

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah bahan buangan atau bahan sisa yang tidak digunakan lagi dari hasil kegiatan manusia baik pada skala rumah tangga, industri, maupun pertambangan (Zakky, 2018). Limbah padat lebih dikenal sebagai sampah, yang sering kali tidak dikehendaki kehadirannya karena tidak memiliki nilai ekonomis (Hidayati, 2019). Bila ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia senyawa organik dan senyawa anorganik (Widjajanti, 2009). Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia dan lingkungan, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah (Marliani, 2015). Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah (Aminah, 2006).

2.1.1 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3 (Tanisha, 2020). Sedangkan sesuai definisi pada Undang Undang 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang dimaksud dengan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan, merusak lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (Musyarofah dan Utami, 2021). Yang termasuk limbah B3 antara lain adalah bahan baku yang berbahaya dan beracun yang tidak digunakan lagi karena rusak, sisa kemasan, tumpahan, sisa proses, dan oli bekas kapal yang memerlukan penanganan dan pengolahan khusus (Meirina, 2019).

2.1.2 Limbah Pelumas Bekas

Pelumas bekas merupakan salah satu sumber polutan yang dapat mengkontaminasi air tanah, dan akan merusak kandungan air tanah, bahkan dapat membunuh mikroorganisme di dalam tanah dan menghambat proses oksidasi

biologi dari sistem lingkungan (Fitriyanti, 2020). Hal tersebut membuat terjadinya pencemaran yang diakibatkan oleh limbah pelumas bekas. Pencemaran merupakan suatu keadaan, dimana zat atau energi diintroduksi ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia atau proses alam sendiri menyebabkan lingkungan tidak berfungsi yang merusak kesehatan, kesejahteraan, dan keselamatan hayati (Damayanti, 2017). Limbah bengkel digolongkan sebagai limbah B3 karena mengandung bahan berbahaya yang dapat merusak, mencemari lingkungan, dan membahayakan kesehatan manusia (Danusaputro, 1986). Pelumas bekas yang dihasilkan dari proses pelapisan mesin memiliki kandungan logam berat seperti Al, Cr, Cd, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, dan Zn serta zat kimia seperti Pestisida, Sianida, Sulfida, Fenol dan sebagainya (Gozalex dkk, 2019). Logam-logam berat pada umumnya bersifat racun walaupun dalam konsentrasi rendah disebabkan oleh terkikisnya metal bantalan dan masuk dalam oli (Ariska, 2014).

Setiap orang dilarang mengumpulkan limbah B3 khususnya oli tanpa ada izin dari Menteri, gubernur, atau bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya. Hal ini di atur dalam Pasal 59 ayat 4 dan sanksi pidana terdapat dalam Pasal 102 UUPPLH. Dan di dalam PP Pasal 1 ayat 2 Peraturan Pemerintah No. 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Limbah B3 khususnya oli dapat merusak lingkungan (Gozalex dkk, 2019). Besar kemungkinan pencemaran lingkungan oleh oli bekas karena dibuang ke media tanah, hal inilah yang mengakibatkan kerusakan pada tanah. Maka dari hal tersebut pelumas bekas harus diolah atau diberikan kepada perusahaan yang dapat mengolah limbah tersebut sehingga tidak berbahaya.

2.2 Minyak Pelumas

Minyak Pelumas adalah salah satu produk minyak bumi yang masih mengandung senyawa-senyawa aromatik dengan indek viskositas yang rendah. Fungsi minyak pelumas adalah mencegah kontak langsung antara dua permukaan yang saling bergesekan. (Effendi, 2014). Minyak pelumas terdiri dari rantai karbon C_{18} hingga C_{20} (Lewis, 1986) yang termasuk ke dalam senyawa hidrokarbon jenuh yang memiliki ikatan tunggal. Minyak peluma juga termasuk ke dalam senyawa alkana dengan rumus umum C_nH_{2n+2} .

Semua jenis minyak pelumas pada dasarnya sama, yaitu sebagai bahan pelumas agar mesin berjalan mulus dan bebas gangguan, sekaligus berfungsi sebagai pendingin dan penyekat (*Samsinar dkk*). Minyak pelumas mengandung lapisan-lapisan halus yang berfungsi untuk mencegah terjadinya benturan antar logam dengan logam komponen mesin agar goresan yang terjadi dapat dicegah seminimal mungkin mencegah terjadinya goresan (*Kurniawan, 2014*).

Terdapat berbagai jenis minyak pelumas. Jenis-jenis minyak pelumas dapat dibedakan penggolongannya berdasarkan bahan dasar (*base oil*), bentuk fisik, dan tujuan penggunaannya. Jenis-jenis minyak pelumas berdasarkan bahan dasar (*base oil*) diantaranya (*Arisandi dkk, 2012*) :

1. Pelumas Cair (Liquid),
2. Semi Liquid
3. Pelumas Padat (Solid),

Dilihat dari bahan dasar dan kegunaannya, minyak pelumas dibagi menjadi tiga macam (*Arisandi dkk, 2012*), yaitu :

1. Pelumas mineral, yaitu pelumas yang digunakan pada sistem kerja standar harian dengan penggunaannya berkisar antara 2000 km s/d 3000 km.
2. Pelumas semi sintetik, yaitu pelumas yang digunakan pada perputaran mesin yang lebih berat dengan penggunaannya berkisar antara 3000 km s/d 5000 km.
3. Pelumas sintetik, yaitu pelumas yang digunakan pada perputaran mesin yang tinggi ekstrim, contohnya pada motor balap dengan penggunaan antara 5000 s/d 7000 km.

2.2.1 Standar Minyak Pelumas

Standar Minyak Pelumas Standarisasi minyak pelumas untuk mesin kendaraan bermotor adalah *Society of Automotive Engineers* (SAE) kode SAE J300. Setiap minyak pelumas mempunyai spesifikasi sendiri sesuai dengan jenis kendaraan yang digunakan. Berikut contoh spesifikasi minyak pelumas SAE 5W-30 pada mobil dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Spesifikasi Pelumas SAE 5W-30 Mobil

No.	Karakteristik	Satuan	Nilai	Metode Uji
1	Viskositas pada suhu 100° C	cSt	11,0	ASTM D 445
2	Viscositas pada suhu 40° C	cSt	61,7	ASTM D 445
3	Indeks Viskositas	-	172	ASTM D 2270
4	Kandungan Abu Sulfat	% bbt	0,8	ASTM D 874
5	Kandungan Fosfor	% bbt	0,08	ASTM D 4981
6	Viskositas pada suhu tinggi 150 °C (HTHS)	mPa's	3,1	ASTM D 4683
7	Titik Tuang	°C	-42	ASTM D 97
8	Titik Nyala	°C	230	ASTM D 92
10	Densitas pada suhu 15,6° C	gr/ml	0,855	ASTM D 4052

(Exxon Mobil Corporation, 2021)

2.2.2 Sifat dan Karakteristik Minyak Pelumas

Berdasarkan sifat hidrokarbonnya minyak pelumas termasuk golongan minyak berat yang mempunyai *Specific Gravity* (Sg) 60/60°F 0,8654 atau API gravity <32. Adapun sifat-sifat minyak pelumas diantaranya (Syukurilla, 2014) :

1. Parafin, Mempunyai viskositas paling rendah dari ketiganya untuk boilingrange yang sama, tetapi viskositas indeksnya paling tinggi. Normal parafin dan parafin dengan sedikit cabang, mempunyai titik beku tinggiditinjau dari kestabilannya terhadap panas dan oksidasi tinggi.
2. Naften, Mempunyai viskositas yang lebih tinggi dari parafin untuk boiling range, tetapi viskositas indeksnya lebih rendah dari parafin. Naften rantai panjang mempunyai viskositas medium sedangkan rantai pendek viskositas indeksnya rendah. Senyawa naften mempunyai titik beku rendah dan daya oksidasi baik.
3. Aromatik, Mempunyai viskositas paling tinggi, tetapi viskositas indeksnya rendah untuk senyawa aromatik dengan rantai alkali pendek, sehingga dalam pengolahannya harus dihilangkan. Senyawa aromatik umumnya memiliki titik beku yang rendah dengan daya tahan terhadap oksidasi kurang baik.

Karakteristik minyak pelumas baru dan pelumas bekas dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Karakteristik Minyak Pelumas Baru dan Pelumas Bekas

Penelitian	Densitas (gr/cm ³)		Viskositas (cp)	
	Baru	Bekas	Baru	Bekas
Prasaji, dkk	0,866	0,868	58,879	55,857
Owallabi, dkk	0,90	0,91	21,10	21,10

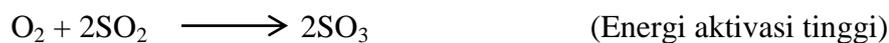
(Sumber : Owallabi, dkk, 2013 dan Prasaji, dkk, 2013)

2.3 Katalis

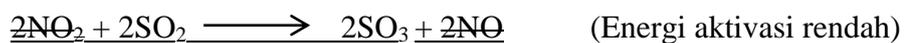
Katalis adalah suatu zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia untuk mencapai kesetimbangan dimana katalis terlibat di dalam reaksi secara tidak permanen (Agustine, 1996). Proses *cracking* dengan bantuan katalis akan memberikan hasil yang optimal dan lebih efisien terutama dari sisi ekonominya. Hal ini disebabkan karena *cracking* dengan menggunakan bantuan katalis akan bekerja pada suhu dan tekanan lebih rendah bila dibandingkan dengan suhu dan tekanan pada *cracking* termal (Gates, 1995).

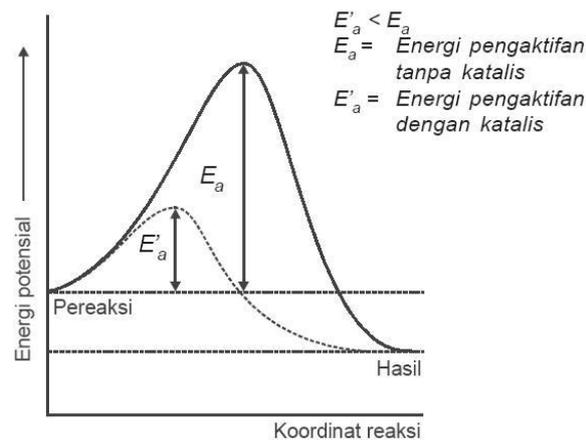
Dalam suatu reaksi, peran katalis adalah untuk menurunkan energi aktivasi dengan jalan mengubah mekanisme reaksi, yaitu dengan jalan menambah tahap-tahap reaksi. Katalis ikut serta dalam suatu tahap reaksi, akan tetapi pada akhir reaksi katalis terbentuk kembali. (James, 1990).

Contoh :



Setelah ditambahkan gas NO yang bertindak sebagai katalis, tahap-tahap reaksi menjadi :





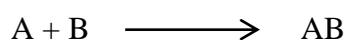
Gambar 2.1 Diagram hubungan energi aktivasi dengan reaksi menggunakan katalis dan tanpa katalis

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa $E'_a < E_a$ menunjukkan bahwa keberadaan katalis tidak merubah entalpi produk yang merupakan faktor termodinamika reaksi. Puncak pada diagram tersebut menunjukkan besarnya energi aktivasi atau besarnya energi yang dibutuhkan untuk membentuk produk. Dengan adanya katalis, maka pembentukan produk dimungkinkan menggunakan temperatur yang lebih rendah (Sibarani, 2012).

Berdasarkan perbedaan fase antara katalis dan reaktan, katalis dibedakan menjadi dua golongan, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fase yang sama dengan reaktan, sedangkan Katalis heterogen merupakan katalis yang fasanya berbeda dengan larutannya (dalam fasa padat). Kelebihan katalis heterogen adalah dapat *direcovery* dan digunakan kembali dan mudah dalam proses pemisahannya karena produk yang terlarut dalam medium reaksi dapat dipisahkan dari katalisnya dengan menyaringnya (Richardson, 1989). Contoh katalis homogen seperti HCL, H₂SO₄, dan HNO₃, sedangkan contoh katalis heterogen salah satunya adalah zeolit. Reaksi katalitik mengikuti persamaan reaksi :

Reaksi tanpa katalis (C) :

Reaktan + Reaktan → Produk (lambat)

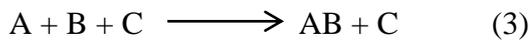


Sedangkan, Reaksi yang menggunakan katalis :

Reaktan + Katalis → Zat antara



Reaktan + Zat antara Produk + Katalis



Meskipun katalis (C) terkonsumsi oleh reaksi 1, namun oleh reaksi 2 terbentuk kembali, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi seperti reaksi 3.

Katalis homogen memiliki keunggulan, yaitu tidak mudah teracuni oleh kotoran dan setiap molekul katalis berfungsi aktif sebagai katalis. Kerugian katalis homogen diantaranya sulit dipisahkan dari campurannya dan mudah terurai pada temperatur tinggi. Sedangkan katalis heterogen memiliki kelebihan diantaranya dapat dipisahkan dari campuran reaksi hanya dengan cara penyaringan, sehingga mudah diregenerasi. Katalis heterogen juga memiliki kekurangan yaitu jika permukaan katalis telah jenuh oleh molekul reaktan, maka reaksi tidak dapat dilanjutkan. Kejenuhan katalis dapat diatasi dengan melakukan regenerasi (*Purnami et al., 2015*). Katalis dapat dilihat kualitasnya berdasarkan beberapa parameter (*Sibarani, 2012*) sebagai berikut:

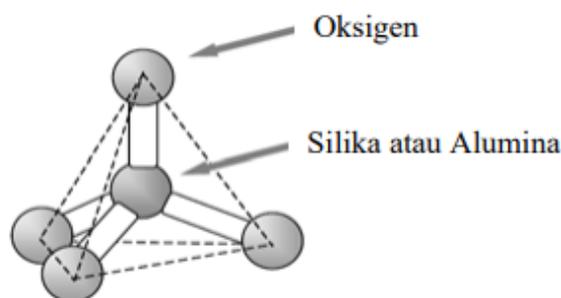
1. Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektivitas, yaitu kemampuan katalis mempercepat salah satu reaksi diantara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk sampingan seminimal mungkin.
3. Kestabilan, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektivitas seperti pada keadaan semula.
4. Hasil (*yield*), yaitu jumlah produk tertentu yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang terkonsumsi.
5. Kemudahan diregenerasi, yaitu proses mengembalikan aktivitas dan selektivitas katalis seperti semula.

Katalis yang digunakan adalah logam aktif yang merupakan logam transisi yang diimbakan kedalam bahan pengemban. Beberapa bahan pengemban yang biasa digunakan adalah zeolit, silika, alumina, dan alumina-silikat (*Triyono, 1994*). Katalis umum yang biasa digunakan pada proses pirolisis adalah zeolit.

2.3.1 Zeolit

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan seperti katalis. Di dalam zeolit terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992). Zeolit juga berupa mineral alumina silikat terhidrat yang terdiri atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) dan silika (SiO_4^{4-}) yang memiliki struktur bermuatan negatif dan berongga terbuka (Jukwatia dan Kafiari, 2018). Rongga terbuka pada zeolit dapat terisi oleh molekul air bersama dengan kation.

Pada zeolit terdapat muatan negatif yang pada strukturnya dapat dinetralkan dengan kation terikat lemah mengakibatkan dapat bertukar dengan kation lain. Zeolit termasuk suatu polimer anorganik berbentuk tetrahedral unit TO_4 , dengan T sebagai Ion Al^{3+} atau Si^{4+} dengan atom O berada disekeliling atom T (Agustine dkk, 2018), yang dapat terlihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur 3 dimensi zeolit

Zeolit memiliki rumus umum pada, yaitu $\text{M}_{x/n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (Mukaromah, 2019). Dari rumus diatas, diketahui M adalah kation bervalensi n, $(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y$ yang merupakan kerangka zeolit bermuatan negatif, sedangkan H_2O adalah molekul air yang terhidrat dalam kerangka zeolit. Zeolit memiliki beberapa manfaat diantaranya (Wulandari, 2018) :

1. Sebagai pendehidrasi, Zeolit merupakan kristal yang memiliki komponen air. Air dalam zeolit dapat dihilangkan dengan proses pemanasan pada suhu 300 hingga 400 °C (Sinha dkk, 1995 dan Zamroni, 2003). Pemanasan pada suhu tersebut dapat membuat air keluar dari pori-pori zeolit dimana kation akan berpindah posisi ke tempat yang mempunyai koordinasi lebih rendah sehingga zeolit berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.

2. Sebagai penukar ion, kation pada zeolit mempunyai sifat exchangeable cations, yaitu dapat bergerak dan dipertukarkan dengan ion lain yang terdapat dalam larutan.
3. Sebagai adsorben. Zeolit memiliki struktur berpori berongga dengan luas permukaan yang besar sehingga mampu mengadsorb dengan baik sehingga dapat digunakan untuk pemurnian dan pemisahan.
4. Sebagai katalis. Zeolit mempunyai rongga permukaan internal yang sangat luas sehingga dapat menampung 100 kali molekul lebih banyak.

Pada dasarnya zeolit terbagi menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam umumnya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} , berbeda dengan zeolit sintetik umumnya hanya mengandung kation-kation K^+ atau Na^+ (Andriani, 2017).

2.3.2 Jenis-jenis Zeolit

a. Zeolit Alam (ZA)

Zeolit alam terbentuk dari proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu-batuan yang mengalami perubahan di alam (Setyawan, 2002). Beberapa ahli mineralogi dan geokimia mengatakan bahwa zeolit merupakan produk yang dihasilkan oleh gunung berapi yang telah membeku menjadi batuan vulkanik, sedimen, dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin (Lestari, 2010).

Zeolit alam memiliki komponen utama berupa silika dan alumina. Selain komponen utama tersebut, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor antara lain Na, K, Ca (Bogdanov et al., 2009), Mg dan Fe (Akimkhan, 2012). Zeolit alam memiliki beberapa kelemahan diantaranya masih mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik (Lestari, 2010). Pengotor-pengotor yang berada dalam zeolit tersebut dapat mengakibatkan berkurangnya aktivitas dari zeolit. Hal yang dapat dilakukan untuk memperbaiki karakter zeolit alam yang masih mengandung pengotor-pengotor biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu (Mackovciakova et al., 2007). Untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dan sifat katalis zeolit dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu fisika dan kimia. Aktivasi zeolit secara fisika dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-400 °C dengan udara panas atau dengan sistem vakum

untuk melepas molekul air (Amiruddin dan Sugiarti, 2008). Sedangkan aktivasi zeolit dengan cara kimia dilakukan dengan pencucian zeolit dengan asam-asam Natrium Etilendiamin Tetra Asetat (Na_2EDTA) atau asam-asam anorganik seperti Hidroflorik (HF), Asam Klorida (HCL), dan Asam Sulfat (H_2SO_4) yang berfungsi untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori pada zeolit (Nurlianti dan Mirawaty, 2016).

b. Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam dikembangkan untuk alternatif pengolahan limbah (Saputra, 2006). Zeolit sintetik dibuat secara rekayasa sesuai kebutuhan sehingga didapatkan karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Zeolit sintetik pada dasarnya terdiri dari komponen silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang memiliki kandungan silika dan alumina. Pada zeolit sintetik terdapat komponen minor yang bisa ditambahkan dengan mudah dengan senyawa murni yang mengakibatkan zeolit sintetik memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi (Georgiev, 2009).

Bahan pengemban dengan sistem katalis logam pengemban sangat menentukan kinerja suatu katalis (Bell, 1987). Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam pengembanan logam-logam pada zeolit yang digunakan sebagai katalis antara lain penelitian tentang proses *hydrocracking* oli bekas menjadi fraksi bensin dan diesel dengan menggunakan katalis Fe_2O_3 dan Fe yang diimbangkan pada zeolit alam (dengan atau tanpa Nb_2O_5) dengan hasil konversi cair sebesar 50,64% b/b dengan fraksi bensin 35,64% (Anggraeni, 2007). Selanjutnya penelitian mengenai pengaruh waktu kontak antara reaktan dan katalis pada proses *hydrocracking* oli bekas menggunakan katalis $\text{ZnO}/\text{Nb}_2\text{O}_5$ -ZAAH dengan hasil optimasi waktu kontak dapat diketahui produk cair optimal yaitu 61,27% b/b yang diperoleh pada waktu kontak 0,016 menit, dengan fraksi bensin 42,48% b/b dan diesel 18,78% b/b (Trisunaryanti dkk, 2008). Penelitian lainnya juga mengatakan bahwa konversi petroleum gas oil menjadi gasoline, kerosene dan diesel melalui reaksi *hydrocracking* pada temperatur 450°C , waktu kontak 90 menit menggunakan katalis Zeolit USY yang diimbangkan logam bimetal dari NiMo, CoMo, NiW, dan CoW dengan hasil produk cair diperoleh sebesar 63,35%

(Alsobaai dkk, 2007). Hal ini menunjukkan adanya peningkatan konversi produk cair dibandingkan menggunakan katalis monometal. Peningkatan aktivitas katalitik ini disebabkan karena pengembangan logam bimetal yang menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah situs asam dan luas permukaan spesifik.

2.4 Logam Transisi : Nikel (Ni)

Logam transisi adalah logam yang berada pada unsur-unsur blok d, sedangkan unsur-unsur pada blok f disebut logam transisi dalam (Sibarani, 2014). Logam transisi dan senyawanya diketahui mempunyai aktivitas katalitik sifat homogen dan heterogen. Logam transisi memiliki kemampuan untuk mempunyai lebih dari satu bilangan oksidasi dan kemampuan untuk membentuk senyawa kompleks. Katalis pada permukaan bidang padat menyertakan pembentukan ikatan antara molekul reaktan dan atom pada permukaan katalis. Hal ini mengakibatkan meningkatnya konsentrasi reaktan pada permukaan katalis dan memperlemah ikatan pada molekul yang bereaksi (menurunkan energi aktivasi reaksi). Dan juga karena unsur logam transisi dapat mengubah bilangan oksidasi, sehingga efektif sebagai katalis.

Logam nikel adalah unsur kimia metalik berbentuk solid dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dengan nomor atom 28 dan memiliki konfigurasi elektron $[Ar]3d^84s^2$. Nikel merupakan logam berwarna putih keperak-perakan sedikit semburat keemasan dapat dilihat pada Gambar 2.3.

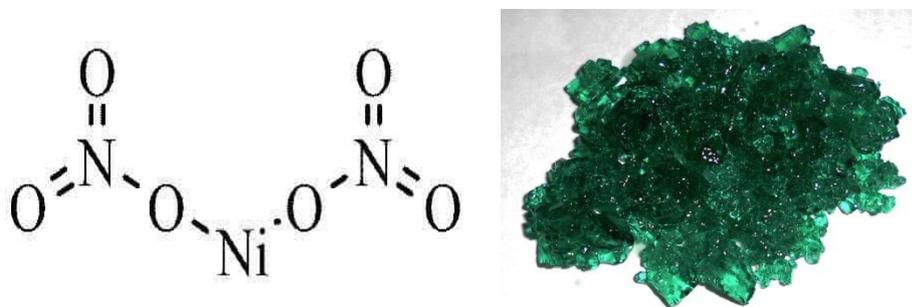


Gambar 2.3 Logam Nikel

Nikel termasuk logam transisi, memiliki konduktivitas listrik dan memiliki sifat tahan terhadap oksidasi, mudah ditarik oleh magnet, larut dalam asam nitrit, tidak larut dalam air dan amonia, dan sedikit larut dalam hidroklorik dan asam

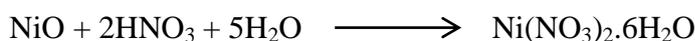
belerang, juga memiliki sifat keras, ulet serta panas yang relatif tinggi untuk logam-logam transisi. Sebagai suatu senyawa nikel memiliki kegunaan pembuatan bahan kimia khusus, seperti katalis untuk hidrogenasi, katoda untuk baterai, dan perawatan permukaan logam. Nikel memiliki titik didih 3186K (2913 °C ; 5275 °F), dengan densitas 8,902 gr/cm³, densitas 8,8 gr/cm³ untuk logam padat dan 9,04 gr/cm³ untuk kristal tunggal.

Salah satu nikel yang sering ditemukan adalah Nikel Nitrat Hexahydrate atau Nikel Nitrat Segi Enam dengan rumus kimia Ni(NO₃)₂·6H₂O. Nikel Nitrat Hexahydrate dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Logam Nikel Nitrat Hexahydrate

Nikel Nitrat Hexahydrate memiliki massa molar 290,79 g/mol, Densitas 2,05 g/cm³, titik lebur 56,7 °C (134,1 °F ; 329,8 K), titik didih 136,7 °C (278,1 °F ; 409,8 K). Nikel Nitrat Hexahydrate terbentuk dari hasil reaksi antara Nikel Oksida (NiO) dengan Asam Nitrat (HNO₃), dengan persamaan reaksi :



2.5 Hydrocracking

Hydrocracking merupakan gabungan antara proses perengkahan (*cracking*) dan hidrogenasi. Gas yang sering digunakan dalam proses hydrocracking ini adalah H₂ dan N₂ (Siswodiharjo, 2006). Dengan pelumas bekas 40 ml, katalis Cr/ZAA 1 gr, dan laju alir gas hidrogen 20 ml/det dengan variabel suhu 300-500 °C menghasilkan bahan bakar cair 0,62-11,7 ml/jam (Dwi dkk, 2014). Katalis yang pernah digunakan peneliti sebelumnya pada proses *hydrocracking* adalah ZnO dan Nb₂O₅ (Trisunaryanti, 2008), Ni-Mo-S/ZAA (Fanani, 2010).

Contoh reaksi simpel hydrocracking (Fogler, 2005) untuk model reaksi hydrocracking yang lebih sederhana tergolong satu jenis, yaitu reaksi hydrocracking senyawa toluena dengan gas hidrogen yang menghasilkan benzena dan metana dalam reaktor unggun tetap dengan katalis kristal silika alumina dalam reaksi. suhu 600 °C berikut:



Maka, untuk oli dengan jumlah atom karbon C_{18-20} . reaksi *hydrocracking* yang dihasilkan pada C_{18} (Oktadekana) menghasilkan senyawa n-dekana + n-oktana yang berpotensi menghasilkan fraksi kerosin dan nafta (bensin berat) berikut:



2.6 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral (Wiratmaja, 2010). Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Bensin/gasolin/premium, minyak solar, minyak tanah adalah contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi.

Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Minyak mentah, jika disuling akan menghasilkan beberapa macam fraksi, seperti: bensin atau premium, kerosin atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda (Setiadi, 2020).

Beberapa contoh bahan bakar cair diantaranya bensin, solar, kerosin, dan sebagainya (BPH Migas, 2020). Berdasarkan RON bensin atau gasoline dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. *Premium* (RON 88)

Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (*dye*). Penggunaan *premium* pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti : mobil, sepeda motor, motor tempel dan lain-lain. Bahan bakar ini sering juga disebut motor gasoline atau petrol. Spesifikasi bensin *premium* (RON 88) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.3 Standar dan mutu (spesifikasi) *premium* (RON 88)

No	Karakteristik	Satuan	Batasan			
			Tanpa Timbal		Bertimbal	
			Min.	Maks.	Min.	Maks.
1.	Bilangan Oktana					
	- Angka Oktana Riset – (RON)	RON	88.0	-	88.0	-
	- Angka Oktana Motor – (MON)					
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾	-	0,05 ¹⁾
4.	Kandungan Timbal	g/l	-			0.3
5.	Distilasi					
	10% vol. penguapan	°C	-			74.
	50% vol. Penguapan	°C	88			125
	90% vol. Penguapan	°C				180
4.	Titik didih akhir	°C	-			205
5.	Residu	% vol	-			2.0
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-			27 ²⁾
8.	Tekanan Uap	kPa	-			62
9.	Berat Jenis (15°C)	Kg/m ³	715	780	715	780
10.	Korosi bilah tembaga	Menir	Kelas I		Kelas I	
12.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0.002	-	0.002
13.	Penampilan visual		Jernih dan terang		Jernih dan terang	
14.	Warna		Merah		Merah	
16.	Bau		Dapat dipasarkan		Dapat dipasarkan	

¹⁾(Keputusan Direktur Jenderal Minyak Dan Gas Bumi No : 3674/K/24/DJM2006).

2. *Pertamax* (RON 91)

ditujukan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbal (*unleaded*). *Pertamax* direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi diatas tahun 1990 terutama yang telah

menggunakan teknologi setara dengan *electronic fuel injection* dan *catalytic converters*. Standar dan mutu (spesifikasi) *pertamax* (RON 91) dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.4 Standar dan Mutu (Spesifikasi) *Pertamax* (RON 91)

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min.	Maks.
1.	Angka Oktan Riset (RON)	-	91.0	-
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	-	0,013 ²⁾
5.	Kandungan Phosphor	mg/l	-	-
6.	Kandungan Logam (Mangan, Besi, dll).	mg/l	-	-
7.	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2.7 ²⁾
9.	Kandungan Olefin	% v/v	-	*)
10.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	50.0
11.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5.0
12.	Distilasi :			
	10% vol. penguapan	°C	-	70
	50% vol. Penguapan	°C	-	110
	90% vol. Penguapan	°C	-	180
	Titik didih akhir	°C	-	215
	Residu	% vol	-	2.0
13.	Sedimen	mg/l	-	1
16.	Tekanan Uap	kPa	45	60
17.	Berat Jenis (15°C)	menit	715	770
18.	Korosi bilah tembaga		Kelas I	
19.	Uji Doctor	% massa	Negatif	
20.	Sulfur Mercaptan		-	0.002
21.	Penampilan visual		Jernih dan terang	
22.	Warna		Biru	
23.	Kandungan pewarna	g/100 l	-	0,13

(Keputusan Direktur Jenderal Minyak Dan Gas Bumi No : 3674/K/24/DJM/2006)

3. *Pertamax Plus* (RON 95)

Jenis BBM ini telah memenuhi standar *performance International World Wide Fuel Charter (WWFC)*. Ditujukan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan ramah lingkungan. Spesifikasi dan mutu *pertamax plus* (RON 95) dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Standar dan Mutu (Spesifikasi) *Pertamax Plus* (RON 95)

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min.	Maks.
1.	Angka Oktan Riset (RON)	-	95.0	-
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	-	0,013 ²⁾
5.	Kandungan Phosphor	mg/l	tak terdeteksi	
6.	Kandungan Logam (Mangan, Besi, dll).	mg/l	tak terdeteksi	
7.	Kandungan Silikon	mg/kg	tak terdeteksi	
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2.7 ²⁾
9.	Kandungan Olefin	% v/v		*)
10.	Kandungan Aromatik	% v/v		40.0
11.	Kandungan Benzena	% v/v		5.0
12.	Distilasi :			
	10% vol. penguapan	°C		70
	50% vol. Penguapan	°C		110
	90% vol. Penguapan	°C		180
	Titik didih akhir	°C		205
	Residu	% vol	-	2.0
13.	Sedimen	mg/l	-	1
14.	Unwashed gum	mg/100 ml	-	70
15.	Washed gum	mg/100 ml	-	5
16.	Tekanan Uap	kPa	45	60
17.	Berat Jenis (15°C)	menit	715	770
18.	Korosi bilah tembaga		Kelas I	
19.	Uji Doctor	% massa	Negatif	
20.	Sulfur Mercaptan		-	0.0020
21.	Penampilan visual		Jernih dan terang	
22.	Warna		Kuning	
23.	Kandungan pewarna	g/100 l	-	0,13

(Keputusan Direktur Jenderal Minyak Dan Gas Bumi No :3674/K/24/DJM/2006).

4. Minyak Solar (HSD)

High Speed Diesel (HSD) merupakan BBM jenis solar yang memiliki angka performa cetane number 45, jenis BBM ini umumnya digunakan untuk mesin transportasi mesin diesel yang umum dipakai dengan sistem injeksi pompa mekanik (*injection pump*) dan *electronic injection*, jenis BBM ini diperuntukkan untuk jenis kendaraan bermotor transportasi dan mesin industri. Standar dan mutu (Spesifikasi) BBM jenis solar dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Solar

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min.	Maks
1.	Bilangan Cetana :			
	- Angka Cetana	-	48	-
	atau			
	- Indeks Cetana	-	45	-
2.	Berat Jenis (15°C)	Kg/m ³	815	870
3.	Viscositas (40°C)	mm ² /s	2.0	5.0
4.	Kandungan Sulfur	% mm	-	0,35 ¹)
5.	Distilasi :			
	T 95	°C	-	370
6.	Titik Nyala	°C	60	-
7.	Titik Tuang	°C	-	18
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0.1
9.	Kandungan air	mg/kg	-	500
10.	Biological growth *)	-	Nihil	
11.	Kandungan FAME *)	% v/v	-	10
12.	Kandungan Metanol dan Etanol	% v/v	tak terdeteksi	
13.	Korosi Bilah Tembaga	menit	-	Kelas 1
14.	Kandungan Abu	% m/m	-	0.01
15.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0.01
16.	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/g	-	0
17.	Bilangan Asam Total	mgKOH/g	-	0.6
18.	Partikulat	mg/l	-	-
19.	Penampilan visual		Jernih dan terang	
20.	Warna	No. ASTM	-	3.0

¹(Keputusan Direktur Jenderal Minyak Dan Gas Bumi No :3675/k/24/djm/2008)

5. Kerosin (Minyak Tanah)

Minyak tanah atau kerosin adalah bahan bakar minyak jenis distilat tidak berwarna dan jernih. Kerosin merupakan produk minyak bumi dengan titik didih antara 150 °C sampai dengan 300 °C dan memiliki berat jenis antara 0,79-0,83 gr/cm³ pada 60 °F (Lemigas, 1999).

Mutu kerosin dapat ditentukan dari sifat-sifat penting seperti volatility, freezing dan pour point, viscosity, smoke point, char value, indeks refraksi serta kadar sulfur (W. Francis and M. C. Peters, 1980).

Standar dan mutu (Spesifikasi) BBM jenis minyak tanah dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah.

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min.	Maks.
1.	Berat Jenis (15 °C)	Kg/m ³	-	835
2.	Titik Asap	mm	15	-
3.	Nilai Jelaga	%m/m	-	0,004 ¹⁾
4.	Destilasi	-	-	-
4.1	Perolehan Volume pada 200°C	% vol	18	-
4.2	Titik Akhir	°C	-	310
5	Titik Nyala Abel	°C	38,0	-
6.	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,20 ²⁾
7.	Korosi Bilah Tembaga	merit	Kelas 1	
8.	Bau dan Warna	-	Dapat dipasarkan	

(Keputusan Direktur Jenderal Minyak Dan Gas Bumi No : 119.K/18/DJM/2020).

2.6.1 Karakteristik Bahan Bakar Cair

Karakteristik bahan bakar cair yang akan dipakai pada penggunaan tertentu untuk mesin atau peralatan lainnya perlu diketahui terlebih dahulu, dengan maksud agar hasil pembakaran dapat tercapai secara optimal. Secara umum karakteristik bahan bakar cair yang perlu diketahui sebagai berikut (Kholidah, 2014):

1. Berat Jenis, *Specific Gravity*, °API Gravity.

Berat jenis dan °API Gravity menyatakan densitas atau berat persatuan volume sesuatu zat. °API Gravity dapat diukur dengan hidrometer (ASTM D 287), sedangkan berat jenis dapat ditentukan dengan piknometer (ASTM D 941 dan D 1217). Pengukuran °API Gravity dengan hidrometer dinyatakan dengan angka 0-100. Hubungan °API Gravity dengan berat jenis sebagai berikut:

$$^{\circ}\text{API Gravity} = \frac{141,5}{\text{Specific Gravity}} - 131,5 \quad (\text{Kern, 1965})$$

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 makin tinggi °API Gravity atau

makin rendah berat jenis maka minyak tersebut makin berharga karena banyak mengandung bensin.

2. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga bahan bakar tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang ini diperlukan sehubungan dengan adanya persyaratan praktis dari prosuder penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak, hal ini dikarenakan bahan bakar minyak sering sulit untuk di pompa, apabila suhunya telah dibawah titik tuang.

3. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel atau ketel uap.

4. Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan / hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukurannya tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir. cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viscometer yang digunakan, dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran. Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung burner atau pada

dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.

5. 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 dari bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18,300 – 19,800 Btu/lb atau 10,160 -11,000 kkal/kg. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis (density). Pada volume yang sama, semakin besar berat jenis suatu minyak, semakin kecil nilai kalornya, demikian juga sebaliknya semakin rendah berat jenis semakin tinggi nilai kalornya. Nilai kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada bomb calorimeter. Nilai kalor 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*).

6. Oktan dan Cetane *Number*

Angka oktan adalah suatu angka yang menyatakan kemampuan bahan bakar minyak (khususnya mogas) dalam menahan tekanan kompresi untuk mencegah gasoline terbakar sebelum busi menyala mencegah terjadinya denotasi (suara mengelitik) didalam mesin bensin. Angka oktan mewakili suatu perbandingan antar n-heptana yang memiliki angka oktan nol dan iso-oktana yang memiliki angka oktan seratus. Angka oktan diperlukan karena berhubungan dengan kemajuan teknologi permesinan, yang mempunyai kecenderungan menaikkan perbandingan kompresi untuk meningkatkan power output, yang mana membutuhkan gasoline dengan angka oktan yang tinggi. Secara teoritis angka oktan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$Ob = \frac{(Vg.Og)+(Ve+Oe)}{Vg+Ve} \quad (\text{Permana, 2010})$$

Keterangan :

Ob = Nilai Oktan Campuran

Vg = Volume Bensin

Vc = Volume Etanol

Oc = Nilai Oktan Etanol

Og = Nilai Oktan Bensin

7. Kadar abu (*Ash Content*)

Kadar abu adalah jumlah sisa-sisa dari minyak yang tertinggal, apabila suatu minyak dibakar sampai habis. Kadar abu ini dapat berasal dari minyak bumi sendiri akibat kontak didalam perpipaan dan penimbunan (adanya partikel metal yang tidak terbakar yang terkandung dalam bahan bakar minyak itu sendiri dan berasal dari sistem penyaluran dan penimbunan).

8. Kandungan Belerang (*Sulphur Content*)

Semua bahan bakar minyak mengandung belerang/ sulfur dalam jumlah yang sangat kecil. Hal ini disebabkan karena dalam proses pembakaran, belerang ini teroksidasi oleh oksigen menjadi belerang oksida (SO_2) dan belerang teroksidasi (SO_3). Oksida belerang ini apabila kontak dengan air merupakan bahan-bahan yang merusak dan korosif terhadap logam-logam didalam ruang bakar dan sistem gas buang.

2.7 Proses Pengolahan Minyak Pelumas Bekas menjadi Bahan Bakar Cair

Dalam proses pengolahan pelumas bekas, produk yang dihasilkan adalah bahan bakar cair, yaitu terdiri persen fraksi bensin, kerosin, dan solar. Adapun dalam pengolahan minyak pelumas bekas ini terjadi dua proses, yaitu proses *Hydrocracking*, penambahan katalis, dan proses pendinginan.

1. Proses *Hydrocracking*

Pada tahap ini terjadi proses penguraian atau pemecahan molekul-molekul senyawa hidrokarbon yang besar menjadi molekul-molekul senyawa yang lebih kecil dengan cara menambahkan hidrogen murni. Proses *hydrocracking* ini melibatkan tekanan dan temperatur yang tinggi, katalis, dan hidrogen. Pada dasarnya proses *hydrocracking* hampir sama dengan proses pirolisis yang memerlukan suhu tinggi. Pada proses pirolisis tanpa menggunakan gas hidrogen dengan dan tanpa udara. Kajian sifat-sifat fisik dan karakteristik minyak hasil pirolisis dengan memvariasikan temperatur pada range temperatur 250°C hingga 500°C menunjukkan bahwa ada hasil pirolisis yang memenuhi kriteria sebagai kerosene, gasoline, solar dan bensin (*Hissa, dkk, 2019, dalam Rusdianasari, dkk, 2021*).

2. Penambahan Katalis

Pada tahap ini katalis dimasukkan ke dalam reaktor. Penambahan katalis ini berperan sebagai yang berfungsi substansi dalam mempercepat laju reaksi sehingga proses perengkahan dapat berlangsung dengan waktu yang lebih cepat.

3. Proses Pendinginan

Pada tahap pendinginan di dalam kondensor, terjadi proses perubahan fase dari gas keluar reaktor menjadi fase cair serta terjadi penurunan temperatur pada produk bahan bakar cair yang diinginkan.

