

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Prototipe pertama mesin diesel diperkenalkan oleh Rudolph Diesel, seorang ilmuwan Jerman pada tahun 1892. Mesin diesel termasuk dalam motor pembakaran dalam karena gas panas yang digunakan untuk melakukan kerja mekanis diperoleh dari proses pembakaran mesin itu sendiri (terjadi di dalam ruang silinder). Mesin diesel seperti mesin otto pada umumnya mempunyai tujuan yaitu mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas/thermal yang kemudian energy panas ini mendorong torak untuk bergerak (energi mekanik), untuk menghasilkan tenaga (daya). Ada beberapa hal yang mempengaruhi unjuk kerja mesin diesel, antara lain besarnya perbandingan kompresi, tingkat homogenitas campuran bahan bakar dengan udara, karakteristik bahan bakar (termasuk Cetane Number), dimana Cetane Number menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk terbakar sendiri (*auto ignition*).

Mesin diesel tidak memerlukan sistem pengapian tersendiri seperti halnya mesin otto. Jumlah udara masuk selalu dalam jumlah maksimum. Mesin diesel mencapai performance yang tinggi dan bahan bakar yang sempurna dengan mengompresi udara sampai tekanan tinggi kemudian diinjeksikan sejumlah kecil bahan bakar ke dalam ruang silinder. Bercampur dengan udara bertekanan di dalam ruang silinder, menyala sendiri dan terbakar selanjutnya melepas energi yang dikandung didalam bahan bakar. Oleh karena itu kualitas penyalaan atau Cetane Number yang tinggi sangat dibutuhkan.

Pada mesin diesel, jenis bahan bakar lain yang memiliki kemampuan terbakar sendiri juga sangat memungkinkan digunakan sebagai bahan bakar dasar atau campuran dan additif minyak diesel (solar). Beberapa diantaranya adalah emulsi batu bara dan biodiesel (vegetable oil). Khusus penggunaan biodiesel, konsep sebagai alternatif bahan bakar mesin diesel, sebenarnya bukan hal yang baru. Rudolf Diesel dengan demonstrasi penelitiannya sendiri (pada tanggal 10 Agustus 1893 di Jerman) sudah melakukan hal tersebut dan berhasil dengan baik.

## 2.1 BAHAN BAKAR MESIN DIESEL

Minyak diesel (solar) berasal dari fraksi Gasoil, terdiri dari campuran Hidrokarbon, yang merupakan fraksi minyak bumi dengan kisaran titik didih antara 250 sampai 350 °C yang disebut juga sebagai middle distilat (Pertamina, 2001). Minyak diesel terbentuk dari rangkaian hidrokarbon dengan 14-18 karbon per molekul, dengan kandungan karbon dari 83 % sampai 87 % dan hidrogen sebesar 11 % sampai 14 % (perberat). Hidrokarbon merupakan komponen utama dari pembentukan minyak bumi dan senyawa hidrokarbon sebagai pembentuk utama minyak bumi digolongkan menjadi :

1. *Parafin*, merupakan senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai rumusan umum  $C_nH_{2n+2}$ . Minyak mentah yang disusun dari senyawa ini disebut parafin base crude.
2. *Olefin*, merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh dan rantai karbon ganda dengan rumusan umum  $C_nH_{2n}$ .
3. *Diolfins*, merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh yang mempunyai rantai molekul yang hampir sama dengan olefins yang mempunyai rumus umum  $C_nH_{2n-2}$ .
4. *Acetylin*, merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh dengan rantai tripel karbon dengan rumus umum  $C_nH_{2n-2}$
5. *Naphtenik atau Siklo Parafin*, merupakan senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai sifat siklik, dengan rumusan umum  $C_nH_{2n}$ . Minyak mentah dari golongan ini disebut naphetenik base crude
6. *Aromatik*, merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh yang tertutup dengan rumusan umum  $C_nH_{2n-6}$ . Minyak mentah dari golongan ini disebut aromatik base crude.

Kualitas dan jumlah minyak diesel tergantung pada komposisi kimia minyak bumi yang digunakan. Masing-masing komposisi kimia seperti disebut di atas akan menghasilkan minyak diesel dengan nilai Cetane Number, kandungan energi, cloud point, kandungan Sulfur yang berbeda.

Salah satu masalah lingkungan akibat pembakaran dengan menggunakan minyak diesel (solar) adalah disebabkan adanya kandungan Sulfur. Sulfur pada produk pembakaran jika bergabung dengan air dalam bentuk uap akan

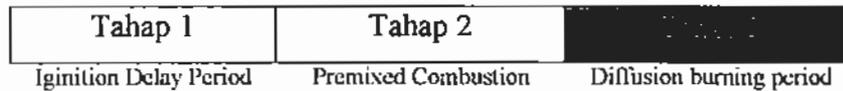
menghasilkan asam. Oleh karena itu sejumlah sulfur yang terdapat dalam bahan bakar diesel secara berkelanjutan diturunkan sesuai standard peraturan emisi. Sehingga pengolahan akhir dan metode pencampuran (blend) sangat dimungkinkan untuk mendapatkan minyak diesel sesuai spesifikasi yang diinginkan.

### 2.1.1 Pembakaran Mesin Diesel

Proses pembakaran pada mesin diesel adalah proses yang terjadi dimana hidrokarbon pada bahan bakar, yang memiliki kemampuan untuk menyala sendiri, diinjeksikan ke dalam ruang bakar yang berisi udara yang bertekanan dan temperatur tinggi. Tahapan pembakaran pada mesin diesel dikenal dengan tiga tahap yaitu :

1. *Tahapan pertama* adalah *ignition delay* dimana ketika bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar, bahan bakar tidak langsung terbakar dengan segera, ada beberapa saat waktu yang dibutuhkan sehingga bahan bakar tersebut terbakar, selama bahan bakar temperaturnya naik, mengabut, bercampur dengan udara dan membentuk reaksi kimia yang memproduksi radikal-radikal penting untuk pembakaran secara spontan (autoignition). Waktu ignition delay sebuah mesin diesel biasanya antara 0.7 dan 2 ms untuk Cetane Number 40 dan 50.
2. *Tahapan kedua* adalah *premixed combustion*, pembakaran akan terjadi pada wilayah dimana campuran bahan bakar-udara tercampur, yang mempunyai ratio bahan bakar-udara yang baik (rasio stoikiometri). Kenaikan temperatur dan tekanan yang sangat cepat mempercepat proses pembakaran. Kemudian ketika proses kimia kinetik mendominasi ignition delay, temperatur dan tekanan tinggi mendorong reaksi yang sangat cepat yang membuat campuran bahan bakar-udara terbakar dengan sendirinya. Pada tahapan premixed combustion hanya mengkonsumsi bahan bakar antara 5 sampai 10 % bahan bakar pada operasi full load [6].
3. *Tahapan yang ketiga*, pada akhir premixed combustion, kebanyakan bahan bakar telah diinjeksikan atau masih berada di daerah yang terlalu kaya untuk terbakar. Hal ini menimbulkan banyak gas dengan rasio bahan bakar – udara

yang dibutuhkan dan pembakaran terus berlanjut. Bagian ini disebut dengan *diffusion burning period* dan pada kondisi ideal akan mengkonsumsi seluruh bahan bakar.



Gambar 2.1. Tahapan pembakaran

Efisiensi pembakaran erat juga kaitannya dengan kualitas penyalaan bahan bakar diesel yang dipengaruhi oleh komposisi molekul-molekul yang terdapat pada bahan bakar tersebut. Beberapa komponen molekul seperti n-paraffin (yang memiliki hidrokarbon jenuh) seperti pada minyak diesel dapat menyala dengan relative mudah, tetapi tidak seperti aromatik (dalam hal ini minyak solar) mempunyai struktur cincin (ring) yang lebih stabil yang membutuhkan temperature dan tekanan yang relatif tinggi untuk menyala.

### 2.1.2 Kemampuan Terbakar Sendiri (Auto Ignition)

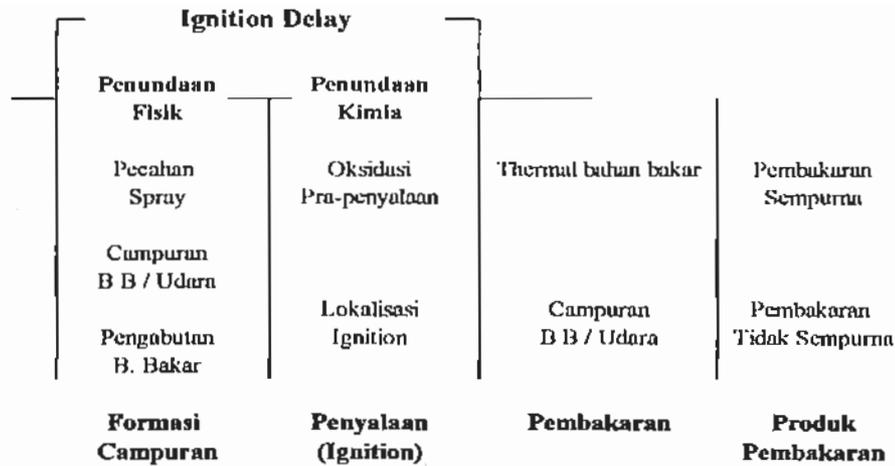
Salah satu karakteristik yang paling penting dari bahan bakar diesel adalah kemampuannya untuk menyala sendiri pada temperatur dan tekanan yang ada di dalam silinder ketika bahan bakar diinjeksikan. Test laboratorium yang digunakan untuk mengukur kemampuan tersebut digunakan Cetane Number Test (ASTM D 613). Bahan bakar dengan Cetane Number (Cetane Number) yang tinggi akan mempunyai periode kelambatan penyalaan (*ignition delay*) yang pendek, dimana : Secara fisik, mencakup :

- formasi pengabutan, penguapan,
- pencampuran bahan bakar dan udara
- pemanasan bahan bakar dan evaporasi

langkah-langkah fisik di atas berlangsung secara alami dan umumnya berlangsung dengan waktu yang sangat pendek.

Dan secara kimia, mencakup :

- oksidasi pra-penyalaan dari hidrokarbon yang telah dicampur
- lokalisasi penyalaan yang terjadi pada beberapa area dalam ruang pembakaran (ruang silinder)



Gambar 2.2. Tahapan Sebelum dan Sesudah Autoignition [W. Addy M, 2006]

Selain struktur kimia bahan bakar, temperatur, dan kondisi tekanan diruang bakar, waktu kelambatan penyalaan (ignition delay) juga dipengaruhi oleh perbandingan udara dan bahan bakar. Dan walaupun penyalaan terjadi dalam phasa uap, reaksi oksidasi dan terjadi dalam phasa liquid (cair) antara molekul bahan bakar dan oksigen yang diuraikan dalam butiran-butiran bahan bakar.

Suatu bahan bakar dengan mutu penyalaan yang baik akan siap menyala dengan sedikit keterlambatan penyalaan (ignition delay yang pendek). Bahan bakar dengan mutu penyalaan yang buruk akan menyala dengan sangat terlambat, tetapi bahan bakar dengan kualitas penyalaan yang baik akan terbakar dengan sendirinya pada temperature yang rendah, membutuhkan waktu yang sedikit untuk mengabut, sehingga akan memberikan mutu operasi mesin yang lebih baik.

Jika bahan bakar mempunyai Cetane Number yang rendah akan memiliki waktu kelambatan penyalaan (ignition delay) yang panjang, sehingga lebih banyak bahan bakar diinjeksikan sampai terjadi pembakaran. Untuk bahan bakar yang mempunyai Cetane Number yang tinggi akan memiliki waktu kelambatan penyalaan (ignition delay) yang pendek, pembakaran terjadi sebelum banyak bahan bakar diinjeksikan. Disamping itu dengan waktu kelambatan penyalaan yang pendek sangat berkorelasi dengan start up yang lebih cepat pada suhu yang dingin dan mengurangi emisi gas buang. Ignition delay yang panjang dari bahan bakar dengan Cetane Number dibawah 40 menghasilkan campuran bahan bakar-

udara yang sangat kaya dalam silinder ketika akhir penyalaan terjadi [W. Pulkrabek, 2003].

Salah satu keunggulan biodiesel adalah memiliki Cetane Number yang tinggi (rata-rata diatas 50) sehingga memiliki mutu penyalaan (auto ignition) yang baik dengan waktu kelambatan penyalaan (ignition delay) yang lebih pendek dari minyak solar, sehingga berkontribusi mengurangi emisi gas buang.

## **2.2 ALTERNATIF PENINGKATAN KUALITAS MINYAK DIESEL**

Peningkatan kualitas pembakaran dan bahan bakar dapat dilakukan dengan beberapa langkah perbaikan dan peningkatan pembakaran dan kualitas bahan bakar. Hal-hal yang berkaitan dengan perbaikan pembakaran dan bahan bakar meliputi sebagai berikut :

1. Perbaikan sistem sebelum pembakaran, alternatif ini menyangkut perbaikan kualitas bahan bakar diantaranya penambahan additif & diversifikasi energi yaitu dengan menggunakan bahan bakar alternatif salah satunya dengan penggunaan biodiesel
2. Perbaikan sistem pembakaran, alternatif ini menyangkut perbaikan kualitas mesin sendiri
3. Perbaikan sesudah pembakaran, dilakukan dengan "treatmen" gas buang setelah proses pembakaran dengan memasang suatu alat yang dapat mengeliminasi gas beracun dari pembakaran menjadi gas yang relatif aman dibuang ke udara.

Alternatif yang pertama dilakukan dengan mengganti atau mencampur bahan bakar solar dengan metanol dan etanol. Alternatif yang lain adalah dengan penambahan additif dan biodiesel untuk menaikkan cetane numbernya.

Penambahan additif umumnya dilakukan dengan konsentrasi dibawah 1 % sehingga diharapkan propertis fisik minyak solar seperti densitas, viskositas dan volatili tidak berubah.

Adapun karakteristik aditif atau campuran yang baik untuk bahan bakar solar yaitu :

1. Menambah Cetane Number untuk mempercepat pembakaran

2. Non-hazardous, tidak bersifat racun, bukan asam (korosif) dan basa (kaustik), tidak mudah meledak
3. Tidak mengandung logam & alkohol, tidak merusak bagian mesin, dapat larut dan compatible dengan bahan bakar lain
4. Mengurangi emisi smoke (asap), CO, NO<sub>x</sub> dan HC
5. Mencegah dan menghilangkan deposit karbon, menstabilkan bahan bakar

### **2.2.1 Biodiesel sebagai Cetane Improver**

Cetane Number adalah sebuah ukuran dari kualitas penyalaan dari sebuah bahan bakar atau indikasi dari waktu penundaan penyalaan sampai bahan bakar tersebut terbakar. Kualitas penyalaan bahan bakar mesin diesel (solar) ini tergantung kepada komposisi molekulnya. Beberapa komponen molekul seperti n-paraffin dapat menyala didalam mesin diesel seperti aromatik yang memiliki struktur yang lebih stabil membutuhkan temperatur dan tekanan yang tinggi untuk menyala. Tergantung dari komposisi molekul minyak diesel (solar), dimana memiliki range Cetane Number antara 35-55 (Pertamina). Sedangkan standard normal batasan Cetane Number bahan bakar diesel adalah 40 sampai 60 . Bagaimanapun, beberapa keadaan dan sifatnya membutuhkan additive untuk meningkatkan Cetane Numbernya.

Dengan bertambahnya kelambatan penyalaan (ignition delay) akibat Cetane Number yang rendah, bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang silinder menjadi lebih awal. Konsekuensinya lebih banyak bahan bakar yang diinjeksikan sebelum terjadi penyalaan, tekanan rata-rata naik lebih cepat dan mesin berisik. Juga karena mempunyai waktu yang lebih sedikit untuk dibakar sebelum katub buang terbuka, sehingga emisi yang dihasilkan bertambah.

Untuk mendapatkan atau menaikkan Cetane Number dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

#### **1. Cara Alami**

Cara alami dilakukan dengan memodifikasi karakteristik fisik bahan bakar diesel (solar), merubah komponen-komponennya misalnya mengurangi kandungan sulfur, nitrogen dan oli finnya

## 2. Cara Penambahan Additif dan Campuran

Dengan penambahan campuran biodiesel (ethyl ester atau methyl ester) dan penambahan additive seperti : alcohol, alkyl nitrate, 2-ethylhexyl nitrate (EHN), tertiary butyl peroxide, diethylene glycol methyl ether, n-butyl nitrate dll [Frederick L Jordan, 2003].

Pada dasarnya reaksi membaiknya pembakaran ini dipicu oleh adanya reaksi bahan bakar diesel (solar) dengan oksigen yang terdapat pada additive tersebut sehingga membangkitkan radikal-radikal bahan bakar, menyebabkan kelambatan penyalaan yang lebih pendek karena bertambahnya Cetane Number.

Pada mulanya untuk menaikkan Cetane Number digunakan etanol dan metanol sebagai alternatif pengganti solar yang dapat menaikkan Cetane Number 3 sampai 8 angka [EPA, 2001]. Penggunaan aditif 2 ethyl hexyl nitrat (2 EHN) yang merupakan aditif paling efektif dan murah untuk meningkatkan Cetane Number [Poirier, 1994]. Dengan penambahan 0.05 – 0.4 % 2 EHN mampu meningkatkan Cetane Number sebesar 3-8. Penambahan 0.4 % aditif 2 EHN dapat meningkatkan Cetane Number bahan bakar solar dari 51 menjadi 56,4 dan mereduksi kandungan sulfur sampai dibawah 10 ppm. Senyawa lain menurut Craig (US Patent No. 4,992,605) diperoleh dengan memproses minyak nabati seperti kanola, bunga matahari, kacang kedelai dan biji-bijian pada temperatur 350-450 °C yang menghasilkan hidrokarbon dengan Cetane Number yang relatif tinggi. Penambahan konsentrasi 10-15 % senyawa ini pada minyak solar akan meningkatkan Cetane Number sebanyak 3-5, dikenal sebagai biodiesel. Peningkatan ini disebabkan biodiesel mengandung Oksigen 10 % - 11 % perberat, tidak mengandung sulfur dan nitrogen.

Sesuai dengan Indonesian Fuel Quality Report, 2006, dengan penambahan Cetane Number dari 50-58 ignition delay menurun (dipercepat) secara signifikan (s/d 40 %).

Pengembangan atau peningkatan kualitas bahan bakar mesin diesel dengan penambahan additif (cetane number improver) mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut :

1. Efektif meningkatkan kualitas atau kemampuan penyalaan dengan bertambahnya Cetane Number bahan bakar

2. Bahan bakar menjadi lebih bagus dan berkurangnya Sulfur
3. Memberikan efek pelumasan dan stabilitas thermal yang baik.
4. Efektif mengurangi tingkat emisi gas buang

### 2.2.2 Biodiesel Sebagai Campuran Minyak Diesel

Biodiesel mempunyai komposisi yang berbeda dari minyak diesel (solar) dan alkyl esters dari fatty acids disusun dari rangkaian hidrokarbon dengan 14-20 dengan 2 atom oksigen pada masing-masing ujung rangkaian. Biodiesel tidak mengandung Sulfur, bukan senyawa aromatic, logam atau residu minyak mentah.

Biodiesel dapat dimanfaatkan baik murni (*neat*) maupun dalam bentuk campuran (*blend*) dengan minyak solar, karena propertisnya hampir menyerupai minyak solar. Disamping itu beberapa propertisnya dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran dan profil dari emisi gas buang. Bagaimanapun, pengurangan emisi tergantung kepada struktur molekul dan jumlah komposisi biodiesel yang digunakan. Bentuknya yang cair dan kemampuan dicampurkan dengan solar pada segala perbandingan merupakan salah satu keunggulan penting yang lain dari biodiesel.

Pada penambahan persentase komposisi biodiesel yang lebih besar, dimana terjadi perubahan struktur bahan bakar yang baru (campuran) pada umumnya menjadi perhatian mengingat proses thermal (panas) di dalam mesin akan menyebabkan minyak terurai menjadi gliserin dan asam lemak. Asam lemak dapat teroksidasi atau terbakar relatif sempurna, akan tetapi gliserin akan menghasilkan pembakaran yang kurang sempurna dan dapat terpolimerisasi menjadi senyawa plastis yang agak padat. Senyawa ini akan menyebabkan kerusakan pada mesin, karena membentuk deposit pada pompa injektor. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi pada mesin-mesin kendaraan bermotor komersial apabila menggunakan minyak tumbuhan langsung (100 %) sebagai bahan bakar pengganti solar / minyak diesel.

Tabel 2.1. Potensi masalah dengan *biodiesel*

No	Karakteristik Bahan Bakar	Dampak
1	Asam lemak ethyl/methyl ester	Penggembungan dan peretakan material karet seperti gasket, o-ring
2	Methanol bebas dalam biodiesel	Korosi

3	Proses kimia biodiesel	Potassium, sodium (kerak, jelaga)
4	Kandungan air	Penyumbatan filter, korosi
5	Gliserol bebas	Penyumbatan filter, sedimen, sumbatan injector, deposit karbon
6	Viskositas tinggi pada suhu yang rendah	Masalah pada pompa, injeksi bahan bakar, nosel, pengabutan kurang baik
7	TAN	Korosi

Pada saat ini, mengingat masih mahal biaya pengolahan biodiesel dan untuk mengurangi dampak yang dihasilkannya, cara yang paling umum dilakukan adalah dengan mencampurnya pada batasan (persentase) tertentu. Beberapa negara di Eropa dan Amerika Serikat umumnya memakai campuran biodiesel 5 % sampai 20 %. Merujuk pada aliansi industri pembuat mobil dan motor bakar sedunia, dalam World Wide Fuel Charter edisi Desember 2002, telah menyetujui penggunaan B5, dengan menyatakan solar boleh mengandung sampai 5% volume FAME asalkan biodiesel yang dicampurkan dalam solar tersebut memenuhi standar mutu yang berlaku. Di Indonesia sendiri saat ini telah menggunakan campuran biodiesel sebesar 5 % (biosolar), tanpa dilakukan modifikasi mesin.

### 2.2.3 Proses Transesterifikasi Biodiesel

Pada prinsipnya, proses transesterifikasi adalah mengganti gusur alkohol dari ester dengan alkohol lain yang tujuannya untuk mendorong reaksi agar bergerak ke kanan sehingga dihasilkan metil/etil ester (biodiesel). Proses transesterifikasi, lebih umum adalah untuk mengeluarkan gliserin dari minyak dan mereaksikan asam lemak bebasnya dengan alkohol (biasanya metanol atau etanol) menjadi alkohol ester (Fatty Acid Methyl Ester) atau biodiesel.

Ketika proses transesterifikasi terjadi, biasanya ada phenomena yang terjadi, phenomena ini terjadi dalam dua fasa, yaitu pada awal reaksi ethanol dan minyak nabati tidak dengan cepat bercampur dan pada akhir reaksi ada dua lapisan (dua fasa) yaitu terdapatnya glycerol dan ethyl ester.

Reaksi antar senyawa ester misalnya minyak kelapa atau minyak jagung dengan senyawa alkohol (metanol) memerlukan katalis untuk mempercepat proses reaksi. Karena reaksi yang terjadi adalah reversible (mampu balik), kelebihan alkohol digunakan untuk menggeser keseimbangan itu kepada sisi produk. Di

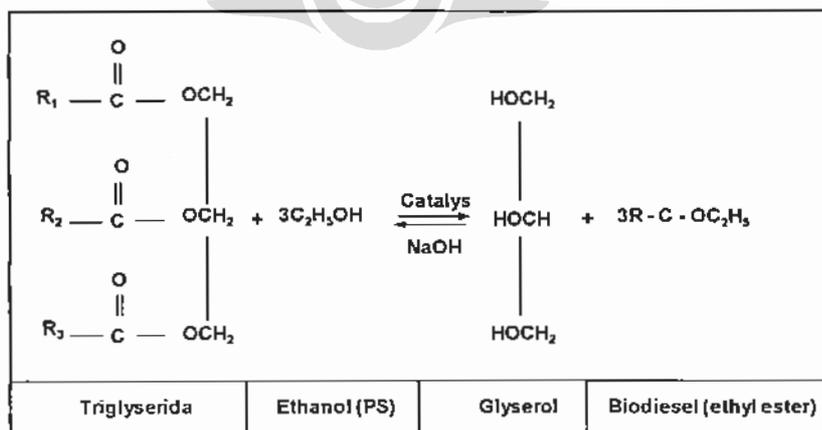
antara alkohol-alkohol yang dapat digunakan di dalam proses transesterifikasi adalah adalah metanol, etanol, propanol, butanol, dan alkohol lain. Alkohol tersebut dapat bereaksi cepat dengan trigliserida, dan KOH atau NaOH mudah dihancurkan didalamnya.

Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah Natrium Hidroksida (NaOH) dan spritus sebagai alkoholnya. Reaksi alkoholisis merupakan reaksi setimbang dengan kalor reaksi kecil. Pergeseran reaksi ke kanan biasanya dilakukan dengan menggunakan alkohol berlebih. Dalam reaksi alkoholisis, alkohol bereaksi dengan ester dan menghasilkan ester baru. Reaksi ini merupakan reaksi dapat balik yang pada suhu kamar tanpa bantuan katalisator akan berlangsung sangat lambat.

Komponen utama pada minyak nabati (vegetable oils) adalah trigliserida. Trigliserida adalah ester dari gliserol dengan asam rantai panjang, umumnya disebut asam lemak (fatty acids). Untuk mendapatkan kualitas dan produksi biodiesel yang berkualitas ada beberapa item kritikal yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatannya yaitu :

1. Reaksi sempurna menjadi monoalkyl ester
2. Pemisahan (pembuangan) gliserol bebas
3. Pemisahan (pembuangan) residu katalis
4. Pemisahan (pembuangan) reaktan alcohol
5. Menghilangkan asam lemak bebas

Pada gambar 2.3. berikut disajikan reaksi transesterifikasi trigliserida dengan spritus (etanol) untuk menghasilkan etil ester (biodiesel).



Gambar 2.3. Reaksi Transesterifikasi

Pengembangan biodiesel dengan mengkonversikan minyak nabati menjadi ester (metil atau etil ester) ternyata lebih menggembirakan dibandingkan dengan penggunaan minyak tumbuhan langsung sebagai bahan bakar.

Pada Tabel 2.2. di bawah ini ditampilkan tanaman-tanaman di Indonesia yang berpotensi sebagai penghasil biodiesel.

Tabel 2.2. Tanaman Penghasil Biodiesel di Indonesia

Nama Tanaman		Kandungan Minyak per Hektar	
Inggris	Indonesia	Kilogram	Liter
Corn	Jagung	145	172
Cahsew Nut	Jambu mete	148	176
Oats	Gandum	183	217
Soybean	Kedelai	375	446
Coffee	Kopi	386	459
Pumpkin seed	Biji labu	449	534
Coriander	Ketumbar	450	536
Rice	Beras	696	828
Cocoa	Cokelat	863	1026
Peanuts	Kacang tanah	890	1059
Rapeseed	Lobak	1000	1190
Olives	Zaitun	1019	1212
Castor-beans	Jarak – Kepyar	1188	1413
Pecan nuts	Kemiri	1505	1791
Jathropa	Jarak pagar	1590	0892
Coconut	Kelapa	2260	2689
Palm oil	Kelapa sawit	5000	8950

### 2.3 KRITERIA PERFORMA BAHAN BAKAR

Bahan bakar harus memiliki karakteristik standard sesuai dengan yang diijinkan seperti viskositas tidak terlalu tinggi yang akan meningkatkan efisiensi khususnya sistem bahan bakar, tidak mudah terbakar pada suhu yang relatif rendah (flash point rendah), tidak menimbulkan masalah terhadap terbentuknya jelaga dan korosi yang ditunjukkan dengan adanya kandungan Sulfur, tidak mengkristal pada suhu yang relative rendah (pour point rendah), tidak mudah menguap (volatily yang tinggi), tidak mengandung sejumlah air dan sedimen.

Syarat-syarat bahan bakar mesin diesel yang lain juga harus dipenuhi diantaranya :

1. Tidak terbatas dalam kemampuan operasi mesin pada temperature rendah

2. Harus mempunyai kesanggupan melumasi katup-katup dan pompa-pompa bahan bakar dan tidak menimbulkan korosi.
3. Harus mempunyai viskositas yang rendah dan bebas bahan padat agar mudah mengalir dan mengabut
4. Tidak mengandung kotoran-kotoran, unsur yang merusak dan aman.
5. Mempunyai sifat pembakaran yang baik yang ditunjukkan dengan bilangan Setana yang tinggi

Tabel 2.3. Standard Propertis Biodiesel

No	Uraian	Standard*	Unit	Metode
1	Kinematic Viscosity at 40°C	2.3 – 6	cSt	ASTM D445
2	Density at 40 °C	0.85 – 0.90	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1298
3	Cetane Number	Min 51		ASTM D 613
3	Total Acid Number (TAN)	< 0.8	mg KOH/gr	ASTM D 664
4	Flash Point	> 100	oC	ASTM D 93
5	Cloud Point	< 18	oC	ASTM D 2500
6	Pour Point	-	oC	ASTM D 97
7	Water Content	< 0.05	% vol	ASTM D2709
8	Total Glycerol	< 0.24	% w	FBI A-02-03
9	Free Glycerol	< 0.2	% w	FBI A-02-03
10	Saponification Number	-	mg KOH/gr	FBI A-03-03
11	Ester Content	> 96.5	% w	Dihitung

Sumber : BPPT, \* Standard Biodiesel Indonesia (SNI)

## 2.4 KRITERIA PERFORMA MESIN

### 2.4.1 Specific Fuel Consumption (SFC)

SFC adalah parameter untuk menggambarkan efisiensi pemakaian bahan bakar yang didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya output yang dihasilkan. SFC menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi bahan bakar. SFC juga merupakan suatu parameter yang tepat untuk mengukur efisiensi thermal dan juga membandingkan kinerja mesin.

#### **2.4.2 Brake Horse Power (BHP)**

BHP digunakan untuk menunjukkan bahwa daya yang diukur adalah daya pada poros mesin. Daya maksimum output didefinisikan dengan sebuah torsi maksimum pada kecepatan mesin yang diberikan atau umumnya disebut bahwa bhp adalah sebagai fungsi dari torsi dan kecepatan. Besarnya BHP lebih sedikit dari daya yang dihasilkan oleh gas pembakaran didalam silinder karena terjadi gesekan mekanik dan beban-beban tambahan seperti pompa oil. Cara yang digunakan untuk mengukur BHP adalah dengan meletakkan suatu alat yang disebut dinamometer yang berfungsi mengukur torsi (T) yang dihasilkan oleh mesin pada putaran tertentu.

#### **2.4.3 Efisiensi Thermal**

Sumber energi untuk menggerakkan mesin adalah energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar. Kenyataannya bahwa dalam mesin diesel energi kimia tidak seluruhnya dirubah menjadi tenaga (energi mekanis). Energi bakar hilang melalui pipa pembuangan sebagai panas yang hilang, hilang ke sistem pendinginan mesin (radiator) dan hanya menyisakan lebih kurang sepertiga dari total energi yang dihasilkan oleh piston yang digunakan sebagai pembangkit tenaga mesin.

Efisiensi thermal merupakan seberapa banyak daya yang dihasilkan oleh sejumlah laju panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Sehingga untuk meningkatkan efisiensi thermal, daya output mesin dapat ditambah dengan cara meningkatkan laju aliran bahan bakar atau dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai pembakaran yang lebih tinggi yang ditunjukkan dengan bilangan Setana.

#### **2.4.4 Emisi Gas Buang**

Pada keadaan ideal, semua karbon dalam bahan bakar akan terbakar menjadi CO<sub>2</sub> dan semua Hidrogen akan terbakar menjadi air dalam bentuk uap (H<sub>2</sub>O), konsentrasi dari gas buang ini tergantung pada mesin, beban dan kondisi kecepatan. Emisi mesin diesel mengandung polutan yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak ideal seperti pembakaran tidak sempurna, campuran bahan bakar-udara tidak ideal, kandungan Sulfur. Pembakaran tidak sempurna ini

menghasilkan CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, PPM (partikulate matter) dan beberapa zat lainnya.

Minyak diesel mengandung senyawa aromatic (sekitar 30 sampai 35 %) dan Sulfur menghasilkan emisi gas buang yang besar dan cetane number yang rendah. Dari pengukuran emisi gas buang, juga dapat diketahui bagaimana performa sebuah mesin, juga pembakaran pada mesin sempurna atau tidak.

Penggunaan biodiesel dapat mengurangi tingkat emisi gas buang yang cukup baik. Campuran dengan biodiesel dapat mengurangi emisi gas buang sebesar 30-40 % [Pertamina].

Tabel 2.4. Efek Biodiesel pada Emisi Gas Buang

No	Emisi	Efek Biodiesel
1	CO	Berkurang
2	HC	Berkurang
3	Nox	Berkurang
4	Partikulat Matter (TPM)	Berkurang
4	Opasitas	Berkurang

Khusus untuk nilai opasitas, standard maksimum di beberapa negara Eropah adalah 40 % [Euro 3 EEV Pass Level] dan di Indonesia sendiri digolongkan menjadi 2 bagian yaitu : untuk mesin diesel dengan berat di bawah 3,5 ton sebesar 40 % dan di atas atau sama dengan 3,5 ton sebesar 50 % [Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003].

## 2.5 PROPERTIS BAHAN BAKAR DIESEL

### 2.5.1 Angka Setana (Cetane Number)

Cetane Number menunjukkan kualitas bahan bakar untuk menyala sendiri, umumnya tergantung pada komposisi bahan bakar. Diukur dengan menggunakan standard mesin yang disebut CFR Cetane Engine (Metode ASTM D-613), dimana kompresi rasionya dapat diubah-ubah. Bahan bakar dengan komponen n-cetane (hexadecane), (C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>) dengan Cetane Number 100 dicampur dengan isocetane, heptamethyl nonane yang memiliki angka setana yang sangat rendah (15) atau  $\alpha$  metil naptalena (CN = 0), diinjeksikan ke ruang bakar dan ketika campuran bahan

bakar tersebut mempunyai waktu penyalaan yang sama dengan bahan bakar yang dipakai sebagai referensi, maka diperoleh nilai Cetane Number yang baru kedua campuran. Secara umum, formula yang digunakan adalah :

$$\text{Cetane Number} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{ HMN}).$$

Cara lain yang digunakan adalah dengan perhitungan Cetane Index, dengan menghitung besaran/angka dari densitas dan volatili bahan bakar, tetapi sangat cocok untuk bahan bakar murni dan kurang cocok jika bahan bakar tersebut berupa campuran [William Pulkrabek, 2004].

### **2.5.2 Density (Berat Jenis)**

Berat jenis ( $\rho$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat ( $m$ ) per satuan volume ( $m^3$ ) bahan bakar. Karakteristik ini sangat berhubungan erat dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh suatu mesin diesel per satuan bahan bakar yang digunakan. Density juga dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan tekanan yang dialami fluida bahan bakar. Semakin tinggi tekanan yang dialami fluida bahan bakar maka berat jenisnya semakin tinggi dan semakin tinggi temperatur fluida bahan bakar maka berat jenisnya semakin menurun. Pengukuran density dilakukan dengan metode ASTM D 1298.

### **2.5.3 Viscosity (Viskositas)**

Viskositas dikenal sebagai tahanan yang dimiliki oleh suatu fluida bila dialirkan di dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, yang pada umumnya dinyatakan dalam satuan waktu yang dibutuhkan untuk mengalir sejauh jarak tertentu. Pada mesin diesel viskositas berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalir di dalam saluran bahan bakar, pompa dan injektor. Semakin rendah viskositasnya, maka semakin mudah bahan bakar tersebut mengalir. Selain itu viskositas juga menggambarkan tingkat pelumasan dari bahan bakar. Pengukuran viskositas dilakukan dengan Metode ASTM D 445.

### **2.5.4 Pour Point (Titik Tuang)**

Titik tuang adalah batas temperatur tuang dimana mulai terbentuk kristal-kristal parafin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar dan injektor. Titik tuang mengindikasikan kecocokan bahan bakar beroperasi dalam kondisi cuaca dingin. Pada titik tuang yang tinggi bahan bakar tidak akan mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar.

### **2.5.5 Flash Point (Titik Nyala)**

Titik nyala adalah temperatur terendah suatu bahan bakar yang pada saat dipanaskan, maka uap yang bercampur dengan udara dari hasil pemanasan tersebut akan menyala bila diberikan api kecil. Nyala tersebut tidak kontinyu, hanya berupa kilatan api. Titik Nyala dengan menggunakan standard ASTM D93. Titik Nyala bahan bakar diesel tidak terlalu signifikan mempengaruhi unjuk kerja mesin.

### **2.5.6 Water Content (Kadar Air)**

Adanya kandungan air pada bahan bakar meskipun dalam jumlah sedikit akan menyebabkan terjadinya penyumbatan pada saluran bahan bakar dan filter bahan bakar, menyebabkan korosi dan wear pada pompa bahan bakar dan injektor. Sehingga memperpendek umur kegunaan material tersebut. Kelebihan kadar air juga menyebabkan pembakaran yang tidak merata.

### **2.5.7 Sulfur Content (Kadar Belerang)**

Kandungan sulfur yang terdapat dalam bahan bakar akan menyebabkan terjadinya korosi atau partikel-partikel padat saat pembakaran. Hal ini disebabkan oleh karena kandungan sulfur yang ada pada bahan bakar yang tidak seluruhnya terbakar dan membentuk gas, akan menjadi cairan korosip ketika bereaksi dengan air (produk hasil pembakaran). Partikel-partikel padat ini akan menempel pada ruang silinder sehingga akan menyebabkan keausan dinding silinder. Juga dapat disebabkan oleh adanya oksida belerang, seperti  $SO_2$  dan  $SO_3$ .

### **2.5.8 Cloud Point (Titik Embun)**

Cloud point adalah temperatur dimana kristal lilin di dalam bahan bakar membentuk tampilan seperti awan/embun. Cloud Point adalah suatu indikator kecenderungan minyak untuk menyumbat saringan atau filter pada temperatur operasi yang dingin.

### **2.5.9 Total Acid Number (TAN)**

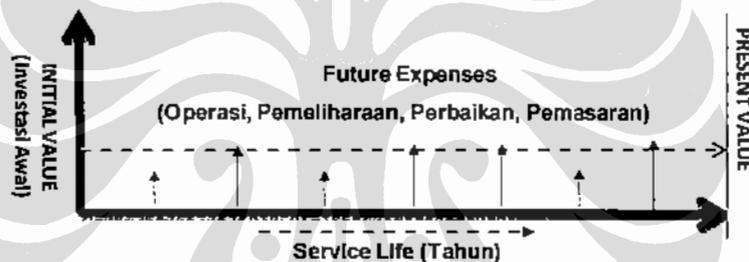
Total Acid Number adalah jumlah dari Potasium Hidroksida (KOH) dalam milligram yang dibutuhkan untuk menetralkan asam (acid) dalam satu gram bahan bakar. Besar nilai Total Acid Number mengindikasikan potensi problem terjadinya korosi.

### 2.5.10 Free Glycerin (Glyserol Bebas)

Glyserol bebas adalah hasil dari pemisahan dari ester dan produk glyserol setelah proses reaksi transesterifikasi. Glyserol bebas dapat menjadi sebuah sumber deposit karbon dalam ruang bakar karena proses pembakaran yang tidak sempurna.

## 2.6 LIFE CYCLE COST ANALYSIS PROSESSOR JENIS SUSUN

*Life Cycle Cost Analysis (LCCA)* adalah salah satu analisa Present Value, yang dipakai untuk menganalisa, mengevaluasi dan mengestimasi nilai ekonomi enjiniring pada periode waktu/umur kelangsungan hidup suatu desain peralatan/fasilitas/proyek. Estimasi dilakukan untuk biaya-biaya investasi, operasi dan pemeliharaan (termasuk biaya tenaga kerja, konsumsi energy, material dan lain-lain).



Gambar 2.4. Life Time Desain Alternatif

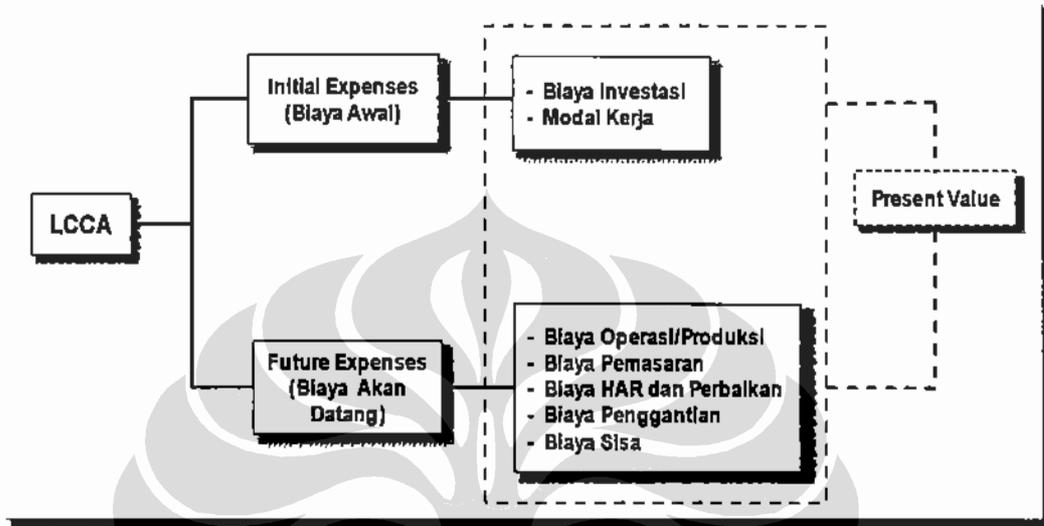
Menurut Stephanie Hofman, “*Life cycle cost analysis adalah perhitungan biaya dari seluruh asset dalam satu siklus masa manfaatnya*”. LCCA dipakai untuk mengestimasi, memilih opsi biaya yang paling rendah dan paling efektif dari beberapa alternatif desain peralatan/fasilitas/proyek.



Gambar 2.5. Siklus Hidup Analisa Biaya LCCA

Aplikasi penggunaan Life Cycle Cost Analysis ini umumnya dipakai untuk desain konstruksi bangunan, desain fasilitas produk, pembangkit pabrik, model-model transportasi dan lain-lain.

Pengelompokan biaya LCCA dibagi menjadi 2 bagian besar [LCCA Handbook, Ross-Westerfield-Jordan, 2006] yaitu :



Gambar 2.6. Pengelompokan biaya-biaya LCCA

1. **Biaya awal (Initial Expenses)**  
Terdiri dari : biaya investasi, modal kerja dan lain-lain
2. **Biaya yang akan datang (Future Expenses)**  
Terdiri dari biaya : operasi/ produksi, pemeliharaan & perbaikan, pemasaran, penggantian dan nilai sisa

### 2.6.1 Biaya Awal (Initial Expenses)

Initial expenses adalah adalah biaya-biaya yang terjadi sebelum fasilitas beroperasi (biaya awal fasilitas atau rancangan), pada perancangan processor biodiesel jenis susun ini terdiri dari biaya investasi dan modal kerja.

- a. Biaya Investasi adalah investasi adalah sejumlah besar dana untuk menjalankan proyek atau usaha baru. Biaya investasi tetap adalah biaya untuk membeli peralatan dan fasilitas lain.
- b. Modal kerja adalah pengeluaran atau biaya awal yang digunakan untuk keperluan operasi dan produksi waktu pertama kali dijalankan.

### 2.6.2 Biaya Yang Akan Datang (Future Expenses)

Biaya masa depan (future expenses) adalah semua biaya-biaya yang terjadi setelah fasilitas selesai dibangun sehingga siap untuk memproduksi.

- a. **Biaya Operasi/Produksi** adalah pengeluaran yang diperlukan agar kegiatan operasi dan produksi berjalan lancar. Terdiri dari biaya tetap yaitu biaya yang jumlahnya tidak tergantung dengan jumlah barang yang diproduksi dan biaya dan biaya variable yaitu biaya yang dapat berubah tergantung dengan jumlah produk yang diproduksi.
- b. **Biaya Pemasaran** adalah jumlah biaya pendapatan yang diperoleh dari pemasaran atau penjualan produk dan sampingannya. Besarnya produk yang dipasarkan tergantung dari besarnya kapasitas produksi yang dihasilkan.
- c. **Biaya Pemeliharaan dan Biaya Perbaikan** : Biaya pemeliharaan yang dijadwalkan berhubungan dengan pemeliharaan dari suatu fasilitas. Biaya-biaya perbaikan bersifat pembelanjaan-pembelanjaan yang tidak diantisipasi sebelumnya atau tidak terduga. Misalnya perbaikan komponen-komponen fisik.
- d. **Biaya Penggantian** biasanya untuk pembelian komponen utama pemeliharaan suatu fasilitas, digunakan untuk mengganti komponen yang sudah habis masa penggunaannya.
- e. **Residual Value (Nilai Sisa)** adalah nilai sisa aktiva tetap diakhir umur ekonomis atau masa manfaat. Nilai sisa dari tiap opsi/alternative dihitung dengan membagi nilai investasi dengan umur efektif dari suatu peralatan (investasi). Karena setiap depresiasi mempunyai rumus perhitungan tersendiri, maka cara yang paling sederhana dipakai metode SL [Iman Soeharto, 2002] :

$$SL = (\text{Depresiasi (Nilai) Awal} / \text{Umur Depresiasi (tahun)}) \dots\dots\dots (2.1)$$

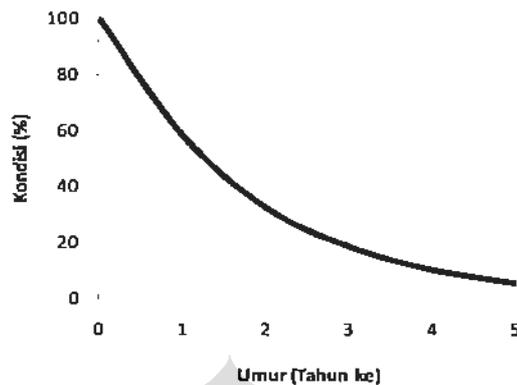
### 2.6.3 Data Pendukung Lyfe Cycle Cost Analysis

Dalam penyusunan biaya-biaya dalam Life Cycle Cost Analysis juga perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- **Umur/Masa Pakai Peralatan**

Mencakup umur atau periode waktu fasilitas dimana fasilitas masih dianggap optimal baik dari sisi teknik maupun dari sisi umur ekonomisnya. Kemampuan peralatan umumnya akan berkurang seiring dengan bertambahnya

waktu yang dipengaruhi oleh umur peralatan sendiri, kelangsungan produksi, pemeliharaan, perbaikan masing-masing peralatan dalam fasilitas tersebut.



Gambar 2.7. Kondisi Peralatan terhadap Waktu (tahun)

- **Alternatif Desain Peralatan**

Alternatif fasilitas/desain merupakan suatu rancangan yang berbeda satu sama lain. Perbedaan-perbedaan tersebut seperti tipe konstruksi, kapasitas produksi dan lain-lain.

- **Suku bunga (discount rate)**

Suku bunga pada dasarnya adalah tingkat suku bunga suatu pembayaran sekarang atau suatu pembayaran yang lebih besar pada sekali waktu di masa yang akan datang. Tingkat discount rate pada umumnya sudah mempertimbangkan nilai inflasi. Suku bunga dapat mempengaruhi suatu desain peralatan/proyek.

- **Present Value**

Present Value digunakan untuk menghitung nilai uang saat sekarang dengan tingkat suku bunga tertentu untuk menghasilkan nilai uang dimasa yang akan datang pada periode waktu tertentu.

$$PV = A_0 \left[ \frac{1}{(1 + d)^t} \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

- $PV$  = Present Value (Multy Years)
- $A_0$  = jumlah biaya tahun awal (o)
- $d$  = discount rate (suku bunga)
- $t$  = jumlah tahun

#### 2.6.4 Kelayakan Desain Peralatan/Fasilitas

Untuk mengkaji kelayakan suatu peralatan atau desain proyek dilakukan beberapa kriteria berikut :

- Harus ditentukan secara umum alternative mana yang paling efektif dan paling rendah ditinjau dari sisi total biaya Life Cycle Cost Analysisnya.
- Desain peralatan atau desain proyek dikatakan layak jika :

Net Saving (Laba Bersih) bernilai positif dan Benefit-Cost Ratio (BCR) :

$BCR > 1$ , maka usulan proyek diterima,

$BCR < 1$ , maka usulan proyek ditolak dan

$BCR = 1$ , maka netral.

Laba Bersih = Penjualan – Pengeluaran Tetap dan Variabel ..... (2.3)

BCR = Present Value dari Keuntungan/Biaya Investasi ..... (2.4)

- Payback Period (Masa Pulang Modal) yaitu jangka waktu yang diperlukan untuk mendapatkan kembali jumlah modal yang ditanamkan. Perhitungan didasarkan kepada arus kas netto (perhitungan pengeluaran dan penerimaan).