyak}}{\text{Densitas air}}$$

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{sg}} - 131,5$$

Satuan berat jenis dapat dinyatakan dengan lb/gal atau lb/barel atau m³/ton. Tujuan dilaksanakan pemeriksaan terhadap *API Gravity* dan berat jenis adalah untuk indikasi mutu minyak dimana semakin tinggi *API Gravity* atau makin rendah berat jenis maka minyak tersebut makin berharga karena banyak mengandung bensin. Sebaliknya semakin rendah *API Gravity* maka semakin banyak lilin. Minyak yang mempunyai berat jenis tinggi berarti minyak tersebut mempunyai kandungan panas (*heating value*) yang rendah.

2.5.2 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala (*flash point*) adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menyala pada kondisi tertentu pada tekanan satu atmosfer. Titik nyala

(*flash point*) merupakan faktor penting untuk keamanan terhadap kebakaran. Penentuan nilai titik nyala ini juga berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan penanganan bahan bakar dan diuji dengan menggunakan alat *Pensky Marten Closed Tester* (ASTM, 1990)

2.5.3 Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas / kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/ oksigen. Nilai kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan *pada bomb calorimeter*. Nilai kalori diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan kcal/kg atau btu/lb (satuan *british*).

Nilai kalor bahan bakar padat terdiri dari GHV (*gross heating value/* nilai kalor atas) dan NHV (*net heating value/* nilai kalor bawah). Nilai bakar atas atau "*gross heating value*" atau "*higher heating value*" (HHV). Nilai bakar bawah atau "*net heating value*" atau "*lower heating value*" (LHV). Perbedaan dari kedua nilai tersebut ditentukan dari panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran berlangsung.

Berdasarkan buku *Stoichiometry and Thermodynamics of Metallurgical Processes* yang ditulis oleh Y.K Rao (1985), nilai kalor bahan bakar cair hidrokarbon dapat dihitung dari rumus-rumus empiris. Rumus-rumus ini didasarkan atas fakta bahwa semakin ringan bahan bakar cair, karena mengandung persentase hidrogen yang lebih tinggi, memiliki nilai kalor yang lebih besar. Persamaan berikut berdasarkan hubungan antara API Gravity dan nilai kalor bahan bakar cair :

$$\text{GHV} = 43350 + 93(\text{API gr.} - 10) \text{ kJ/kg}$$

Dimana °API gravity merupakan API Gravity bahan bakar cair pada 60/60°F. Nilai kalor bersih atau NHV (dalam kJ/kg) dapat dihitung dengan mengurangi faktor 24,44(9H+M) dari nilai GHV, dimana H dan M merupakan persentase berat dari hidrogen dan *moisture* dalam bahan bakar.

2.6 Contoh Bahan Bakar Cair

1. Premium

Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (*dye*). Premium adalah senyawa organik yang dibutuhkan dalam suatu pembakaran dengan tujuan untuk mendapatkan energi atau tenaga. Premium merupakan campuran kompleks senyawa-senyawa hidrokarbon yang memiliki titik didih sekitar 40°C sampai 180°C. Bahan bakar ini sering disebut juga dengan gasoline atau petrol. Bahan bakar Premium sering digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan bermotor. Penggunaan Premium dalam mesin berkompresi tinggi akan menyebabkan mesin mengalami *knocking* sehingga Premium di dalam mesin kendaraan akan terbakar dan meledak tidak sesuai dengan gerakan piston. Premium memiliki *Research Octane Number* (RON) sebesar 88. Spesifikasi Premium dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.2 Spesifikasi Premium

No	SIFAT	MIN	MAX
1	Angka oktan riset (RON)	88	-
2	Stabilitas Oksidasi (menit)	360	
3	Kandungan Sulfur	-	0,05
4	Kandungan Timbal (Pb)(gr/lt)	-	0,013
5	Distilasi		
	10% Vol penguapan (°C)	-	74
	50% Vol penguapan (°C)	75	125
	90% Vol penguapan (°C)		180
	Titik Didih akhir (°C)	-	205
	Residu (% Vol)		2.0
6	Tekanan Uap (kpa)	45	69
7	Berat Jenis pada 15°C (kg/m ³)	715	770

5	Getah purawa (mg/100ml)	-	5
6	Periode induksi (menit)	360	-
7	Sulfur bilah tembaga (% massa)	-	0.002
8	Korosi bilah tembaga (menit)	Kelas 1	
9	Kandungan pewarna (gr/100 l	0,13	
10	Warna	Kuning	2

Sumber : *Pertamina, 2019*

2. Solar

Solar adalah fraksi dari pemanasan minyak bumi antara 250-340°C yang mempunyai panjang hidrokarbon antara C₁₆-C₂₀. Solar banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan yang menggunakan mesin diesel. Pada umumnya solar akan banyak mengandung belerang karena dibandingkan dengan bensin solar memiliki titik didih yang lebih tinggi. Kualitas dari solar ditentukan dengan bilangan setana, yaitu tingkat kemudahan minyak solar untuk menyala atau terbakar di dalam mesin diesel (Puspita, 2013). Spesifikasi dari solar dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.3 Spesifikasi Solar

No	SIFAT	MIN	MAX
1	Angka Setana	48	-
2	Berat Jenis pada 15°C (kg/m ³)	815	860
3	Viskositas pada 40 °C (mm ² /sec)	2,0	4,5
4	Kandungan Sulfur (%m/m)	0,35	
5	Distilasi 90% Vol penguapan (°C)	370	
6	Titik Nyala (°C)	52	-
7.	Titik Tuang (°C)	-	18
8.	Kandungan Air mg/kg	-	500

Sumber : *Pertamina, 2019*

3. Minyak Tanah

Minyak tanah atau kerosene adalah cairan hidrokarbon yang tak berwarna dan mudah terbakar yang diperoleh dengan cara distilasi fraksional dari petroleum pada 150°C dan 275°C dan mempunyai rantai karbon dari C11 sampai C15. Biasanya, minyak tanah di distilasi langsung dari minyak mentah membutuhkan perawatan khusus, dalam sebuah unit Merox atau hidrotreater, untuk mengurangi kadar belerang dan pengaratannya. Minyak tanah dapat juga diproduksi oleh hidrocracker, yang digunakan untuk memperbaiki kualitas bagian dari minyak mentah yang akan bagus untuk bahan bakar minyak (Puspita, 2013). Spesifikasi dari Minyak Tanah dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.4 Spesifikasi Minyak Tanah

No	SIFAT	MIN	MAX
1	Titik Asap (mm)	15	-
2	Berat Jenis pada 15°C (kg/m ³)		835
3	Nilai Jelaga (mg/kg)		40
4	Kandungan Sulfur (%m/m)		0,20
5	Distilasi pada 200 °C % Vol penguapan (°C)	18	310
6	Titik Nyala (°C)	38	-

(Sumber : Direktur Jenderal Minyak & Gas Bumi)