



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



TUGAS AKHIR - RK0502

PABRIK BASE OIL PELUMAS DARI BOTOL PLASTIK BEKAS DENGAN PROSES PIROLISIS

FRUVERINA AGNES TIA JULIANA
(2304 030 009)

DEWI TEJA RUKMI
(2304 030 025)

Dosen Pembimbing
Ir.Budi Setiawan, MT

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terims	30 = 7 - 2007
Terima Doci	H
No. Agenda Prp.	228772

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK KIMIA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

29774/14/07



RSK
665.5385
Jue
P-1
2007

FINAL PROJECT - RK0502

LUBRICANT BASE OIL PLANT FROM WASTE PLASTIC (PLASTIC BOTTLE) WITH PYROLSYS PROCESS

FRUVERINA AGNES TIA JULIANA
(2304 030 009)

DEWI TEJA RUKMI
(2304 030 025)

Guide Lecturer
Ir. Budi Setiawan, MT

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	30-7-2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	200772

DIPLOMA III OF CHEMICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2007

**PABRIK BASE OIL PELUMAS DARI BOTOL PLASTIK
BEKAS DENGAN PROSES PIROLISIS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi DIII Teknik Kimia
Faskultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Fruverina Agnes Tia Juliana (2304 030 009)
Dewi Teja Rukmi (2304 030 025)

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Budi Setiawan, MT
NIP. 131 652 2308



SURABAYA, 20 JULI 2007

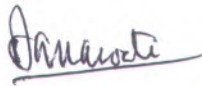
LEMBAR PERBAIKAN TUGAS AKHIR

Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian Tugas Akhir pada tanggal 11 Juli 2007, untuk Tugas Akhir yang berjudul “**Pabrik Base Oil dari Botol Plastik Bekas Dengan Proses Pirolisis**”, yang disusun oleh :

Fruverina Agnes Tia Juliana
NRP. 2304 030 009

Dewi Teja Rukmi
NRP. 2304 030 025

Menyetujui,
Dosen penguji



Dr. Ir. Dra. Danawati HP, SE.
NIP. 131 633 396

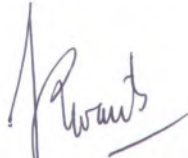


Ir. Sri Murwanti, MT
NIP. 131 453 668

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir

Dosen Pembimbing



Ir. Sri Murwanti, MT
NIP. 131 453 668



Ir. Budi Setiawan, MT
NIP. 131 652 208

**LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR
PABRIK BASE OIL PELUMAS DARI BOTOL PLASTIK
BEKAS DENGAN PROSES PIROLISIS**

Mengetahui/menyetujui,
Dosen Pembimbing



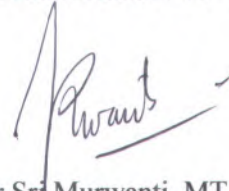
Ir. Budi Setiawan, MT
NIP. 131 652 208

Koordinator Program Studi
DIII Teknik Kimia FTI - ITS



Dr. Ir. Dra. Danawati HP, SE.
NIP. 131 633 396

Koordinator Tugas Akhir
DIII Teknik Kimia FTI - ITS



Ir. Sri Murwanti, MT
NIP. 131 453 668

PABRIK BASE OIL PELUMAS DARI BOTOL PLASTIK BEKAS DENGAN PROSES PIROLISIS

Nama Mahasiswa : 1. Fruverina Agnes T. J.
(2304 030 009)
2. Dewi Teja Rukmi
(2304 030 025)
Jurusan : D III Teknik Kimia FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Budi Setiawan, MT

Abstrak

Base oil pelumas merupakan bahan dasar untuk pembuatan minyak pelumas. Umumnya base oil tersebut diperoleh dari pengolahan minyak bumi. Namun untuk mengantisipasi habisnya sumber minyak bumi maka perlu dicari penggantinya, yaitu bahan sintesis seperti botol plastik bekas.

Dalam tugas akhir ini diuraikan proses pemanfaatan botol plastik bekas sebagai bahan baku pembuatan base oil pelumas sintesis dalam skala pabrik. Proses yang dilakukan terdiri dari tiga tahap proses, dengan proses utama pirolisis. Pirolisis adalah pemecahan senyawa polimer (PE dan PET) monomer dengan melakukan pemanasan pada suhu tinggi dan minim oksigen. Untuk tahap finishingnya dilakukan hydroprocessing dalam hal ini hidroisomerisasi.

Dari hasil studi literatur dapat diketahui bahwa botol plastik yang merupakan sampah sintesis yang tidak dapat biodegradable dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan base oil pelumas. Base oil yang dihasilkan memiliki IV senilai 160, pour point $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan cloud point $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dengan pemanfaatan ini diharapkan dapat meminimalkan penggunaan minyak bumi sebagai bahan baku pelumas yang tidak terbarukan

Kata kunci : botol plastik, pirolisis, hidroisomerisasi.

LUBRICANT BASE OIL PLANT FROM WASTE PLASTIC (PLASTIC BOTTLE) WITH PYROLISYS PROCESS

Name : 1. Fruverina Agnes T. J. (2304 030 009)
2. Dewi Teja Rukmi (2304 030 025)
Departement : D III Chemical Engineering
Guide Lecturer : Ir. Budi Setiawan, MT

Abstract

Lubricant base oil represent materials basis for making of lubricating oil. Generally base oil the obtained from processing of petroleum. But to anticipate earth oilfield ending hence require to look for its substitution, that is materials of sintetis like plastic bottle.

In this final duty elaborated by process exploiting of standard plastic bottle upon which making of sistetis Lubricant base oil in factory scale. Process which is consist of three process phase, with especial process is pyrolysis. Pyrolysis is resolving polymer compound (PE and PET) to monomer by conducting warm-up at high temperature and oxygen minim. For its phase of conducted by hydroprocessing in this case hydroisomerization.

From result of study litaratur can know that plastic bottle representing garbage of sintetis which unbiodegradable can be exploited standard upon which making of base of oil Lubricant. Base oil yielded have IV for the price of 160, point pour - 13 oC, and point could + 6 oC. With this exploiting is expected by]minimization usage of petroleum can be standard upon which Lubricant which do not newly.

Key word : plastic bottle, pyrolysis, hydroisomerization

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT bahwa hanya dengan rahmat dan ridho--Nya kami dapat menyelesaikan tugas akhir kami yang berjudul "Pabrik Base Oil Pelumas dari Botol Plastik Bekas dengan Proses Pirolisis" dengan tepat waktu. Tugas akhir ini merupakan syarat untuk menyelesaikan tahap Diploma.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini kami telah banyak memperoleh bantuan, untuk itu kami mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah S.W.T karena atas rahmat dan kehendak-Nya kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Dr.Ir.Dra. Danawati H.P, SE, selaku Ketua Program Studi DIII Teknik Kimia FTI – ITS.
3. Ir.Sri Murwanti, MT selaku koordinator tugas akhir .
4. Ir.Budi Setiawan, MT selaku dosen pembimbing.
5. Dr.Ir.Dra.Danawati H.P,SE dan Ir.Sri Murwanti, MT selaku dosen penguji.
6. Prof. Ali Althway selaku Dosen Teknik Kimia ITS, yang telah banyak membantu.
7. Yang tercinta "*Bapak dan Ibu*" telah memberikan dukungan dan motivasi kepada kami secara moril dan materil serta doa yang membuat kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu.

Dengan menyadari atas terbatasnya ilmu yang kami miliki, laporan ini tentu jauh dari sempurna. Untuk itu kami dengan lapang dan senang hati menerima saran dan kritik yang membangun. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Amin

Surabaya, Juli 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1. Latar Belakang	I-1
I.2. Dasar Teori	I-4
I.3. Kegunaan	I-27
BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES	II-1
II.1. Macam Proses	II-1
II.1.1. Pirolisis pada Temperatur 740 °C.....	II-1
II.1.2. Pirolisis pada Temperatur 524 °C.....	II-3
II.2. Seleksi Proses	II-4
II.3. Uraian Proses	II-6
II.3.1. Pre-Treatment	II-6
II.3.2. Proses Pirolisis.....	II-7
II.3.3. Hydroprocessing.....	II-7
BAB III NERACA MASSA	III-1
BAB IV NERACA PANAS	IV-1
BAB V SPESIFIKASI ALAT	V-1
BAB VI UTILITAS	VI-1
VI.1. Kebutuhan Air	VI-1
VI.2. Steam.....	VI-7
VI.3. Listrik	VI-8
VI.4. Bahan Bakar.....	VI-8
BABVII KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA VII-1	
VII.1. Pendahuluan	VII-1
VII.1.1 Dasar Penerapan K3.....	VII-1
VII.2. Tujuan dan Sasaran K3	VII-1
VII.2.1. Tujuan K3	VII-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1.2.1. Sifat dan karakteristik Polyethylen	I-7
Tabel 1.2.2. Sifat dan Karakteristik Parafin	I-14
Tabel 1.2.3. Sifat dan Karakteristik 1-Butene	I-18
Tabel 1.2.4. Sifat dan Karakteristik n-butene dan isobutene .	I-19
Tabel 1.2.5. Sifat dan Karakteristik metane, etane, propane..	I-20
Tabel 1.2.6. Sifat dan Karakteristik ethylene.....	I-21
Tabel 1.2.7. Sifat dan Karakteristik Dhypenyl.....	I-22
Tabel 1.2.8. Sifat dan Karakteristik Propylene	I-23
Tabel 1.2.9. Sifat dan Karakteristik Hydrogen	I-25
Tabel 2.1.1.1. Produk Hasil Pirolisis dengan T = 740 °C	II-2
Tabel 2.1.2.1. Produk Hasil Pirolisis dengan T = 524 °C	II-4
Tabel 2.2.1. Kekurangan dan kelebihan kondisi Proses.....	I-5
Tabel 3.1 Neraca massa pada Grinder (G120).....	III-1
Tabel 3.2 Neraca massa pada Tangki Melting (Q 140)	III-2
Tabel 3.3 Neraca massa pada Reaktor Furnace (R 210).....	III-3
Tabel 3.4 Neraca massa pada Quenching Tower (P 212).....	III-3
Tabel 3.5 Neraca massa pada Kolom Destilasi I (D 220).....	III-4
Tabel 3.6 Neraca massa pada Reaktor Fixed Bed (R 310)	III-5
Tabel 3.7 Neraca massa pada Tangki Flash (D 315)	III-6
Tabel 3.8 Neraca massa pada Acid Stripper (D 320).....	III-7
Tabel 3.9 Neraca massa pada Kolom Destilasi II (D 330).....	III-8
Tabel 4.1 Neraca panas pada Tangki Meeting (Q 140)	IV-1
Tabel 4.2.1 Neraca panas pada Reactor Furnace (R 210).....	IV-2
Tabel 4.2.2 Neraca panas pada Ruang Pembakaran (R 210) ..	IV-2
Tabel 4.3 Neraca panas pada Quencher Tower (P 212).....	IV-3
Tabel 4.4 Neraca panas pada Kolom Destilasi (D 220).....	IV-3
Tabel 4.5 Neraca panas pada Cooler I (226).....	IV-4
Tabel 4.6 Neraca panas pada Reactor Fixed Bed (R 310)	IV-4
Tabel 4.7 Neraca panas pada Cooler II (E 314).....	IV-5
Tabel 4.8 Neraca panas pada Cooler III (E 317).....	IV-5
Tabel 4.9 Neraca panas pada Acid Stripper (D 320)	IV-6
Tabel 4.10 Neraca panas pada Cooler IV (E 328)	IV-6
Tabel 4.9 Neraca panas pada Kolom Destilasi II (D 330)	IV-7

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.2.1 Struktur parafin dan isoparafin.....	I-14
Gambar 1.2.2 Struktur pada senyawa aromatic pada bahan baku pelumas.....	I-16
Gambar 1.2.3 Struktur rumus kimia propana.....	I-18
Gambar 1.2.4 Botol plastik berbentuk pellet	I-25

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Sebagian besar penduduk di dunia memanfaatkan plastik dalam menjalankan aktivitasnya. Berdasarkan data *Environmental Protection Agency* (EPA) Amerika Serikat, pada tahun 2001, penduduk Amerika Serikat menggunakan sedikitnya 25 juta ton plastik setiap tahunnya. Belum ditambah pengguna plastik di negara lainnya termasuk Indonesia. Bukan suatu hal yang mengherankan jika plastik banyak digunakan dalam aktivitas sehari-hari, karena plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya. Secara umum, plastik memiliki densitas yang rendah, bersifat isolasi terhadap listrik, mempunyai kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan suhu terbatas, serta ketahanan bahan kimia yang bervariasi.

Selain itu, plastik juga ringan, mudah dalam perancangan, dan biaya pembuatan murah. Di balik segala kelebihannya, limbah plastik menimbulkan masalah bagi lingkungan. Penyebabnya tak lain sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Untuk mengatasinya, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satunya dengan cara mendaur ulang limbah plastik.

Namun, cara ini tidaklah terlalu efektif. Hanya sekitar 4% yang dapat didaur ulang, sisanya menggunung di tempat penampungan sampah. Sebagian besar plastik yang digunakan masyarakat merupakan jenis plastik polietilena.

Banyak hal yang memotivasi manusia untuk terus menemukan inovasi baru agar bisa menghemat minyak bumi di dunia termasuk di Indonesia. Khususnya yang cenderung semakin lama semakin habis, dimana salah satunya untuk pengganti minyak pelumas yang berasal dari minyak bumi ini dapat

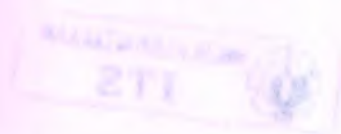


digantikan dari bahan sintetis, contohnya botol plastik bekas yang pada tiap tahunnya berkapasitas produksi besar, dan berdasarkan pengamatan dilapangan diketahui bahwa rata-rata 50-70% limbah yang dikumpulkan pengepul adalah limbah plastik, dan 30-40% nya adalah limbah botol-botol plastik dan 20-30% nya adalah limbah gelas-gelas plastik (bekas kemasan air minum).

Pada sampah plastik yang tidak di daur ulang, sekitar 43% (atau sekitar 11 MM ton/tahun) adalah polyethylen, dengan kebanyakan pada container dan pengepakan plastik polyethylen diperoleh dalam dua bentuk HDPE dan LDPE. Kebanyakan penggunaan bahan HDPE terdiri dari kontainer keras seperti botol, seperti juga lembaran plastik untuk pertanian. Kebanyakan penggunaan LDPE terdiri dari film flexibel seperti plastik bahan makanan. (*Conversion Of water Plastik*). Dan untuk jenis PET sendiri, Pabrik Indochito Internasional Waru-SDA dapat melaksanakan produksi plastik berupa pelet sebesar 40-60 ton untuk tiap bulannya.

Sedangkan kebutuhan akan minyak pelumas di Jawa Timur mencapai 17.092.719 liter untuk tiap tahunnya. Minyak pelumas berfungsi mengurangi terjadinya gesekan-gesekan antar komponen yang dapat mengakibatkan kerusakan pada atau keausan pada mesin. Selain itu, minyak pelumas sekaligus berfungsi sebagai pelicin jalan bagi komponen-komponen tersebut.

Pada saat mesin bekerja, gesekan terjadi berulang-ulang antar komponen mesin. Hal inilah yang dapat mengakibatkan keausan atau kerusakan pada bagian permukaan komponen tersebut. Oleh karena itu, minyak pelumas berfungsi membuat permukaan antarkomponen menjadi licin, sehingga gesekan langsung antarkomponen mesin tersebut dapat dicegah. Besarnya gesekan bisa menyebabkan mesin mengalami *overheat* hingga macet atau menyebabkan kerusakan pada silinder, piston, klep, lahar dan lainnya, seperti ketidakberesan pompa oli, kebocoran saluran oli, dan bisa juga karena faktor salah pemakaian jenis oli



itu sendiri. Proses pembakaran di dalam dapur pacu mesin dapat menimbulkan oksidasi sehingga menghadirkan kerak dan korosi pada logam. Di sinilah, oli berfungsi untuk membersihkan bagian-bagian mesin dari oksidasi dan mencegah terjadinya karat di dalam mesin.

Berdasarkan bahan bakunya, ada tiga jenis oli yang beredar di pasar, yakni mineral, semi sintetis, dan sintetis. Oli mineral, bahan dasarnya adalah minyak bumi yang diolah menjadi minyak pelumas. Jika kemudian hasil olahan tersebut ditambah dengan bahan sintetis lain untuk mencapai standar mutu yang lebih baik, maka produknya disebut pelumas semi sintetis.

Untuk kualitas yang lebih tinggi disebut oli sintetis. Oli sintetis kebanyakan dipergunakan untuk kendaraan yang sering dipacu dengan kecepatan yang cukup tinggi seperti balap. Dan tentu saja, harga oli sintetis ini lebih mahal dari harga oli mineral. Kekentalan oli (*viskositas*), standarnya diklasifikasikan berdasarkan tingkat kekentalannya. Dalam kemasan oli, biasanya ditemukan kode huruf dan angka yang memperlihatkan hal itu. Contohnya SAE 40, SAE 50, SAE 90, dan seterusnya. SAE singkatan dari *Society of Automotive Engineers* atau Ikatan Ahli Teknik Otomotif, yang menetapkan standar kekentalan pada suhu 100°C. Angka di belakang huruf SAE menunjukkan tingkat kekentalannya.

Kode angka multi grade seperti 10W - 50 merupakan kekentalan yang bisa berubah-ubah sesuai suhu di sekitarnya. Huruf W di belakang angka 10 adalah singkatan *Winter* (musim dingin). Jadi pelumas tersebut artinya mempunyai tingkat kekentalan yang setara dengan SAE 10 (di udara dingin), tapi ketika udara panas kekentalannya sama dengan SAE 50.

Dari sini, oli ternyata tidak hanya berfungsi sekedar melicinkan permukaan komponen mesin. Tetapi juga bisa berfungsi sebagai pendingin sekaligus pembersih kotoran-kotoran yang ditinggalkan akibat terjadinya gesekan komponen tersebut.

Fungsinya sebagai pendingin, oli akan bekerja mengurangi panas yang ditimbulkan oleh gesekan antar komponen mesin. Tingkat kekentalan pelumas berdasarkan standar internasional meliputi tiga hal, yaitu viskositas, indeks viskositas dan titik tuang. Viskositas merupakan ukuran besar hambatan sebuah *fluida* (pelumas) untuk dapat mengalir. Penentuan kekentalan pelumas yang sesuai dengan karakter mesin yang kita miliki biasanya telah direkomendasikan oleh produsen kendaraan.

Sebab, kekentalannya akan sangat berhubungan erat dengan spesifikasi mesin dan kondisi operasi mesin seperti kecepatan, beban dan temperatur. Sementara itu, untuk indeks viskositas merupakan suatu ukuran perubahan viskositas terhadap temperatur. Viskositas pelumas akan turun jika temperatur naik, dan sebaliknya. Namun, perubahan ini tidak akan sama untuk semua pelumas. Sedangkan untuk titik tuang merupakan temperatur terendah agar pelumas mengalir. Pelumas sintetik pada umumnya mempunyai titik tuang yang rendah dibandingkan dengan pelumas jenis mineral maupun semi-sintetik. Sehingga, daerah operasi pelumas sintetik lebih luas, mulai dari daerah yang paling dingin didalam mesin hingga yang paling panas. Mengenai mutu oli, klasifikasinya ditentukan oleh API (*American Petroleum Institute*).

I.2 Dasar Teori

Plastik adalah senyawa polimer; rantai-panjang atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau "monomer". Plastik umumnya terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, chlorine atau belerang di tulang belakang (dan juga dengan silikon). Pengembangan plastik berasal dari penggunaan material alami (seperti: permen karet, "shellac") sampai ke material alami yang dimodifikasi secara kimia (seperti: karet alami, "nitrocellulose") dan akhirnya ke molekul buatan-manusia (seperti: epoxy, polyvinyl chloride, polyethylene).

Sebagian besar plastik yang digunakan masyarakat merupakan jenis plastik polietilena. Ada dua jenis polietilena, yaitu *high density polyethylene* (HDPE) dan *low density polyethylene* (LDPE). HDPE banyak digunakan sebagai botol plastik minuman, sedangkan LDPE untuk kantong plastik. Dalam penelitiannya yang akan dipublikasikan dalam *Jurnal American Chemical Society* bagian Energi dan Bahan Bakar (*Energy and Fuel* edisi 20 Juli 2005, Miller).

Plastik berisi beberapa aditif yang diperlukan untuk memperbaiki sifat-sifat fisika kimia plastik itu sendiri. Bahan aditif yang sengaja ditambahkan itu disebut komponen non plastik, diantaranya berfungsi sebagai pewarna, antioksidan, penyerap cahaya ultraviolet, penstabil panas, penurun viskositas, penyerap asam, pengurai peroksida, pelumas, peliat, dan lain-lain (*Crompton, 1979*).

Menurut Erliza dan Sutedja (1987) plastik dapat dikelompokkan atas dua tipe, yaitu termoplastik dan termoset. Termoplastik adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali dengan menggunakan panas, antara lain polietilen, polipropilen, polistiren dan polivinilklorida. Sedangkan termoset adalah plastik yang tidak dapat dilunakkan oleh pemanasan, antara lain phenol formaldehid dan urea formaldehid.

Menurut Syarief, 1989 berdasarkan sifat-sifatnya plastik dibagi menjadi dua terhadap perubahan suhu, yaitu:

- a) termoplastik : meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (reversibel) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan,
- b) termoset : tidak dapat mengikuti perubahan suhu (irreversibel). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan termoset melainkan akan membentuk arang dan

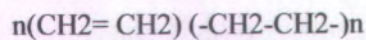
terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis-jenis melamin. Plastik jenis termoset tidak begitu menarik dalam proses daur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat termoplastik (*Moavenzadeh dan Taylor, 1995*).

Penggunaan plastik sebagai bahan pengemas mempunyai keunggulan dibanding bahan pengemas lain karena sifatnya yang ringan, transparan, kuat, termoplastis dan selektif dalam permeabilitasnya terhadap uap air, O₂, CO₂. Sifat permeabilitas plastik terhadap uap air dan udara menyebabkan plastik mampu berperan memodifikasi ruang kemas selama penyimpanan (*Winarno, 1987*). *Ryall dan Lipton (1972)* menambahkan bahwa plastik juga merupakan jenis kemasan yang dapat menarik selera konsumen.

a. Polyethylen

Polietilen merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik. Dengan pemanasan akan menjadi lunak dan mencair pada suhu 110°C.

Berdasarkan sifat permeabilitasnya yang rendah serta sifat-sifat mekaniknya yang baik, polietilen mempunyai ketebalan 0.001 sampai 0.01 inchi, yang banyak digunakan sebagai pengemas makanan, karena sifatnya yang termoplastik, polietilen mudah dibuat kantung dengan derajat kerapatan yang baik (*Sacharow dan Griffin, 1970*). Konversi etilen menjadi polietilen (PE) secara komersial semula dilakukan dengan tekanan tinggi, namun ditemukan cara tanpa tekanan tinggi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Etilen polimerisasi Polietilen

Polietilen dibuat dengan proses polimerisasi adisi dari gas etilen yang diperoleh dari hasil samping dari industri minyak dan batubara. Proses polimerisasi yang dilakukan ada dua macam, yakni pertama dengan polimerisasi yang dijalankan dalam bejana bertekanan tinggi (1000-3000 atm) menghasilkan molekul makro dengan banyak percabangan yakni campuran dari rantai lurus dan bercabang. Cara kedua, polimerisasi dalam bejana bertekanan rendah (10–40 atm) menghasilkan molekul makro berantai lurus dan tersusun paralel.

Tabel 1.2.1 Sifat Karakteristik lain dari Polyethylene :

Property Polyethylene	
Melt Flow Index (MFI), g/600 s	1,1
High Load MFI, g/600 s	50,3
Die Swell Ratio (sr)	1,46
Density, kg/m ³	961
Crystallinity, %	67
Temperature of fusion (max), °C	131
Vicat softening point, °C	127
Short Branches **	1,2
Comonomer	butene
Molecular Mass *	
Mw	136300
Mn	18400

*. Pengaruh baik untuk cabang panjang dari garis viscometry

** Nomer dari kelompok methyl untuk 1000 atom karbon

(Ullmann's, 2003)

b. Low Density Polyethylene (LDPE)

Sifat mekanis jenis plastik LDPE adalah kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak. Pada suhu di bawah 60°C sangat resisten terhadap senyawa kimia, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, akan tetapi kurang baik bagi gas-gas yang lain seperti oksigen, sedangkan jenis plastik HDPE mempunyai sifat lebih kaku, lebih keras, kurang tembus cahaya dan kurang terasa berlemak.

c. High Density Polyethylene (HDPE).

Pada polietilen jenis low density terdapat sedikit cabang pada rantai antara molekulnya yang menyebabkan plastik ini memiliki densitas yang rendah, sedangkan high density mempunyai jumlah rantai cabang yang lebih sedikit dibanding jenis low density. Dengan demikian, high density memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Ikatan hidrogen antar molekul juga berperan dalam menentukan titik leleh plastik (*Harper, 1975*).

d. Polypropilen

Polipropilen sangat mirip dengan polietilen dan sifat-sifat penggunaannya juga serupa (*Brody, 1972*). Polipropilen lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap (*Winarno dan Jenie, 1983*). Monomer polypropilen diperoleh dengan pemecahan secara thermal naphtha (distilasi minyak kasar) etilen, propylene dan homologues yang lebih tinggi dipisahkan dengan distilasi pada temperatur rendah. Dengan menggunakan katalis Natta-Ziegler polypropilen dapat diperoleh dari propilen (*Birley, et al., 1988*).

Karakteristik dari plastik, bisa dimulai dari struktur kimia penyusun plastik. Pengetahuan dasar kimia dibutuhkan untuk mengerti sifat-sifat dasar plastik. Ikatan kimia dalam struktur plastik adalah ikatan kovalen, yaitu ikatan antar atom dengan cara

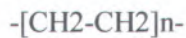
berbagi elektron diantara dua atom. Ikatan ini dapat terdiri dari beberapa elektron.

Plastik merupakan bagian dari molekul hidrokarbon zat yang penyusun dasarnya adalah karbon dan hidrogen. Contoh dari ikatan kovalen diantaranya : Ikatan tunggal C-C, ikatan ganda C=C, atau ikatan rangkap 3 C≡C.

Karbon mempunyai kemampuan untuk berikatan membentuk rantai yang panjang seperti oktane:



Plastik yang mempunyai struktur paling sederhana adalah polyethylene (PE). Umumnya susunan molekul dari PE terdiri dari sekitar 1000 atom karbon didalam tulang punggungnya. Molekul dari plastik sering disebut dengan macro molekul karena ukurannya sangat besar dilihat dari panjang rantai karbonnya. Untuk menyederhanakan struktur kimia dari macro molekul, maka digunakan penyingkatan. Bagian terkecil dari rantai karbon yang panjang disebut dengan mer atau monomer. Sering dituliskan seperti berikut.



dimana n adalah jumlah atau derajat dari polimerisasi. Polimerisasi berarti penggabungan bersama monomer. Sekarang ini ada ribuan jenis plastik, tapi pada dasarnya, atom-atom penyusun inti plastik adalah Karbon (C), Hidrogen (H) dan beberapa tambahan atom Oksigen (O), nitrogen (N), Klor (Cl), Fluor (F), dan belerang (S).

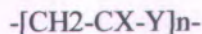
Homopolymer:

Penyusun kimia paling dasar dari plastik disebut dengan homopolymer karena hanya terdiri dari satu struktur dasar. Contohnya :



Jika X adalah hidrogen (H), maka bahan tersebut adalah polyethylene (PE). Tetapi jika X adalah klor [Cl], maka bahan tersebut adalah poli vinil klorida (PVC).

Bisa juga dua atom hidrogen (H) diganti dengan atom-atom tertentu menjadi sebagai berikut:



a. Densitas Plastik

Pada densitas rendah pada plastik dapat dibeda-bedakan berdasarkan dari beberapa bahan. Pada densitas rata-rata pada plastik dinyatakan antara 0,9 sampai 2,3 g/cm³. Contoh densitas rendah pada plastik meliputi bulk plastik polyethylene (PE) dan polypropylene (PP). Kedua pada bahan ini mempunyai densitas rendah daripada air dan oleh karena itu dapat mengapung. Sebagai hasil dari kemampuan untuk mengapung, dan ini memungkinkan untuk memisahkan dua plastik ini dari berat plastik pada air. Kebanyakan plastik terletak antara densitas pada 1 sampai 2 g/cm³. Hanya sebagian plastik (untuk contoh, polytetrafluoroethylene (PTFE)) mempunyai densitas lebih dari 2 g/cm³. Densitas plastik pada berbagai bahan dapat terlihat di bawah ini :

Bahan	densitas ρ (g/cm ³)
Plastik	0.9 – 2.3
-PE	0.9 – 1.0
-PP	0.9 – 1.0
-PC	1.0 – 1.2
-PA	1.0 – 1.2
-PVC	1.2 – 1.4
-PTFE	> 1.8

b. Konduktivitas Termal Plastik

Konduktivitas Termal adalah ukuran pada bagaimana bahan yang baik dapat membawa panas. Pada konduktivitas termal pada plastik terletak antara 0.15 – 0.5 W/mK. Ini memiliki nilai yang rendah. Pada berbagai bahan memiliki nilai thermal konduktivitas :

Bahan	Konduktivitas termal λ (W/mK)
Plastik	0.15 – 0.5
-PE	0.32 – 0.4
-PA	0.23 – 0.29

c. Konduktivitas Elektrik

Konduktivitas Elektrik adalah ukuran bagaimana bahan yang baik dapat dibawa oleh aliran elektrik. Pada umumnya plastik sangat lemah bekerja pada aliran konduktivitas elektrik. Dilihat pada resistensi tinggi, dan walaupun konduktivitas rendah, pada perbandingan ke bahan yang lainnya. Kenaikan temperature, penurunan resistensi dan plastik menjadi lebih konduktif. Untuk konduktivitas elektrik PVC dapat terlihat pada keterangan dibawah ini :

Bahan	Konduktivitas Termal [m/ohm mm^2]
PVC	10^{-15} [up to approx. 60°C (140°F)]

Penjelasan

Satu alasan untuk konduktivitas rendah pada plastik adalah kekurangan pada elektron bebas dimana terjadi pada logam.

d. Transparansi Plastik

Dimana penemuan bahan ringan, hanya bagian tertentu dari "kejadian" ini ringan melewati pada bahan tanpa di pantulkan

atau diabsorbsikan. Pada rasio dari intensitas dari "dikirimkan" ringan menjadi intensitas dari peristiwa ringan adalah disebut "transparency" atau " pengiriman". Termoplastik yang tidak berbentuk seperti PC, PMMA, PVC, dan kenaikan resin adalah yang diperlukan seperti transparan seperti jendela kaca. Ukuran transparency antara 90% (lihat gambar 8-6). Ini cocok untuk nilai pengiriman dari 0,9 %. Kata lain, 10% dari ringan adalah hilang yang mengalami refleksi dan absorpsi.

Pengaruh Lingkungan

Padahal, satu tidak keuntungan dari plastik adalah pada pengaruh lingkungan, seperti cuaca dan kekuatan produksi dari pemilihan pada temperatur, juga dapat dikarenakan berkabut, yang mana ini dapat menurunkan gangguan transparansi. Dapat dilihat pada keterangan dibawah ini tentang transparansi plastik, yaitu :

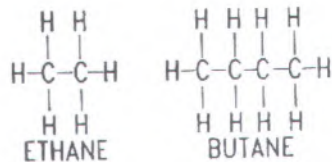
Bahan	Transparansi (%)
PC	72 – 89
PMMA	92
Gelas kaca	90

Properties fisik dilihat disini tidak dapat dilihat semua dari semua properties pada plastik yang diproses. Berbagai macam properties juga dapat dibagi menjadi kelompok, seperti mekanikal porperties dan properties termal. Beranekaragam properties pada tiap kelas adalah hampir selalu diiringi dari beberapa ukuran nilai fisik, pada tiap menggambarkan plastik pada jarak dari porperty hal ini. Untuk menggunakan nilai ukuran, perancang atau penyusun dapat memilih plastik dimana bertemu mereka atau keperluan.

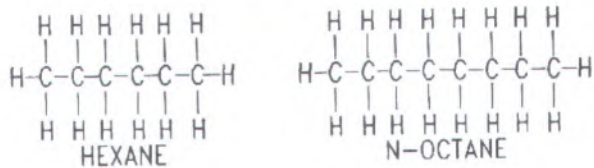
Dan pada pabrik Base Oil Pelumas ini terdapat paraffin, dan senyawa aromatik, dan sifat-sifat diantaranya adalah :

a. Normal Paraffin

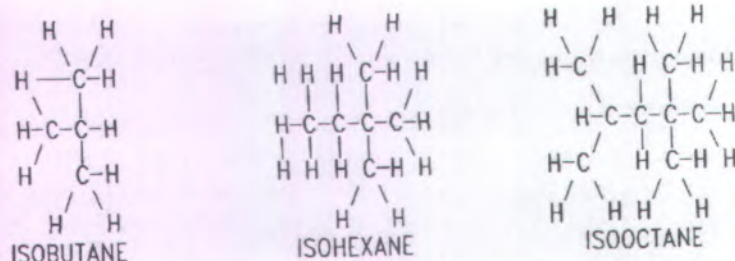
Normal paraffin terdiri dari atom karbon yang dihubungkan dengan single karbon menjadi ikatan karbon. Ikatan yang lainnya adalah saturated dengan atom hidrogen; ethane, butane, dan hexane digambarkan pada gambar 1.2.1 adalah contoh pada normal paraffin. Paraffin dikarakteristikan dari keadaan atom karbon yang dihubungkan oleh karbon tunggal menjadi ikatan karbon dan ikatan tidak dihubungkan demikian ke atom hydrogen. Bentuk umum dari jenis paraffin pada hidrokarbon adalah N_nH_{2n+2} ; dimana n adalah nomer atom karbon pada molekul.



Struktur Paraffin



Struktur Isoparaffin



Gambar 1.2.1 Struktur Paraffin, dan isoparaffin

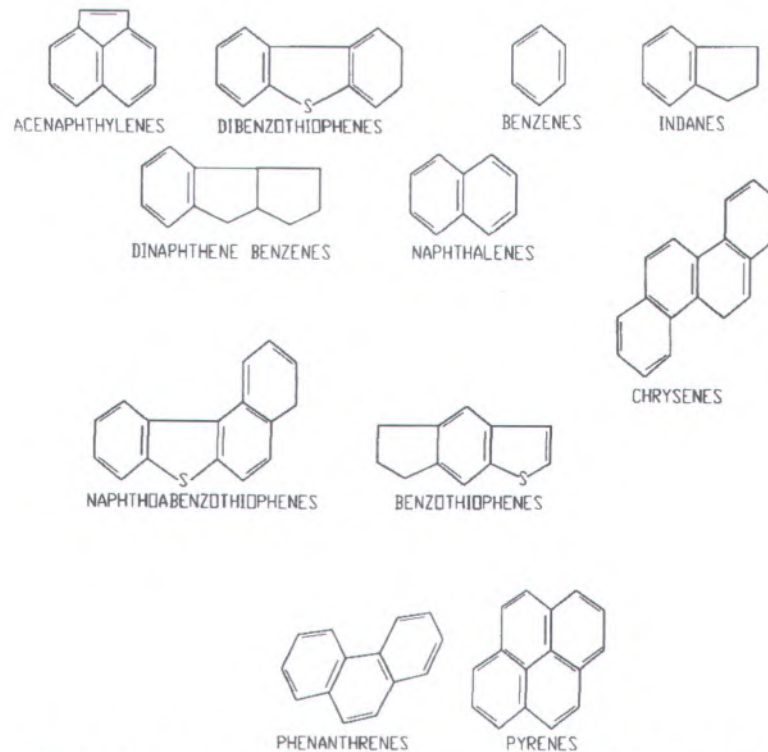
b. Aromatik

Aromatik hidrokarbon terdiri dari cincin benzene, enam karbon atom diikatkan menjadi bentuk cincin dimana ini unsaturated, dan ini kurang baik pada hydrogen. Aromatik sangat berikatan dan sering kali seperti senyawa saturated, fakta yang benar pada aromatik dimana mengandung paraffin atau isoparaffin sisi cabang pada bagian pada hydrogen dilekatkan pada cincin karbon. Pencampuran struktur ini mempunyai karakteristik fisika dan kimia dari kedua paraffin dan aromatik dan ini diklasifikasikan keserasian menjadi senyawa siklik. Gambar 1.2.1 menggambarkan struktur pada senyawa aromatik dan gambar 1.2.1 menggambarkan struktur senyawa aromatik digunakan bahan baku minyak dasar. Banyak senyawa aromatik normal paraffin, struktur naphthene seperti sisi rantai dilekatkan pada atom karbon pada cincin aromatik; sisi rantai dan hydrogen mempunyai dari aromatik yang ditinggalkan, lihat pada gambar 1.2.2

Ini seharusnya dicatat pada kandungan hidrokarbon tidak sebanyak 15 atom karbon yang tidak digambarkan pada dasar minyak pelumas atau pada bahan baku, digunakan untuk membuat minyak dasar. Alasan tidak dijelaskan dikarenakan mempunyai titik didih yang rendah, volatilitas yang tinggi, titik nyala-rendah dan titik api, viskositas rendah. Pada kenyataannya, normal paraffin dan waxy naphthene dan waxy aromatik adalah



dirubah seperti lilin selama proses. Banyak pada aromatik dirubah dari deasphalting dan ekstraksi pelarut atau diubah menjadi naphtene dan isoparaffin menggunakan proses hydrogenasi. (*Lubricant Base Oil and Wax Processing. 1994*)



Gambar 1.2.2 Struktur pada senyawa aromatik pada bahan baku minyak pelumas

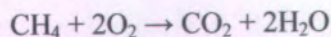
d. Dan komposisi pada C_4 -, terdapat :

Metana, adalah adalah hidrokarbon paling sederhana yang berbentuk gas dengan rumus kimia CH_4 . Metana murni tidak berbau, tapi jika digunakan untuk keperluan

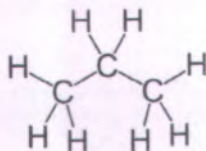


komersial, biasanya ditambahkan sedikit bau belerang untuk mendeteksi kebocoran yang mungkin terjadi.

Sebagai komponen utama gas alam, metana adalah sumber bahan bakar utama. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO_2 (karbondioksida) dan dua molekul H_2O (air):



Propana adalah senyawa alkana tiga karbon (C_3H_8) yang berwujud gas dalam keadaan normal, tapi dapat dikompresi menjadi cairan yang mudah dipindahkan dalam kontainer yang tidak mahal. Senyawa ini diturunkan dari produk petroleum lain pada pemrosesan minyak bumi atau gas alam. Propana umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin, barbeque (pemanggang), dan di rumah-rumah. Dijual sebagai bahan bakar, propana dikenal juga sebagai LPG (*liquified petroleum gas* - gas petroleum cair) yang dapat berupa campuran dengan sejumlah kecil propena, butana, dan butena. Kadang ditambahkan juga etanetiol sebagai bahan pemberi bau agar dapat digunakan sebagai deteksi jika terjadi kebocoran. Di Amerika Utara, komposisi utama LPG adalah propana (paling tidak 90%), dengan tambahan butana dan propena. Ini adalah standar HD5, yang awalnya dibuat terutama untuk bahan bakar kendaraan.



Gambar 1.2.3 Struktur rumus kimia propana

Butana, alkana rantai lurus dengan empat atom karbon $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$. Butana juga digunakan sebagai istilah kolektif untuk n-butana dan satu-satunya isomernya,

isobutana (metil propana), $\text{CH}(\text{CH}_3)_3$. Butana mudah terbakar, dan tidak berwarna dan merupakan gas yang mudah dicairkan. Nama butana diturunkan dari nama asam butirat.

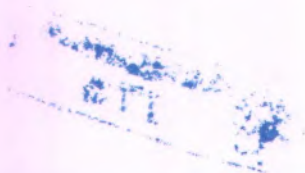
Tabel 1.2.2 Karakteristik 1-Butene

Property 1-Butene	
bp, °C	-6,26
mp, °C	-185,35
density of liquid at 20 °C, g/cm ³	0,515
Refractive Index, n _D 20	1,3792
Critical Pressure, Mpa a	4
Critical Temperature, °C	146,4
Soly in Water, g/L	1,86
Explosion limits of Mixtures with air, vol %	1,7-9

Tabel 1.2.3 Karakteristik n-butane dan iso butane

	n - butane C_4H_{10}	Iso butane $\text{CH}(\text{CH}_3)_3$
Molecular Weight	58,124	58,124
Normal bp at 101,3 kPa (1 atm), K	272,65	261,43
Flash Point, K	199	190
$\Delta\text{H}^\circ\text{F}$, kJ/mol ^a		
Ideal gas at 298,15 K	-126,15	-134,51
Liquid at 298,15 K	-147,7	-158,4

$\Delta G^{\circ}F$ at 101,3 kPa (1 atm) & 298,15 K, kJ/mol ^a	-17,15	-20,88
Log 10 Kf at 298,15 K	3,0035	3,6
Heat of fusion, kJ/mol ^a	4,66	4,54
Heat of vaporization at normal bp, kJ/mol ^a	22,39	21,3
Vapor Pressure at 310,93 K, kPa ^b	356	498
Antoine vapor pressure equation ^c	5,934	5,8731
Log 10 P= A - B/(T+C) ^d	935,86	882,8
Dimana, P : Vapor pressure, kPa ^e	-34,42	-33,15
max T (K) untuk equation	290	280
min T (K) untuk equation	195	187
Density, Kg/m ³		
Gas, pada 101,3 kPa (1 atm)		
- pada 288,7 k	2,5379	2,5285
- pada 298,15 k	2,4553	
Liquid at saturation pressure and 298,15 K	572,87	5510
Critical Point		
Pressure, Mpa ^f	3,797	3,648
Temperature, K	425,16	408,13
Density, kg/m ³	228	2210
Volume, cm ³ /mol	225	263
Compressibility factor	0,274	0,283



Tabel 1.2.4 Karakteristik Methane, Ethane, dan Propane

	Methane CH ₄	Ethane C ₂ H ₆	Propane C ₃ H ₈
Molecular weight	16,04	30,07	44,09
mP, °K	90,7	90,4	85,5
bp, °K	111	185	231
Explosivity limits, vol %	5,3-14	3,0-12,5	2,3-9,5
augtoignition temperature, °K	811	788	741
Flash Point, °K	85	138	169
Heat of Combustion, kJ/mol b	882	1541,4	202
Heat of Formation, kJ/mol b	84,9	106,7	127,2
Heat of vaporization, kJ/mol b	8,22	14,68	18,83
Vapor Pressure at 273K, Mpa c		2,379	0,475
Spesific Heat, J/(mol °K) b			
at 293 °K	37,53	54,13	73,63
at 373 °K	40,26	62,85	84,65
Critical Point			
Pressure, Mpa oc	4,6	4,87	4,24
Temperature, °K	190,6	305,3	369,8
Density, Kg/m ³ d	160,4	204,5	220,5
Triple Point			
Pressure, Mpa °c	0,012	1,1 , 10 ⁻⁶	3,10-10
Temperature, °K	90,7	90,3	85,5



Liquid Density, Kg/m ³ d	450,7	652,5	731,5
Vapor Density, Kg/m ³ d	0,257	4,51,10-5	1,85,10-8
hazards	*	*	*

*) Fire, Explosion, asphyxiation

Tabel 1.2.5 karakteristik Ethylene

Properties Ethylene	
Triple Point	
Temperatur, °C	-169,19
Pressure, kPa a	0,11
Latent Heat of fusion, kJ/mol b	3,35
Normal Boiling Point	
Temperatur, °C	-103,71
Latent Heat of Vaporization, kJ/mol b	13,54
Density of liquid	
mol/L	20,27
d ₄ -104	0,566
Specific Heat of Liquid, J/(mol.°K) b	67,4
Viscosity of Liquid, mPa.s (=cp)	0,161
Surface Tension of the Liquid, mN/m (=dyn/cm)	16,4
Specific heat of the ideal gas at 25 °C, J/(mol.K) b	42,84
Critical Point	
Temperatur, °C	9,2

Pressure, Mpa °c	5,042
density, mol/L	7,635
Compressibility Factor	0,2813
Gross heat of combustion of the gas at 25 C, mJ/mol b	1,411
Limits of flammability at atmosphiric pressure 25 °C	
Lower limit in air, mol %	2,7
Upper limit in air, mol %	36
Autoignition temperature in air at atm, pressure °C	490

Tabel 1.2.6 Karakteristik Dhyphenyl

Property Dhyphenyl	Value	Reference
Melting Point, °C	69,2	8
Freezing or Congealing point of Comercial grade, °C	68,5-69,5	9
Boiling Point at 101,3 kPa, °C	256,2 ± 0,2	8
Specific Gravity, solid		
d4 20	1,041	6
d4 15	0,991	6
Critical Properties		
Temperature, °C	55,7	10
Pressure, kPa a	37,9	10

Density, g/ml	0,314				10
Flash Point, °C	113				11
Fire Point, °C	123				11
Ignition Temperature of Dust Cloud	650				12
	Temperature, oC				
	100	200	300	350	
Vapor Pressure, kPa a		25,43	246,77	558,1	6
Liquid Density, g/ml	0,92	0,889	0,801	0,751	6
Heat Capacity, J/g b	1,786	2,129	2,129	2,64	6
heat Of Vaporization, J/g b	397	343	284,7	251	6
Viscosity. Mm2/s (=cst)	0,98	0,43	0,24		11
Thermal Conductivity, liquid, W/(cm. °K) c	13,39	11,92	10,46	9,75	13

Tabel 1.2.7 Karakteristik Propylene

Properties	
mol, wt	42,081
fp, K	87,9
bp, K	225,4
Critical Temperatur, K	365
Critical Pressure, Mpa ^b	4,6
Critical Volume, cm ³ /mol	181
Critical compressibility	0,275
Pitzer's Acentric Factor	0,148
Liquid Density (at 223 K), gr/cm ³	0,612
Dipole moment, 10 ⁻³⁰ c.m ^c	1,3
std enthalphy of formation, kJ/mol ^d	20,42
std Gibbs energy of formation for ideal gas [at 101.3 kPa (=1 atm)], kJ/mol ^d	62,72
Heat of vaporization at bp, kJ/mol d	18,41
Solubility (at 20°C add 101,3 kPa), ml gas/100 ml solvent	
in water	44,6
in ethanol	1250
in acetic acid	524,5
Refractive index, n _D	1,3567

Dan dalam pembuatan base oil pelumas ini terdapat pula penambahan NaOH pada proses hidroisomerisasi, sedangkan sifat Fisik dan karakteristik NaOH adalah sebagai berikut :

Penampilan	: Putih, deliquescent, odourless pellets
BP	: 1388°C
MP	: 318°C
Vapour Pressure	: 0
Specific Gravity	: 2.1
Flash Point	: Not applicable
Flammability Limits	: Not determined
Solubility in water	1111g/L, approx.54% @ 200°C

(Material Safety Data Sheet-Sodium Hydroxide,2004)

Dan juga terdapat pula penambahan AlCl₃, dimana memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Formula weight : 133.34
- Specific Gravity : 2.44
- Titik leleh : 190
- Titik didih : s (sublimes)

(McGraw, Chemical and Process Technologi Encyclopedia,1974)

Hidrogen Chlorida, sebagai promotor pada alat acid stripper dari proses hidroisomerisasi, yang memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a. Formula : HCl
- b. Berat molekul : 36,458
- c. Warna : jernih
- d. Specific Gravity : 1,18

- e. Titik leleh : -111°C
- f. Titik didih : -85°C
- g. Kelarutan dalam air (gr/100 gr air pada 25°C) : 82,3

Dan botol plastik air mineral jenis yang berbentuk pelet, dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1.2.4 Botol plastik air mineral yang berbentuk pelet.

(PT.Indochito International,2007)

Dan juga dalam pabrik base oil pelumas dari botol plastik bekas ini menggunakan hydrogen yang ditujukan untuk proses hidroisomerisasi, dengan memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Properties Hydrogen	
Titik leleh, K	13,96
Heat of fusion at 14,0 K, cal/g	14
Titik Didih pada 1 atm, K	20,39
Heat of vaporization at 20,4 K, cal/g	107

Density, g/cm ³ :	
Solid pada 4,2 K	0,089
Liquid pada 20,4 K	0,071
Critical temperature, K	33,3
Critical pressure, atm abs	12,8
Critical Volume, cm ³ /mole	65
Critical density, g/cm ³	0,031
Heat of transition ortho to para pada 20,4 K, cal/g	168
Spesific Heat :	
Pada temperatur konstan Cp, cal/g :	
Liquid pada 17,2 K	1,93
Solid pada 13,4 K	0,63
0-200°C	3,44
Pada Volume Konstan Cp (0-200°C) cal/g	2,46
Ratio Cp/Cv (0-200°C)	1,4
Densitas Gas pada 0°C dan 1 atm, g/l	0,0899
Spesific Gravity gas (udara = 1)	0,0695
Thermal konduktivty gas pada 25°C, (cal) (cm)/(s)(cm ²)(°C)	0,00044
Viskositas Gas pada 25°C dan 1 atm, cP	0,0089
Koefisien thermal expansion per °C	0,00356
Heat of Combustion pada 25°C, Kcal/g mole :	
Gross	63,3174

Net	57,7976
Heat of formation HF pada 25°C, kCal/g mole ΔH	-64,2
Flammability limit % :	
Pada oksigen	4-49
Pada udara	4-74

(Ullman's,2003)

Berikut merupakan karakteristik fluida Dowtherm A :

Freeze Point : 12.0 °C

Boiling Point (Atmosfir) : 257,1 °C

Flash Point : 113 °C

Fire Point : 118 °C

Autoignition Temperatur 599 °C

Berat molekul rata-rata: 166

Panas pembakaran : 36,053 kJ/kg

Sedangkan untuk titik melting dari Low Density Polyethylene adalah 130 – 135 °C, dan untuk titik melting Polyethylene Terephthalate (PET) adalah 260 °C.

I.3 Kegunaan

Dari berbagai banyaknya limbah plastik (botol air mineral) yang dapat digunakan untuk bahan baku minyak pelumas (iso-paraffin) ini adalah hanya yang jenis PET. Dan hasil dari iso-paraffin ini lebih ditujukan untuk pembuatan bahan baku minyak pelumas sebagai pengganti crude oil sebagai bahan baku pengganti minyak pelumas. Base oil tersebut memiliki karakteristik sebagai berikut :

Karakteristik	nilai
Pour point	-13 °C
Cloud point	+6 °C
Viskositas 40 °C	21,63
Viskositas 100 °C	4,920
Viskositas indeks	160

(Miller, 2005)

Berdasarkan karakteristik tersebut (grade viskositasnya) base oil tersebut cocok untuk pelumas SAE 15 W.

(Society of Automotive Engineers, 1986)

BAB II

MACAM DAN URAIAN PROSES

2.1 Macam Proses

Base oil pelumas merupakan bahan dasar untuk pembuatan pelumas. Untuk menghasilkan produk base oil pelumas dari bahan baku botol plastik bekas (PE dan PET) hanya dapat dilakukan dengan satu proses yaitu pirolisis dimana proses tersebut dilakukan dalam kondisi operasi yang berbeda (temperatur). Dengan kondisi operasi yang berbeda tersebut tentunya dihasilkan produk dengan kualitas yang berbeda. Kondisi operasi yang berbeda tersebut adalah pirolisis dengan temperatur 740°C dan pirolisis dengan temperatur 524°C. Pirolisis merupakan teknik atau proses pembakaran sampah (botol plastik) tanpa menggunakan oksigen dengan temperatur yang tinggi. Hasil dari proses ini berupa gas yang aman bagi lingkungan. Produk lain dari proses pirolisis ini adalah berupa arang dan bahan kimia. Dalam bentuk gas, dan hasil penguapannya dapat menghasilkan bahan bakar cair dan padatan sisa.

2.1.1 Pirolisis pada temperatur 740°C

Pirolisis pada kondisi ini dilakukan dalam suatu reaktor fluidized bed dengan media pemanas berupa gas panas yang dikontakkan secara langsung. Pada kondisi operasi ini, gas yang digunakan sebagai media pemanas dipanaskan terlebih dahulu hingga temperatur 400°C. Panas masuk secara langsung dalam reaktor sebagai gas pemanas untuk proses pirolisis. Kemudian gas keluar secara langsung melewati heat exchanger. Gas yang dihasilkan dari reaktor fluidized bed keluar dan dipisahkan dari

carbon black dan debu menggunakan cyclone. Setelah dipisahkan, gas mengalami pendinginan hingga temperatur ruang dan didestilasi dengan menggunakan kolom destilasi untuk memisahkan fraksi minyaknya.

Lebih dari 50% feed dapat diubah menjadi bentuk liquid, yang terdiri dari campuran gasoline dan tin batu bara dengan sekitar 95% senyawa aromatik. Minyak tersebut dapat diproses menjadi produk kimia dengan metode petrokimia yang umum. Dari proses ini dapat dihasilkan produk sebagai berikut:

Tabel 2.1.1.1 prosuk hasil proses pirolisis dengan temperatur 740°C.

Produk pirolisis temperatur 740°C	wt %
Hidrogen (g)	0,75
Methane (g)	23,6
Ethane (g)	6,7
Ethylene (g)	19,8
Propane	0,08
Propene (g)	5,5
Butene	0,54
Butadiene	1,6
Hexene	0,02
Benzene	19,1
Toluene	3,9
Styrene	0,5
Naphthalene	2,8

Methylnaphthalene	0,63
Diphenyl	0,30
Flourene	0,20
Phenanthrene	0,52
Flouranthene	0,08
Phenylnaphthalene	0,08
Carbon black	1,75
Other compounds	11,55

(Kaminsky, 1984)

2.1.2 Pirolisis dengan temperatur 524 °C

Pada kondisi operasi ini, feed dimasukkan dalam reaktor dengan sistem pembersihan gas masuk dan reaktor direndahkan hingga lantai furnace. Furnace tersebut dipanaskan dari temperatur ruang hingga temperatur pirolisis, 524°C, selama 15 – 20 menit. Sebelum pemanasan hingga temperatur pirolisis feed *dipreheated* hingga temperatur 260°C dalam suatu bejana yang dilengkapi dengan pengaduk pengatur udara dan lapisan nitrogen 10 psi. Dengan menggunakan pompa Parker Hannifin Zenith, bahan baku dipompa melewati coil preheated stainless steel. Plastik yang dilelehkan mencair hingga 50% dari feednya dan bertitik didih 290 – 370°C dan dengan viskositas rendah sehingga bisa dipompa. Proses ini berlangsung dengan tekanan atmosferik dan tanpa adanya penambahan gas. Proses ini berlangsung selama 1 jam (*residence time*) sebelum didinginkan hingga temperatur ruang. Dalam kondisi operasi ini produk yang dihasilkan sebagian besar berupa liquid. Produk dari proses pirolisis ini didinginkan dan didestilasi pada tekanan 0,1 atm dan temperatur 230°C, dengan stripping gas nitrogen pada temperatur 340°C. Pada proses pirolisis dengan kondisi operasi ini (524°C) menghasilkan produk sebagai berikut :

Tabel 2.1.2.1 prosuk hasil proses pirolisis dengan temperatur 524°C.

Produk pirolisis temperatur 524°C	wt %
C1	0,2
C2=	0,5
C2	0,4
C3=	0,6
C3	0,4
C4=	0,6
C4	0,2
C4-	2,9
C5-385 °C	75,9
385°C+	21,2
385°C+,based on plastik	42,4

(Miller,2005)

2.2 Seleksi Proses

Produk base oil pelumas dari bahan baku botol plastik bekas dapat diperoleh dengan menggunakan proses pirolisis dengan menggunakan dua macam kondisi operasi yaitu dengan temperatur 740°C dan 524°C. Kedua macam kondisi operasi tersebut memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan antara lain:

Tabel 2.2.1 kekurangan dan kelebihan pada tiap kondisi proses.

Kondisi operasi	Kekurangan	Kelebihan
Temperatur 524°C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perlu dilakukan preheated pada feed (pelelehan). ✓ Panas yang diperlukan lebih besar dari suhu proses karena dilakukan secara indirect. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Temperatur proses tidak terlalu besar. ✓ Banyak menghasilkan C4 dan C5 sehingga lebih berpotensi untuk diolah menjadi base oil pelumas dengan hidroprocessing.
Temperatur 740°C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sebagian besar produk yang dihasilkan merupakan gas methane. ✓ Temperatur yang digunakan cukup tinggi sehingga memerlukan biaya besar. ✓ Menghasilkan debu dan carbon black. ✓ Terdapat 11,3% senyawa yang tidak diketahui jenisnya (other component). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menghasilkan senyawa aromatik (42.5%) yang dapat diproses dengan metode petrokimia menjadi senyawa dengan nilai yang tinggi.

Dari tabel 2.2.1 diatas dapat dipertimbangkan kondisi proses manakah yang lebih menguntungkan untuk dipilih sebagai proses pemanfaatan limbah botol plastik bekas menjadi produk dengan nilai jual yang lebih tinggi. Dapat disimpulkan bahwa kondisi proses yang digunakan adalah pada suhu 524°C dengan pertimbangan bahwa dengan kondisi proses ini lebih banyak senyawa yang dihasilkan dapat diolah menjadi base oil pelumas.

2.3 Uraian Proses

Dari penelitian Stephen J. Miller, Ph.D. seorang ilmuwan senior dan konsultan peneliti di Chevron bersama rekan – rekannya berhasil membuktikan bahwa minyak pelumas sintetik dapat dihasilkan dari pemanasan limbah botol plastic bekas PET dengan menggunakan proses pirolisis. Dalam produksi parafin berikut ini digunakan beberapa proses antara lain :

1. Proses Pre-Treatment.
2. Proses Pirolisis.
3. Proses Hydroprocessing

2.3.1 Proses Pre-Treatment

Botol plastik bekas air mineral yang telah bersih dari zat – zat pengotor (debu, tanah, dan logam) serta dari label dan tutupnya, ditimbun di open yard (F 110) yang kemudian dimasukkan dalam grinder (G 120) untuk *disize reducing* hingga ukuran kasar ($\pm 10 \text{ mm}^2$) dengan menggunakan elevator (J 111). Dari G 120 pelet plastik dipindahkan ke tangki penyimpanan (F 130) dengan menggunakan elevator (J 121) sebelum masuk dalam tangki melting (Q140). Pada proses pre-treatment ini berlangsung secara batch. Botol plastik yang telah *disize reducing* dan jumlahnya memenuhi kapasitas tangki melting dimasukkan dalam tangki melting (Q 140). Dalam tangki ini terjadi proses pelelehan

pellet menjadi lelehan PE dan PET hingga suhu 260 °C (T_m PET) dengan viskositas yang tinggi, tanpa mengalami reaksi kimia. Pada tangki melting ini dilengkapi dengan stirrer agar pelelehannya lebih sempurna. Panas dalam tangki melting berasal dari steam Dowtherm A (400°C) yang dimasukkan dalam jacket tangki.

2.3.2 Proses Pirolisis

Setelah melalui tahap Pre-Treatment, lelehan tersebut dialirkan ke reaktor furnace (R 210) yang berfungsi sebagai reaktor. Dengan menggunakan pompa sentrifugal Parker Hannifin Zenith (L 211), bahan baku yang sudah meleleh dipompa menuju furnace (R 210) untuk dipanaskan hingga suhu 524 °C. Selama pemanasan inilah terjadi proses pirolisis pada feed yang dialirkan dalam suatu coil stainless steel. Feed (PE + PET) dipirolisis menghasilkan senyawa gasoline (C4-), senyawa parafin (C5-385°C), serta senyawa dengan boiling point diatas 385 °C. Ruang pembakaran dengan suhu 600°C menggunakan bahan bakar yang berasal dari top produk destilasi I. Hasil pirolisis ini didinginkan dengan menggunakan Quenching (P 212) dari suhu 524 °C – 400°C untuk kemudian didestilasi dengan menggunakan kolom destilasi (D 220) dengan proses *distillation complex system* dan tekanan 0,1 atm. Dipilih proses *distillation complex system* karena pada proses ini feednya hanya diketahui boiling pointnya saja. Proses ini memisahkan antara senyawa C4- dengan senyawa C5-385°C dan senyawa dengan boiling point yang lebih dari 385 °C. Senyawa C4- hasil destilasi dialirkan menuju furnace (Q 210) sebagai bahan bakar furnace.

2.3.3 Proses Hydroprocessing

Hydroprocessing merupakan proses yang sering atau umum dipakai dalam pengolahan minyak bumi, dimana dalam proses ini dilakukan pemurnian minyak bumi. Namun dalam

pabrik base oil pelumas proses ini terdiri dari beberapa tahap diantaranya hidroisomerisasi, flash hidrogen, acid stripper, dan destilasi II sebagai finishing. Produk pirolisis yang telah dipisahkan dengan senyawa C4- dialirkan dalam suatu reaktor fixed bed (R 310) pada tekanan 500 psig (34 atm). Pada proses ini terjadi reaksi hidroisomerisasi yang menyebabkan perubahan struktur sebagian molekul feed menjadi isomer dan terjadi perubahan thermal dan stabilitas oksidasi. Reaksi ini tidak menyebabkan perubahan berat molekul. Proses ini dikondisikan dalam keadaan jenuh hidrogen sehingga perlu ditambahkan gas hidrogen pada reaktor. Reaktor hidroisomerisasi dilengkapi dengan katalis $AlCl_3$. Feed masuk bersamaan dengan gas hidrogen dengan tekanan atmosfer dan larutan HCl. HCl berfungsi sebagai promoter untuk kerja katalis.

Setelah dihidroisomerisasi, feed dialirkan dalam suatu flash tank (H 315) untuk memisahkan gas hidrogen yang terikut dari reaktor hidroisomerisasi. Bottom produk dari flash tank ini dialirkan ke acid stripper untuk memisahkan larutan HCl yang terikut dalam feed saat proses hidroisomerisasi berlangsung. Hasil pemisahan ini (bottom) dicuci dengan menggunakan NaOH untuk proses netralisasi dari HCl yang masih terikut. Proses netralisasi ini menghasilkan limbah atau produk sampingan berupa NaCl dan H_2O . Sementara top produknya yang berupa gas HCl dan sebagian kecil gas hidrogen (inert) masuk dalam Absorber (D 321) untuk diabsorb menjadi larutan HCl dengan menambahkan air, sementara gas inert (H_2) dilepas ke udara dari absorber. Feed yang telah benar – benar bersih dari H_2 maupun HCl dialirkan dalam kolom destilasi (D 330) untuk memisahkan antara monomer dan isomer yang dihasilkan. Bottom produk dari destilasi ini berupa parafin (byproduk) ditampung dalam tangki penampung (F 332). Dan top produknya berupa senyawa iso-parafin yang disebut sebagai base oil yang berpotensi untuk diolah lebih lanjut menjadi minyak pelumas sintetis. Produk ini ditampung dalam tangki penampung (F 330), produk ini mempunyai karakteristik sebagai berikut :

Tabel 2.3.3.1 Karakteristik produk hidroisomerisasi

Karakteristik	nilai
Pour point	-13 °C
Cloud point	+6 °C
Viskositas 40 °C	21,63
Viskositas 100 °C	4,920
Viskositas indeks	160

(Miller, 2005)

Berdasarkan karakteristik tersebut (grade viskositasnya) base oil tersebut cocok untuk pelumas SAE 15 W.

(Society of Automotive Engineers, 1986)

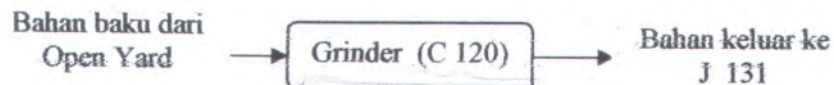
BAB III NERACA MASSA

Kapasitas Bahan baku : 65.000 kg/bulan botol plastik
 (PE dan PET)
 Kapasitas Produksi : 75.554 kg/hari; 3.148 kg/jam
 Waktu operasi : 330 hari/tahun; 24 jam/hari
 Basis waktu : 1 hari
 Satuan massa : kg
 Bahan baku : botol plastik bekas (PE. dan PET)

Komponen	Komposisi
Polyethylen	96
Polyethylen terephthalate	4
TOTAL	100

(komposisi bahan baku pada botol plastik ini berdasarkan jurnal
Sthephen J.Miller, 2005)

I. GRINDER (G 120)



Bahan Masuk : 65.000 kg/jam

Komposisi :

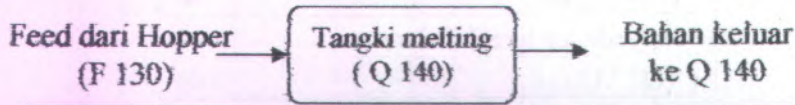
$$\text{➤ PE} = \frac{96}{100} \times 65.000 \text{ kg} = 62.400 \text{ kg}$$

$$\text{➤ PET} = \frac{4}{100} \times 65.000 \text{ kg} = 2.600 \text{ kg}$$



Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Grinder		Conveyor	
Aliran 1 :		Aliran 2 :	
PE	62400	PE	62400
PET	2600	PET	2600
	65000		65000
	65000		65000

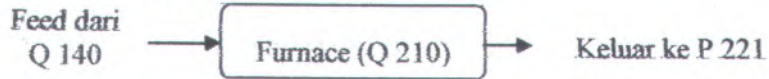
2. TANGKI MELTING (Q 140)



Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Tangki Melting		Furnace	
Aliran 2 :		Aliran 3 :	
PE	62400	PE	62400
PET	2600	PET	2600
	65000		65000
	65000		65000

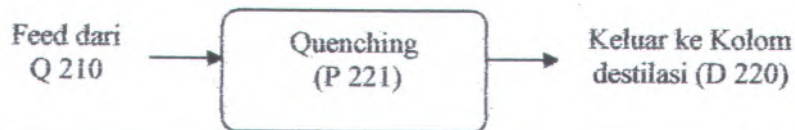


3. FURNACE (Q 210)



Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Furnace Aliran 3 :		Quencher Tower Aliran 4 :	
PE	62400	C4-	1885
PET	2600	C5-385	13780
	65000	385C+	49335
			65000
	65000		65000

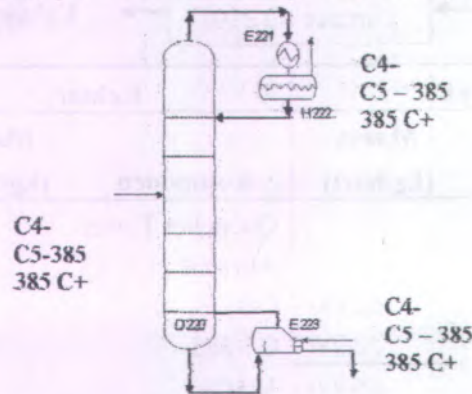
4. Quencher Tower (P 212)



Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Quencher Tower Aliran 4 :		Kolom Destilasi I Aliran 5 :	
C4-	1885	C4-	1885
C5-385	13780	C5-385	13780
385C+	49335	385C+	49335
	65000		65000
	65000		65000

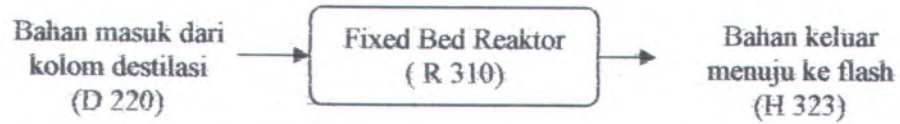
5. DESTILASI I (D 220)

Destilasi pada 75.99 mm Hg = 0.1 atm (kondisi Vakum)



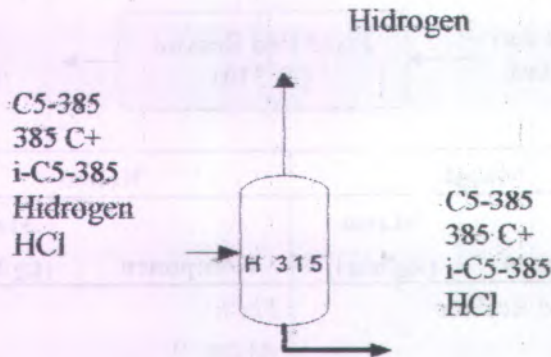
Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Kolom Destilasi I		Fixed Bed Reaktor	
Aliran 4 :		Aliran 5 :	
C4-	1885	C5-385	1866.15
C5-385	13780	385C+	137.8
385C+	49335	i-C5-385°C	0
	65000		2003.95
		Aliran 6 :	
		C5-385	18.85
		385C+	13642.2
		i-C5-385°C	49335
			62996.05
	65000		65000

6.FIXED BED REAKTOR (R 310)

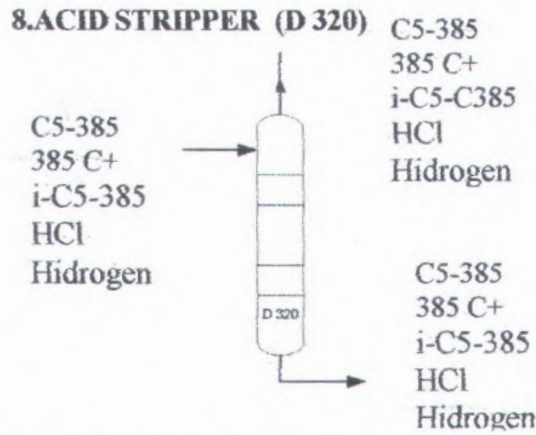


Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Fixed Bed Reaktor		Flash	
Aliran 5 :		Aliran 9:	
C5-385	13642.2	C5-385	13642.2
385C+	49335	385C+	49335
i- C5-385°C	7557.264	i-C5-385°C	12277.98
	70534.464	Hidrogen	7557.264
Aliran 8 :		HCl	5038.176
Hidrogen	7557.264		87850.62
AlCl ₃	41984.8		
Aliran 7 :		Aliran 9:	
HCl	5038.176	AlCl ₃	41984.8
	54580.24		
	117557,44		117557,44

7. FLASH (H 323)

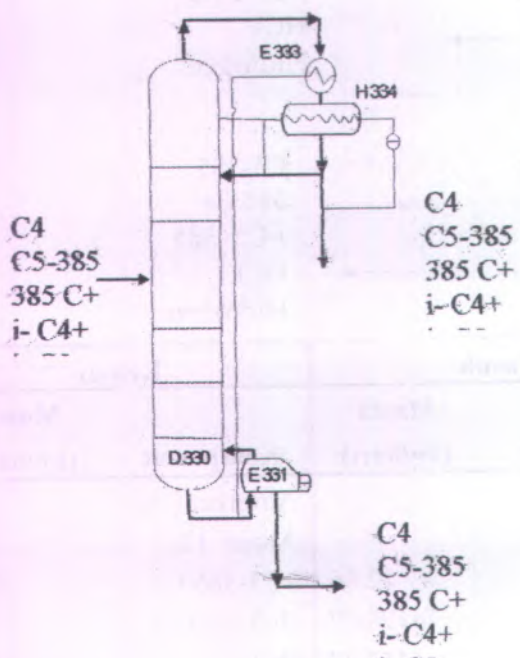


Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Flash		Acid stripper	
Aliran 9 :		Aliran 11 :	
C5-385	13642.2	C5-385	13642.2
385C+	49335	385C+	49335
i- C5-385°C	12277.98	i-C5-385°C	12277.98
Hidrogen	92.103	HCl	5038.176
HCl	5038.176		80293.356
	80385,459	Aliran 10 :	
		Hidrogen	7465,16
			7465,16
	75572,64		75572,64



Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Acid stripper		Absorber	
Aliran 11 :		Aliran 12:	
C5-385	12.86	i-C5-385°C	13.57
385C+	74198.09	Hidrogen	1.82
i-C5-385°C	1357.07	HCl	2.73
Hidrogen	1.8		18,12
HCl	2.76	Dekanter	
	75572,64	Aliran 14:	
		C5-385	12.86731
		385C+	74198.097
		i- C5 - 385°C	1343.502
		HCl	0.028
		NaOH	0.03
			75554,52
	75572,64		75572,64

9. DESTILASI II (D 330)



Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/hari)	Komponen	Massa (kg/hari)
Dekanter		T.Penampung Isoparaffin	
Aliran 17:		Aliran 18 :	
C5-385	12.86731	C5-385	913.86
385C+	74198.097	385C+	5.76
i-C5-385°C	1343.502	i-C5-385°C	53728.23
HCl	0,028	HCl	5038.176
NaOH	0,03		59686,026
	75554,52		
Aliran 16:		T.Penampung paraffin	
Aliran 16:		Aliran 19:	
NaCl	0,044	i-C5-385°C	9,2
H ₂ O	0,01	C5-385	3,09
	0,054	385C+	20894,3
			20906,59
	75554,47		75554,47

BAB IV NERACA PANAS

Kapasitas Bahan Baku : 65.000 kg/bulan botol plastik
 (PE dan PET)
 Kapasitas Produksi : 75.554 kg/hari ; 3.148 kg/jam
 Waktu operasi : 330 hari/tahun; 24 jam/hari
 Basis waktu : 1 hari
 Basis waktu : 1 hari
 Satuan massa : kkal
 Suhu reference : 25 °C

Komponen	Komposisi (%)
Polyethylen	96
Polyethylen terephthalate	4
TOTAL	100

*(komposisi bahan baku pada botol plastik ini berdasarkan jurnal
Stephen J. Miller, 2005)*

4.1 Tangki Melting (Q 140)

Tabel 4.1. Neraca Panas di Tangki Melting (Q 140)

Neraca Panas (kkal)	
Masuk	Keluar
<u>H1 (dari F 130) :</u>	<u>H2 (ke L 221):</u>
PE 1662,572	PE 6175,821
PET 7268,601	PET 12351,641
8931,173	18527,462
<u>Q dowtherm A</u> 10101,357	Q loss 505,068
19032,529	19032,529

4.2. Reaktor Furnace (R 210)

Tabel 4.2.1. Neraca Panas di Reaktor Furnace (R 210)

Neraca Panas (kkal)			
Masuk		Keluar	
<u>H1 (dari L 211) :</u>		<u>H2 (ke R 310):</u>	
PE	6175,821	C4	82,185
PET	<u>12351,641</u>	C5 - 385 °C	589,741
	18527,462	385 °C+	<u>4914,834</u>
			8931,173
Q	31601,241	ΔH_R	42961,881
		Q loss	1580,062
	50128,702		50128,702

Tabel 4.2.2. Neraca Panas di Ruang Pembakaran (R 210)
(kkal)

Masuk		Keluar	
<u>H_{fuel} (dari H 222):</u>		<u>H2 (ke udara):</u>	
CH4	347,899	C4	82,185
C2H4	1474,498	C5 - 385 °C	589,741
C2H6	924,920	385 °C+	<u>4914,834</u>
C3H6	2134,926		5586,759
C3H8	1711,175	0,05 m _{fuel} (-ΔH _c)	996006,154
C4H8	2919,437	m _{fuel} (-ΔH _c)	19920123,080
C4H10	<u>1109,595</u>		
	10622,450		
<u>H_{udara} :</u>	20911093,543		
	20921715,993		20921715,993

4.3. Quencher Tower (P 212)

Tabel 4.3. Neraca Panas di Quencher Tower (P 212)

Neraca Panas (kkal)			
Masuk		Keluar	
<u>H1 (dari R 210):</u>		<u>H2 (ke D 220):</u>	
C4	82,185	C4	11338,141
C5 – 385 °C	589,741	C5 – 385 °C	161542,507
385 °C+	<u>4914,834</u>	385 °C+	<u>635066,541</u>
	5586,759		807947,189
Hair	802360,9182	Hvap	0,484
	<u>807947,677</u>		<u>807947,673</u>

4.4. Kolom Destilasi I (D 220)

Tabel 4.4. Neraca Panas di Kolom Destilasi I (D 220)

Neraca Panas (kkal)			
Masuk		Keluar	
<u>H1(dari P 212) :</u>		<u>H2 :</u>	
C4	11338,141	<u>H2.1 (ke E 221):</u>	
C5 – 385 °C	161542,507	C4	159866,549
385 °C+	<u>635066,541</u>	C5 – 385 °C	576406,366
	807947,189	385 °C+	<u>68602,052</u>
			804874,967
<u>Qb :</u>	39755714,07	<u>H2.2 (ke E 223):</u>	
		C5 – 385 °C	4824138,570
		385 °C+	<u>31195649,538</u>
			36019788,108
		<u>Qc :</u>	
		C4	286661,07
		C5 – 385 °C	1361317,16
		385 °C+	<u>103234,25</u>
			1751212,482

	<u>Qloss</u> :	1982931,487
4058807,045		4058807,045

4.5. Cooler I (E 226)

Tabel 4.5. Neraca Panas di Cooler I (E 226)

Neraca Panas (kkal)	
Masuk	Keluar
<u>H1 (dari D 220):</u>	<u>H2 (ke R310):</u>
H2 36019788,108	C5 – 385 °C 3861102,315
	385 °C+ <u>24907525,56</u>
<u>Qb</u> : 39755714,07	287368627,88
	<u>Qc</u> : 8056035,2
36824663,08	36824663,08

4.6. Reaktor Fixed Bed (R 310)

Tabel 4.6. Neraca Panas di Reaktor Fixed Bed (R 310)

Neraca Panas (kkal)	
Masuk	Keluar
<u>H1 (dari R 310):</u>	<u>H2 (ke H 315):</u>
C5 – 385 °C 3861102,315	C5 – 385 °C 386110,23
385 °C+ <u>24907525,56</u>	385 °C+ 24907525,56
287368627,88	i-C5 – 385 °C 1483010,62
	Hidrogen 6542152,57
<u>Qsteam</u> : 1160079347	HCl <u>241298,93</u>
	33560097,90
	<u>Qloss</u> : 58003967,36
	H _R 1097283910
1188847975	1188847975

4.7. Cooler II (E 314)

Tabel 4.7. Neraca Panas di Cooler II (E 314)

Neraca Panas (kkal)			
Masuk		Keluar	
<u>H1 (dari R 310):</u>		<u>H2 (ke H 315):</u>	
C5 – 385 °C	386110,23	C5 – 385 °C	66150,769
385 °C+	24907525,56	385 °C+	10216028,311
i-C5 – 385 °C	1483010,62	i-C5 – 385 °C	1443123,114
Hidrogen	6542152,57	Hidrogen	3340928,680
HCl	241298,93	HCl	122191,689
	<u>33560097,90</u>		<u>10282179,08</u>
		<u>Qc :</u>	23277918,82
	33560097,90		33560097,90

4.8. Cooler III (E 317)

Tabel 4.8. Neraca Panas di Cooler III (E 314)

Neraca Panas (kkal)			
Masuk		Keluar	
<u>H1 (dari H 315):</u>		<u>H2 (ke D 320):</u>	
C5 – 385 °C	160347,013	C5 – 385 °C	1298,85
385 °C+	10233458,7	385 °C+	8110,71
i-C5 – 385 °C	1055390,7	i-C5 – 385 °C	8164,71
Hidrogen	41250,22	Hidrogen	456,95
HCl	12219,69	HCl	1367,3
	<u>11612638,35</u>		<u>92389,56</u>
		<u>Qc :</u>	11520248,78
	11612638,35		11612638,35



4.9. Acid Stripper (D 320)

Tabel 4.9. Neraca Panas di Acid Stripper (D 320)

Neraca Panas (kkal)			
Masuk		Keluar	
<u>H1(dari H 315) :</u>		<u>H2 :</u>	
C5 - 385 °C	1298,85	H2.1 (ke D 321):	
385 °C+	8110,71	C5 - 385 °C	0,00
i-C5 - 385 °C	8164,71	385 °C+	0,00
Hidrogen	456,95	i-C5 - 385 °C	9597,65
HCl	<u>1367,3</u>	Hidrogen	6291,25
	92389,56	HCl	<u>521,94</u>
			16411,843
<u>Qb :</u>	25446207266,9	H2.2 (ke E 322)	
		C5 - 385 °C	3791527,57
		385 °C+	23878591168,70
		i-C5 - 385 °C	291576592,84
		Hidrogen	12558,71
		HCl	<u>1033,53</u>
			24173972881,35
		<u>Qloss :</u>	1272310363,3
	25446399656,5		25446399656,5

4.10. Cooler IV (E 328)

Tabel 4.10. Neraca Panas di Cooler IV (E 328)

Neraca Panas (kkal)			
Masuk		Keluar	
<u>H1 (dari F 328):</u>		<u>H2 (ke D 330):</u>	
C5 - 385 °C	2389,20	C5 - 385 °C	2079,68
385 °C+	32239698,34	385 °C+	28014686,87
i-C5 - 385 °C	<u>183734,35</u>	i-C5 - 385 °C	<u>159598,85</u>
	32425821,89		28176365,40
		<u>Qc :</u>	4249456,4928
	32425821,89		32425821,89

4.11. Kolom Destilasi (D 330)

Tabel 4.11. Neraca Panas di Kolom Destilasi II (D 330)

Neraca Panas (kkal)	
Masuk	Keluar
<u>H1(dari E 328) :</u>	<u>H2 :</u>
C5 – 385 °C 2079,68	H2.1 (ke E 333):
385 °C+ 28014686,87	C5 – 385 °C 1732,349
i-C5 – 385 °C <u>159598,85</u>	385 °C+ 15859179,850
28176365,40	i-C5 – 385 °C <u>90147,337</u>
	15951059,535
<u>Qb :</u> 3517535,209	H2.2 (ke E 331)
	C5 – 385 °C 1189,17
	385 °C+ 11021670,39
	i-C5 – 385 °C <u>62774,23</u>
	110855633,79
	<u>Qc :</u>
	C5 – 385 °C 319556,74
	385 °C+ 10,21
	i-C5 – 385 °C <u>17679901,63</u>
	17999468,58
	<u>Qloss :</u> 175876,7604
30554228,539	30554228,539

BAB V SPESIFIKASI ALAT

1. Pompa (L - 334)

Fungsi : Untuk mentransportasikan fluida dari tangki ke kolom destilasi II
Jenis pompa : Pompa centrifugal
Kapasitas : 75554,467 (kg/hari)
Power pompa : 258447,37 kW

2. Kolom Distilasi (D - 330)

Fungsi : memisahkan antara paraffin dengan iso-paraffin.
Type : sieve tray multi stage
Jumlah : 1 buah
T operasi : 150°C
423,15°K

P operasi : 1 atm

Kolom :

Diameter = 8,979 ft
Jarak tray = 1,5 ft

Tray :

- Bentuk Aliran = cross flow
- Diameter lubang = 0,25 in
- Area lubang = 0,0275 ft
- Tebal plat = 0,134in

Downcomers:

- Residence time = top = 3,11 s
bottom = 0,008 s

Weir :

- Tinggi = 1,5 in
- Panjang = 20,94 in

3. Kondensor (E - 335)

Fungsi : Mengkondensasikan top produk kolom Distilasi

Tipe : Horizontal kondensor

Dimensi :

- tube : - OD : $\frac{3}{4}$ in, 16 BWG

- Panjang : 16 ft

- Jumlah : 92 tube, 1 passes

- shell : ID : 12 in

Heat transfer area : 309,21 ft² : 28,7 m²

Bahan Konstruksi : Carbon Steel SA 283 Grade C

Jumlah : 1 buah

4.Reboiler (E - 338)

Fungsi : Memanaskan bottom produk kolom Distilasi

Tipe : Double Pipe Heat Exchanger

Dimensi :

Panjang Hairpin: 12 ft

Panjang DPHE : 24 ft

Heat transfer area : 14,928 ft²

Bahan Konstruksi : Carbon Steel SA 283 Grade C

Jumlah : 1 buah

BAB VI UTILITAS

Unit utilitas dalam pabrik base oil pelumas merupakan suatu unit penunjang dalam menjalankan proses produksi yang meliputi penyediaan :

1. Kebutuhan Air
2. Kebutuhan Steam
3. Kebutuhan tenaga Listrik
4. Kebutuhan Bahan Bakar

6.1 KEBUTUHAN AIR

Air merupakan salah satu senyawa di alam yang mempunyai peran penting bagi aktivitas kehidupan manusia, baik secara biologi maupun non-biologis. Secara biologis air dibutuhkan untuk membentuk senyawa karbohidrat, carrier bagi zat gizi dan sebagainya. Sedang untuk kegiatan non-biologis, air berperan antara lain pada kegiatan industri. Diantaranya untuk air proses, air boiler, dan air pendingin. Hampir semua kegiatan utilitas membutuhkan air.

Sebenarnya air (H_2O) merupakan bahan yang tidak berbau, tidak berwarna, serta tidak bersifat toxit/beracun. Tetapi oleh karena sifatnya yang merupakan bahan pelarut yang sangat baik bagi sebagian besar unsur maka di alam sulit dijumpai air yang murni. Sehingga air sangat mudah terkontaminasi oleh zat-zat pada waktu bersentuh atau kontak. Oleh karena itu sebelum digunakan perlu diolah terlebih dahulu dengan cara penyaringan untuk menghilangkan kotoran yang bersifat makro sebelum masuk ke bak penampung.

Air dalam bak penampung kemudian dilakukan pengolahan atau treatment lebih lanjut sesuai dengan keperluan untuk pemakaiannya. Untuk menghemat pemakaian air, maka perlu dilakukan sirkulasi khususnya untuk air pendingin.

Dalam pabrik base oil pelumas ini, kebutuhan air sangat penting dan merupakan kebutuhan pokok. Air di base oil pelumas ini digunakan sebagai air sanitasi, air proses, air umpan boiler, dan air pendingin. Kebutuhan air di pabrik base oil pelumas ini diambil dari sumber air yang berada di lingkungan pabrik. Pada pabrik ini air yang digunakan meliputi:

1. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk keperluan memasak, mandi, mencuci, dan lain sebagainya. Adapun syarat air sanitasi meliputi :

a. Syarat Fisik

- Suhu : dibawah suhu udara
- Warna : jernih,
- Rasa : tidak berasa
- Bau: tidak berbau
- Kekeruhan : kurang dari 1 mg SiO₂/liter

b. Syarat Kimia

- pH : 6.5 – 8.3
- Tidak mengandung zat-zat terlarut yang berupa zat organik maupun anorganik

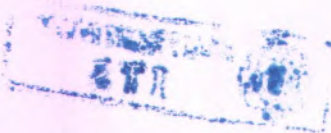
c. Syarat Bakteriologi

- Tidak menandung kuman atau bakteri yang merugikan, oleh karena itu air sanitasi ditambahkan kaporit

Total kebutuhan air sanitasi yaitu:

- Diperkirakan jumlah karyawan 300 orang, kebutuhan setiap orang 100 liter

$$300 \times 100 = 30000 \text{ liter} = 30 \text{ m}^3/\text{hari}$$



- Kebutuhan laboratorium dan lain-lain $3 \text{ m}^3/\text{hari}$
 ρ air pada suhu $30^\circ\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$ (Geankoplis, hal.855), sehingga jumlah total air sanitasi yang dibutuhkan adalah $1084295,52 \text{ kg/hari}$ atau $45178,98 \text{ kg/jam}$ atau $45,375 \text{ m}^3/\text{jam}$

2. Air Pendingin

Kebanyakan air digunakan sebagai air pendingin alat-alat proses misalnya cooler, condenser, dan lain-lain, karena adanya faktor-faktor antara lain:

- Air merupakan jumlah materi yang banyak didapat
- Mudah diatur dan dikerjakan
- Dapat menyerap jumlah panas yang tinggi per satuan volume
- Tidak mudah menyusut secara berarti dalam batasan dengan adanya perubahan temperatur pendinginan
- Tidak terdekomposisi.

Yang harus diperhatikan pada air pendingin, yaitu:

- Hardness, dapat memberikan efek pada pembentukan kerak
- Besi, penyebab korosi sekunder
- Silika, penyebab kerak
- Minyak, penyebab terganggunya film korosion inhibitor, heat transfer efficiency yang menurun, merupakan makanan mikroba yang bisa menyebabkan terbentuknya endapan.

Kebutuhan air pendingin pada pabrik ini meliputi:

- Quencher Tower = 1115,274 kg/jam
- Condenser Kolom Destilasi I = 14083,8752 kg/jam
- Cooler I = 22407,00466 kg/jam
- Cooler II = 64745,05419 kg/jam
- Cooler III = 32042,34611 kg/jam
- Cooler IV = 11819,41105 kg/jam
- Condenser Kolom Destilasi II = 888,8118 kg/jam



Total air pendingin yang digunakan adalah 147101,777 kg/jam, ρ air pada suhu 30°C = 995,68 kg/m³ (Geankoplis, hal.855), sehingga kebutuhan air pendingin :

$$= 132129,09 / 995,68$$

$$= 132,702 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sedangkan untuk air kondensat sebesar 14972,687 kg/jam atau 15,0376 m³/jam.

3. Air Proses

Air proses merupakan air yang digunakan dalam mendukung proses yang berlangsung. Air ini disyaratkan mempunyai kekeruhan rendah dan tidak menimbulkan reaksi samping dengan material utama. Keasaman, alkalinitas, dan warna perlu juga diperhatikan.

Kebutuhan air proses dalam pabrik ini meliputi:

ρ air pada suhu 30°C = 995,68 kg/m³ (Geankoplis, Appendix A.2, hal.863),

$$\text{Absorber} = 64697,21187 \text{ kg/jam}$$

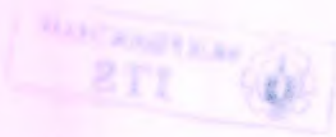
Total air proses yang digunakan adalah 64697,21187 kg/jam, kebutuhan air proses adalah 64697,21187/ 995,68 = 64,9779 m³/jam

4. Kebutuhan Air Umpan Boiler

Air yang kelihatan bening pada umumnya air masih mengandung larutan garam dan asam yang akan merusak steel dan cooper bearing metal pada sistem dari steam.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler :

- Zat-zat yang menyebabkan korosi
Korosi yang terjadi dalam ketel disebabkan air pengisi mengandung larutan-larutan asam, gas-gas terlarut, seperti oksigen, karbondioksida, dan H₂S. Oksigen dan CO₂ masuk ke dalam air karena aerasi maupun kontak yang terjadi dengan atmosfer.



▪ Zat-zat yang menyebabkan “scale forming”

Air yang diambil kembali dari proses pemanasan bisa menyebabkan busa (foam) pada boiler karena adanya zat-zat organik dan zat-zat yang tidak terlarut dalam jumlah besar, biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika. Oli dan produk peruraian buangan bisa menyebabkan busa. Efek pembusaan terutama terjadi pada alkalinitas (kesadahan) dan suhu yang tinggi.

Kebutuhan steam pada pabrik ini meliputi :

ρ air pada suhu 30°C = 995.68 kg/m³ (Geankoplis, Appendix A.2, hal.863),

- Steam dowtherm A pada Tangki Melting = 8,722 kg/jam
- Steam dowtherm A pada Reboiler Destilasi I = 34307,895 kg/jam
- Steam pada Reaktor Fixed Bed = 195651,18 kg/jam
- Steam pada Reboiler Acid Stripper = 429158,95 kg/jam
- Steam dowtherm A pada Reboiler Destilasi II = 3038,823 kg/jam

Sehingga suplai steam dari boiler adalah 624810,13 kg/jam atau 627,521 m³/jam, dan kebutuhan untuk steam dowtherm adalah 34316,6175 kg/jam

Kebutuhan air secara keseluruhan = air sanitasi + air umpan boiler + air proses + air pendingin = 258,22 m³/jam

Karena digunakan sistem sirkulasi untuk menghemat air yang diambil dari sungai, maka dianggap 90% dari air pendingin kembali ke cooling tower dan 80% kondensat akan kembali ke air umpan boiler, maka:

- Air pendingin = 90% x 132,702 m³/jam = 119,4318 m³/jam
- Air kondensat = 80% x 15,0376 m³/jam = 12,03008 m³/jam

jadi total air yang disirkulasi

$$= 119,4318 \text{ m}^3/\text{jam} + 12,03008 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 131,46188 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- Air sanitasi sebanyak = 45,375 m³/jam

➤ Make up water
 = air keseluruhan – air yang disirkulasi
 = $258,22 \text{ m}^3/\text{jam} - 131,46188 \text{ m}^3/\text{jam}$
 = $126,75812 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Cadangan air 20% air total = $20\% \times 258,22 \text{ m}^3/\text{jam}$
 = $51,644 \text{ m}^3/\text{jam}$

Total make up water:
 Total kebutuhan air = $126,75812 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Air cadangan = $51,644 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Total make up water = $178,40212 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Total make up water tiap harinya = $4281,65088 \text{ m}^3/\text{hari}$

Tahapan Dari Water Treatment

Untuk pengolahan air meliputi :

- ❖ Pengendapan kotoran
- ❖ Penambahan bahan kimia
- ❖ Penyaringan
- ❖ Pelunakan air untuk mengurangi kesadahan

Pengendapan Kotoran

Air yang digunakan dari sungai sebelum masuk bak penampung dilewatkan saringan (strainer) untuk mengurangi kotoran seperti sampah dan lain-lain. Dari bak penampung kotoran seperti pasir akan mengendap, sedangkan air secara overflow dari bak penampung dialirkan ke pengolahan selanjutnya.

Penambahan Bahan Kimia

Sebelum masuk bak penjernih ditambahkan bahan kimia yang berfungsi sebagai koagulan. Bahan kimia yang ditambahkan mempercepat terjadinya pengendapan. Flok-flok yang terbentuk karena adanya gaya gravitasi. Koagulan yang dipakai adalah tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).

Reaksi yang terjadi:



Dari flok-flok yang terbentuk diendapkan karena adanya proses gravitasi dan dialirkan ke bak air jernih. Disini ditambahkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk membuat keadaan netral. Dengan adanya penambahan tawas terus-menerus maka pH akan menurun. Oleh karena itu agar pH air netral maka perlu ditambahkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Penyaringan

Air dari bak sedimentasi dipompa ke bak penyaringan yang menggunakan pasir yang berfungsi untuk menghilangkan kotoran yang tidak sempat mengendap pada pressure sand filter. Untuk air sanitasi ditambahkan kaporit sebagai pembunuh kuman dan untuk air proses dialirkan dengan menggunakan pompa menuju tangki ion exchanger untuk menghilangkan kation dan anion yang tidak diinginkan. Sedangkan untuk air pendingin langsung dapat digunakan.

Unit ini dilengkapi dengan fasilitas regenerasi untuk mengembalikan kemampuan resin dengan menambahkan larutan HCl ke dalam kation.

Regenerasi Resin

1) Reaksi pengikatan anion-kation pada ion exchanger



2) Regenerasi resin



6.2 STEAM

Steam banyak dipakai dalam proses, destilasi, pemanas ataupun sebagai pembangkit tenaga, dimana pembangkitnya berasal dari :

- Turbin, dengan fluida penggeraknya berupa air, udara, steam
- Motor bakar dengan bahan bakarnya bensin, solar dan lain-lain

Di pabrik base oil pelumas ini steam yang digunakan adalah steam jenuh (saturated steam) dengan suhu 175°C dan tekanan 9 bar. Steam diproduksi oleh boiler pipa api bertekanan 6 bar dengan menggunakan api soft.

6.3 LISTRIK

Listrik berfungsi sebagai tenaga penggerak dari berbagai peralatan proses maupun untuk penerangan. Kebutuhan listrik di pabrik base oil pelumas ini diperoleh dari dua sumber, yaitu:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), digunakan untuk cadangan jika listrik padam atau apabila daya dari PLN tidak mencukupi. Daya yang dihasilkan dari PLTD ini sebesar 250 kVA, 50 Hz.
- b. Perusahaan Listrik Negara (PLN), merupakan sumber listrik utama dari pabrik base oil pelumas ini. Daya yang diperoleh dari PLN sebesar 2,8 kVA dimana pemakaiannya diturunkan 380 Volt dengan menggunakan trafo step down.

6.4 BAHAN BAKAR

Kebutuhan bahan bakar (fuel) pada pabrik base oil pelumas ini ada dua jenis yaitu yang utama adalah top produk dari kolom destilasi yang pertama, dimana produk tersebut berupa gasoline. Sedangkan untuk jenis bahan bakar yang kedua adalah solar. Bahan bakar ini digunakan bila bahan bakar utama tidak memenuhi kapasitas kebutuhan bahan bakar. Bahan bakar solar ini juga digunakan untuk bahan bakar dalam boiler.

BAB VII

KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

VII. 1. PENDAHULUAN

VII. 1. 1. DASAR PENERAPAN K3 :

- Setiap tenaga kerja berhak mendapatkan perlindungan atas keselamatan dalam melakukan pekerjaan untuk meningkatkan produksi dan produktivitas.
- Setiap orang lainnya yang berada di tempat kerja perlu terjamin keselamatannya.
- Setiap sumber – sumber produksi harus digunakan secara aman dan efisien.
- Pengurus/pimpinan perusahaan diwajibkan memenuhi dan menaati semua syarat – syarat dan ketentuan keselamatan kerja yang berlaku bagi usaha dan tempat kerja yang dijalankan.
- Setiap orang yang memasuki tempat kerja diwajibkan menaati semua persyaratan keselamatan kerja.
- Tercapainya kecelakaan nihil.

VII. 2. TUJUAN DAN SASARAN K3

VII. 2. 1. TUJUAN K3 :

Menciptakan system K3 di tempat kerja dengan melibatkan unsure manajemen, tenaga kerja, kondisi dan lingkungan kerja yang terintegrasi dalam rangka mencegah terjadinya kecelakaan dan penyakit akibat kerja serta terciptanya tempat kerja yang aman, nyaman, efisien dan produktif.

VII. 2. 2. SASARAN K3 :

- Memenuhi Undang – undang No.1/1970 tentang keselamatan kerja, yaitu :
 1. Agar para pekerja dan orang lain yang berada di lokasi pekerjaan tetap sehat dan selamat

2. melindungi sumber – sumber produksi agar terpelihara dengan baik dan dipergunakan secara efisien
 3. Melindungi agar proses produksi berjalan lancar tanpa hambatan apapun
 4. Kesehatan dan keselamatan kerja memerlukan tanggung jawab dari semua pihak karena hal ini tergantung dari Direksi, tingkah laku karyawan, keadaan peralatan atau lingkungan kerja itu sendiri.
- Memenuhi Permen Naker No. PER / 05 / MEN / 1996 tentang System Manajemen K3.
 - Mencapai nihil kecelakaan.

VII.2.3 Secara Umum Sebab – Sebab Timbulnya Kecelakaan

1. Lingkungan Fisik

Sumber bahaya kecelakaan dari lingkungan fisik, meliputi mesin-mesin, peralatan, bahan produksi, lingkungan kerja, penerangan, dan lain-lain. Kecelakaan yang terjadi akibat dari :

- Kesalahan perencanaan
- Aus atau rusaknya peralatan
- Kesalahan pada saat pembelian
- Terjadi ledakan karena kondisi operasi yang tidak terkontrol
- Penyusunan peralatan dan bahan produksi yang kurang tepat
- Lingkungan kerja yang tidak memenuhi persyaratan seperti panas, kebisingan, kesalahan pencahayaan, dan lingkungan lembab.

2. Manusia (Karyawan)

Kecelakaan yang disebabkan oleh manusia (karyawan), antara lain :

- Kurangnya pengetahuan dan ketrampilan karyawan
- Tidak cocoknya karyawan dengan peralatan atau lingkungan kerja

- Kurangnya motivasi kerja dan kesadaran karyawan akan keselamatan kerja

3. Sistem Manajemen

Kecelakaan yang disebabkan oleh manajemen adalah sebagai berikut :

- Kurangnya perhatian manager terhadap keselamatan kerja
- Kurangnya penerapan prosedur kerja dengan baik
- Tidak adanya inspeksi peralatan
- Kurangnya system penanggulangan terhadap bahaya
- Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan dan modifikasi

VII.3 Kesehatan dan Keselamatan Kerja Secara Umum

VII.3.1. Usaha – usaha Keselamatan Kerja

Kecelakaan kerja adalah kecelakaan yang terjadi pada seseorang yang disebabkan oleh bahaya yang berkaitan dengan pekerjaannya. Kesehatan dan keselamatan kerja merupakan bagian yang sangat diperhatikan. Usaha-usaha kesehatan dan keselamatan kerja perlu dilakukan untuk menghindari dan meminimalkan terjadinya kecelakaan kerja serta untuk meningkatkan produktifitas dan keuntungan bagi perusahaan.

Hal ini berdasarkan UU no.14 tahun 1969 yang menyatakan bahwa setiap karyawan berhak atas keselamatan dan perlindungan selama setiap karyawan sedang bekerja, dan berdasarkan pula tentang UU no.1 tahun 1970 yang mengatur tentang keselamatan kerja. Dan terdapat pula dalam UU no.13 tahun 2003 yang menjelaskan tentang ketenaga kerjaan setiap perusahaan wajib menerapkan manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang terintegrasi dalam sistem manajemen perusahaan.

VII.4. Penanganan keselamatan dan kesehatan kerja

Instalansi Pemadam kebakaran mutlak untuk setiap pabrik karena bahaya kebakaran mungkin terjadi dimanapun, terutama di tempat-tempat yang mempunyai instalansi pelistrikan.

Untuk meminimalkan kerugian material akibat bahaya kebakaran ini setiap pabrik harus memiliki dua macam instalansi pemadam kebakaran, yaitu :

- Instalansi tetap : hydran, splinker, dry chemical power
- Instalansi tidak tetap : fire extinguisher

Untuk instalansi pemadam tetap perangnya tidak dapat dibawa-bawa, diletakkan ditempat-tempat tertentu yang rawan bahaya kebakaran, misalnya : dekat reactor, boiler, di ruang operasi (operasi unit). Sedangkan instalansi pemadam kebakaran tidak tetap perangnya dapat dibawa dengan mudah ke tempat dimana saja.

Upaya pencegahan dan penanggulangan kebakaran di pabrik adalah :

- Peralatan seperti boiler atau peralatan lain yang mudah terbakar (meledak) diletakkan dibagian bawah serta dijauhkan dari peralatan lain.
- Antara unit satu dengan unit yang lainnya diberi jarak yang cukup, tidak terlalu berdekatan untuk menghambat laju api dan memberi ruang yang cukup bagi usaha pemadaman bila sewaktu-waktu terjadi kebakaran.
- Bangunan-bangunan seperti : laboratorium quality control, serta kantor administrasi diletakkan terpisah dari operating unit dan power station.
- Memberlakukan larangan merokok di lokasi pabrik
- Memberlakukan larangan membersihkan peralatan dengan menggunakan bensin atau solar
- Menyediakan tabung-tabung pemadam api di setiap ruangan atau tempat yang rawan bahaya kebakaran

VII.4.1. Tahapan pre-treatment botol plastik bekas air mineral

Pada tahapan pre-treatment botol plastik bekas air mineral ini dilakukan sebelumnya adalah pemilahan botol plastik bekas yang siap dilanjutkan pada tahapan *crusher*. Dan pada tahapan pemilahan bahan baku ini dilakukan secara manual, sedangkan dalam tahapan *crusher* sendiri dilakukan secara batch

yang digunakan untuk mendapatkan kondisi pelet plastik (10 mm) dimana setiap karyawan diwajibkan mengenakan dan mematuhi sistem K3 yang telah diterapkan oleh pabrik, seperti mengenakan helm, sepatu safety, air plug, sarung tangan, baju safety.

Dan dalam hal ini terdapat sebuah tim ahli Kesehatan Lingkungan Kerja Industri (KLKI) yaitu melakukan pengukuran parameter kebisingan pada *crusher* ataupun alat yang lainnya, cahaya tempat penyimpanan botol plastik bekas air mineral, sanitasi pada pabrik tersebut, kelembaban tempat kerja, dan bahan-bahan toxic yang diukur berdasarkan buku panduan MSDS (Material Safety Data Sheet), mencatat kegiatan kecelakaan pada plant dengan periode seminggu sekali, dan melaporkan jumlah jam kerja aman. Untuk penanganan masalah kebisingan di tempat kerja (proses), ahli KLKI menggunakan Sound Level Meter yang berfungsi untuk mengetahui batas kebisingan di daerah proses. Dan setelah dari tahapan *crusher* dilanjutkan pada tahapan selanjutnya yaitu proses dari pembuatan base oil minyak pelumas dari botol plastik bekas dengan proses pirolisis.

VII.4.2. Tahapan Uraian Proses

Pada tahapan ini dilakukan secara *continue*, dimana pada pabrik base oil pelumas dari botol plastik bekas ini dilengkapi dengan sebuah pendekatan baru terhadap masalah keselamatan kerja, yaitu Manajemen Keselamatan Proses (MKP). Dengan adanya perubahan safety practices menjadi MKP, diharapkan keuntungan perusahaan dapat meningkat tanpa ada rugi produksi akibat kegagalan peralatan maupun kegagalan system.

MKP merupakan penerapan system manajemen dalam mengidentifikasi, memahami, dan mengendalikan bahaya proses. MKP juga merupakan program terpadu pengolahan keselamatan dan kesehatan kerja.

VII.4.3. Tahap Akhir

Pada tahapan akhir dari pabrik base oil dari botol plastik bekas ini terdapat plant hidroisomerisasi, dimana terdapat kolom

fraksinasi dan penambahan zat-zat kimia yang bersifat higroskopis. Sehingga para pekerja diharapkan menggunakan sarung tangan, masker, topi pelindung, pakaian kerja.

Sedangkan pada bagian PK (Pemadam Kebakaran) memiliki beberapa fasilitas yang digunakan dalam bekerja diantaranya Automatic Telephone Alarm Sytem, FGDS (Fire & Gas Detection System), MAC (Manual Alarm Contact), Sirine dalam plant ataupun diluar tiap-tiap plant, dan mobil pemadam kebakaran yang bekerja di dalam dan luar plant pabrik. PK juga menyediakan peralatan safety yang disediakan bagi karyawan PK yaitu :

- Topi Pelindung (Helmet)

Seluruh karyawan, para tamu dan vendor harus memakai topi pelindung di daerah-daerah yang sudah ditetapkan bidang LK (Lindungan Kerja) & KK (Kondisi Kerja). Topi keselamatan digunakan untuk melindungi kepala dari tumpahan bahan baku serta zat-zat kimia yang berbahaya dan hantaran listrik di lingkungan pabrik.

- Pakaian kerja dan sarung tangan

Seluruh karyawan yang bekerja di Pabrik Base Oil Pelumas ini diharuskan untuk mengenakan pakaian yang sesuai dengan pekerjaan mereka. Pakaian khusus wajib dipakai bila mengerjakan pekerjaan dimana panas, percikan logam panas, tenaga-tenaga benturan. Dan sarung tangan wajib dipakai apabila memegang benda-benda atau zat-zat yang dapat menyayat, melukai atau membakar tangan.

- Alat Pelindung Mata

Yang digunakan untuk melindungi mata dari radiasi sinar yang terdapat pada pengelasan, seperti Welding Mask atau Welding Glasses.

- Sabuk Pengaman

Secara umum, para karyawan harus memakai sabuk pengaman untuk memberikan perlindungan bagi karyawan yang sedang bekerja pada tempat-tempat yang tinggi dimana tidak terdapat perlindungan yang cukup terhadap

kemungkinan jatuh. Selain itu juga wajib digunakan apabila sedang bekerja dengan memakai masker gas atau masker saluran udara atau bilamana mereka terlihat pada suatu keadaan yang mungkin mengakibatkan terperangkap (dalam ruangan tertutup).

- Pelindung Telinga

Alat pelindung telinga harus dipakai oleh seluruh karyawan yang bekerja di sekitar mesin atau alat yang tingkat kebisingannya melebihi 85 dBA.

- Pelindung kaki

Memakai pelindung kaki diharuskan untuk para karyawan dimana kaki mereka dapat cedera oleh zat-zat yang panas, korosif atau beracun serta benda-benda jatuh yang dapat mengakibatkan cedera atau untuk para karyawan yang harus bekerja pada tempat yang senantiasa basah.

- Pelindung Pernafasan

Jenis alat pelindung pernafasan harus dipakai oleh semua karyawan apabila sedang melakukan pekerjaan dimana bahaya-bahaya pernafasan bisa terjadi, seperti :

- a. Masker pernafasan untuk debu harus dipakai di daerah yang berdebu.
- b. Pelindung pernafasan untuk uap atau gas beracun harus digunakan apabila sedang mengecat atau menyemprotkan cairan pelarut atau bahan kimia.
- c. Alat pernafasan tabung atau saluran udara harus digunakan apabila memasuki ruangan tertutup, bejana-bejana, tangki-tangki yang belum ditest, dan ruangan yang penuh dengan asap dimana adanya kekurangan oksigen.
- d. Kerudung kepala yang dilengkapi dengan alat pernafasan saluran udara untuk abrasive blasting harus digunakan apabila sedang mengoperasikan peralatan sand blasting.

VII.5. Penerapan K3 pada pabrik base oil pelumas

Untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan kerja, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain :

a. Bangunan Pabrik

Bangunan gedung beserta alat-alat konstruksinya harus memenuhi persyaratan yang telah direkomendasikan oleh para ahli yang bersangkutan untuk menghindari bahaya-bahaya kebakaran, perusakaan akibat cuaca, gempa, petir, banjir, dan lain sebagainya. Lingkungan sekitar pabrik harus dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja serta penduduk sekitarnya. Jangan sampai kehadiran pabrik tersebut malah akan menimbulkan pencemaran bagi lingkungan sekitar sehingga mengakibatkan ketidaknyamanan bagi penduduk sekitar.

b. Ventilasi

Ruang kerja harus cukup luas, tidak membatasi atau membahayakan gerak pekerja, serta dilengkapi dengan sistem ventilasi yang baik sesuai dengan kondisi tempat kerjanya, sehingga pekerja dapat bekerja leluasa, aman, nyaman, karena selalu mendapatkan udara yang bersih.

c. Alat-alat gerak

Alat-alat berputar atau bergerak seperti motor pada pompa, motor pada pengaduk harus selalu berada dalam keadaan tertutup, minimal diberi penutup pada bagian yang bergerak, serta harus diberi jarak yang cukup dengan peralatan lainnya, sehingga bila terjadi kerusakan akan dapat diperbaiki dengan mudah.

d. Peralatan yang menggunakan sistem perpindahan panas

Peralatan yang memakai sistem perpindahan panas harus diberi isolator, misalnya : Boiler, Barometrik Condensor, dan sebagainya. Disamping itu di dalam perancangan faktor keselamatan (safety faktor) harus diutamakan, antara lain dalam hal pengelasan (pemilihan sambungan las), faktor korosi, tekanan (strees). Hal ini memegang peranan penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan kerja, efisiensi dan produktivitas operasional, terutama untuk mencegah kehilangan panas pada alat-alat tersebut. Selain itu harus diupayakan agar suhu ruangan

tidak terlalu tinggi dengan jalan memberi ruang (space) yang cukup untuk peralatan, mencegah kebocoran steam yang terlalu besar, serta pemasangan alat control yang sesuai.

e. Sistem Perpipaan

Pipa-pipa harus dipasang secara efektif supaya mudah menghantarkan fluida proses atau utilitas tanpa adanya kehilangan energi atau massa, dalam waktu yang tepat. Pipa-pipa tersebut juga harus diletakkan di tempat yang terjangkau dan aman sehingga mudah diperbaiki dan dipasang. Untuk pipa yang dilalui fluida panas harus diberi isolasi (berupa sabut atau asbes) dan diberi sambungan yang dapat memberikan fleksibilitas seperti belokan-U (U-bed), pemilihan valve yang sesuai untuk menghindari peledakan yang diakibatkan oleh pemuaian pipa.

f. Sistem Kelistrikan

Penerangan di dalam ruangan harus cukup baik dan tidak menyilaukan agar para pekerja dapat bekerja dengan baik dan nyaman. Setiap peralatan yang dioperasikan secara elektrik harus dilengkapi dengan pemutusan arus (sekering) otomatis serta dihubungkan dengan tanah (ground) dalam bentuk arde, untuk menjaga apabila sewaktu-waktu terjadi hubungan singkat. Pemeriksaan peralatan listrik secara teratur perlu dilakukan.

g. Karyawan

Seluruh karyawan maupun pekerja, terutama yang mengenai unit-unit vital, hendaknya diberi pengetahuan dan pelatihan khusus dalam bidang masing-masing, maupun dalam bidang kesehatan dan keselamatan kerja secara umum. Disamping itu pihak pabrik harus gencar memberikan penyuluhan tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K-3), baik secara lisan maupun secara tertulis (berupa tanda-tanda berbahaya/ larangan serta peraturan pengoperasian peralatan yang baik dan benar pada tiap-tiap alat terutama yang beresiko tinggi). Dengan demikian diharapkan para karyawan akan mampu menangani kondisi darurat yang dapat terjadi sewaktu-waktu, setidaknya pada tahap awal.

BAB VIII INSTRUMENTASI

Instrumentasi merupakan bagian yang penting dalam suatu proses industri kimia. Instrumentasi dapat berupa petunjuk (indikator), perekam (recorder), atau pengontrol. Dalam suatu industri kimia banyak variabel proses yang harus diukur maupun yang dikontrol, seperti suhu, kecepatan alir, tekanan, ketinggian fluida, serta variabel lainnya.

Penggunaan alat kontrol otomatis dimaksudkan untuk menghasilkan kualitas produk yang terbaik dan mengurangi kebutuhan tenaga kerja. Pada pabrik base oil pelumas ini instrumentasi yang digunakan berupa alat otomatis dan manual. Hal ini tergantung sistem peralatan dan faktor pertimbangan teknik serta ekonomisnya.

Dengan adanya instrumentasi ini diharapkan :

1. Variabel proses dapat dijaga pada batas operasi yang sama.
2. Laju produksi dapat diatur pada batas yang direncanakan.
3. Kualitas produksi dapat terjamin.
4. Mempermudah pengoperasian alat.
5. Kondisi berbahaya dapat diketahui lebih dini, sehingga menjamin keselamatan kerja.
6. Meningkatkan efisiensi kerja.

Instrumentasi yang digunakan pada pabrik base oil pelumas ini adalah :

- a. Instrument pengukur atau penontrol suhu.
- b. Instrumentasi pengatur atau pengontrol flow rate atau laju alir.
- c. Instrument pengatur atau pengontrol tekanan.

Alat kontrol manual dapat mengukur harga variabel proses dengan mencatat saja. Sedangkan alat kontrol otomatis

akan bekerja secara otomatis dalam mengontrol dan mengukur variabel proses.

Adapun beberapa bagian instrument adalah :

- Primary element atau sensing element.
Yaitu bagian dari alat kotrol yang dapat merasakan perubahan harga variable diukur.
- Element pengukur
Yaitu element yang dapat menerima pengeluaran dari primery element dan melakukan pengukuran. Yang terasuk dalam hal ini adalah petunjuk (indikator) dan pencatat (recorder).
- Element pengontrol
Yaitu element yang menunjukkan perubahan harga variabel yang dibaca dan diukur oleh element pengukur. Untuk pengaturan sumber mekanik maupun elektrik sesuai dengan perubahan – perubahan yang terjadi.
- Element akhir
Yaitu bagian dari sistem yang berfungsi untuk merubah masukan ke dalam proses sehingga variabel yang diukur tetap berada pada nilai yang diinginkan.

Alat – alat kontrol yang berada dipasaran sangat beragam, untuk itu diperlukan kriteria yang akan digunakan ada pabrik base oil pelumas yaitu:

- Mudah dalam perawatan maupun perbaikan jika terjadi kerusakan.
- Suku cadang mudah diperoleh.
- Mudah dalam pengoperasian.
- Harga murah dan kualitas cukup memadai.

Alat – alat kontrol yang banyak digunakan dalam industri antara lain :

1. Temperature controller (TC)
Fungsai : untuk mengendalikan tau mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

2. Temperature Indikator (TI)
Fungsi : untuk mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut.
3. Temperature Recorder Controller (TRC)
Fungsi untuk untuk mencatat dan mengendalikan temperatur operasi.
4. Pressure Indikator (PI)
Fungsi : untuk mengendalikan tekanan pada alat secara terus menerus sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan.
5. Pressure Controller (PC)
Fungsi : untuk mengendalikan tekanan pada alat secara terus menerus sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan.
6. Pressure Recorder Controller (PRC)
Fungsi : untuk mencatat dan mengatur tekanan dalam alat secara terus menerus sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan.
7. Flow Recorder Controller(FRC)
Fungsi : untk mencatat dan mengatur debit aliran cairan secara terus menerus.
8. Level Indikator (LI)
Fungsi : untuk mengetahui tinggi cairan dalam suatu alat.
9. Level Controller (LC)
Fungsi : untuk mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat sehingga tidak melebihi dari batas yang ditentukan.
10. Level Recorder Controller (LRC)
Fungsi : untuk mencatat dan mengatur, serta mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat.

VIII-4

Berikut ini adalah berbagai jenis instrumentasi yang terdapat dalam pabrik base oil pelumas :

No.	Nama Alat	Instrumentasi
1.	Tangki melting (Q 140)	TC, FC, LC
2.	Reaktor Furnace (R 210)	TC, FC
3.	Quencher Tower (P 221)	TC
4.	Kolom Destilasi I (D 220)	TC, FC, PC, LC
5.	Fixed Bed Reaktor (R 210)	FC
6.	Flash Hidrogen (H 323)	TC, FC, TI
7.	Acid Stripper (D 320)	TC, FC, LC
8.	Absorber (D 326)	TC, FC
9.	Dekanter (H 331)	FC, LC
10.	Kolom Destilasi II (D 330)	TC, FC, PC, LC

BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA

Pada pabrik base oil pelumas dari botol plastik bekas ini memiliki sejumlah limbah yang masih perlu diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah tersebut berupa gas maupun sludge.

Untuk limbah yang berupa gas adalah gas karbon dioksida hasil pembakaran pada ruang pembakaran (furnace). Gas ini dihasilkan bila pembakaran yang terjadi kurang sempurna. Pembentukan gas ini dapat dicegah dengan menyempurnakan reaksi pembakaran yaitu dengan menyuplai udara dengan cukup.

Sementara itu untuk limbah yang berupa sludge adalah sludge oil. Limbah ini dihasilkan karena hasil pengolahan yang berupa minyak disimpan dalam tangki penyimpanan. Oksidasi proses yang terjadi akibat kontak antara minyak, udara dan air menimbulkan adanya sedimentasi pada dasar tangki penyimpanan, endapan ini adalah oil sludge. Oil sludge terdiri dari, minyak (hydrocarbon), air, abu, karat tangki, pasir, dan bahan kimia lainnya. Limbah ini termasuk dalam B3 sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Pengolahan limbah ini dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan incineration (pembakaran), centrifuges (pemisahan), steam extraction (ekstraksi), dan bioremediation (mikrobiologi). Namun dalam pabrik base oil ini pengolahan dilakukan dengan cara boremediation.

Bioremediation adalah teknik penanganan limbah atau pemulihan lingkungan, dengan biaya operasi yang relatif murah, serta ramah dan aman bagi lingkungan. Dalam proses pengolahan

ini, mula-mula dilakukan pemisahan minyak, bahan padat, dan air dengan mesin pengocok atau shaker. Setelah minyak terpisah, bahan padat kemudian diolah lebih lanjut dengan memberi bakteri hidrokarbon. Proses bio-remediasi ini menghasilkan bahan yang bisa digunakan untuk pupuk dan sangat aman untuk tanaman. Bahan ini bisa pula digunakan untuk pembuatan batako serta untuk pengeras jalan.

Adapun kandungan airnya diproses lebih lanjut sehingga kandungan logam beratnya sangat minim dan dinyatakan aman untuk dibuang ke lingkungan. Proses pengolahan seperti ini yang paling aman. Hal ini sesuai dengan panduan dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 128/2003 mengenai tata cara dan persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis.

Secara sederhana proses bioremediasi bagi lingkungan dilakukan dengan mengaktifkan bakteri alami pengurai minyak bumi yang ada di dalam tanah. Bakteri ini kemudian akan menguraikan limbah minyak bumi yang telah dikondisikan sedemikian rupa sehingga sesuai dengan kebutuhan hidup bakteri tersebut. Dalam waktu yang cukup singkat kandungan minyak akan berkurang dan akhirnya hilang, inilah yang disebut sistem bioremediasi.

Unit operasi pengolahan limbah ini, mengoperasikan enam fasilitas bioremediasi (SBF/ Soil Bioremediation Facilities), di lahan seluas total 8 hektar. Dengan peralatan canggih ini 28.000 m³ tanah yang tercemar diolah di seluruh unit pengolahan bioremediasi dengan lama rata-rata 4 bulan dalam satu siklus untuk mencapai 1% TPH (Total Petroleum Hydrocarbon). Setiap unit terdiri atas 2 - 3 kolam pengolahan yang masing masing kolam memiliki proses individu berkapasitas 1.200 m³.

BAB X

KESIMPULAN

Pembuatan pabrik base oil minyak pelumas dari botol plastik bekas dengan proses pirolisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Bahan baku

Bahan baku yang digunakan adalah botol plastik bekas (jenis HDPE). Botol plastik bekas khususnya botol air mineral memiliki kapasitas (limbah) yang cukup besar dan dalam pengolahan botol plastik bekas hanya dapat dikelola sebanyak 4% dari seluruh kapasitas botol plastik bekas yang ada. Sehingga hal tersebut dapat mempermudah untuk mendapatkan bahan baku.

2. Proses

Pembuatan base oil minyak pelumas dari botol plastik bekas ini terdiri dari satu pretreatment dan tiga proses utama. Proses pretreatment meliputi pembersihan label dan tutup botol plastik bekas serta dilanjutkan dengan *size reducing* hingga botol plastik bekas tersebut berbentuk *pellet*. Kemudian proses selanjutnya adalah proses pirolisis, *hydrotreating*, dan yang terakhir adalah proses *hydroisomerization*.

3. Hasil

Dari proses pembuatan base oil minyak pelumas dihasilkan produk utama berupa senyawa iso-parafin yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan dasar minyak pelumas. Produk sampingnya

yaitu parafin yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri lilin ataupun batik, larutan HCl 48,6 %, dan NaCl.

DAFTAR PUSTAKA

1. Austin, T. George, 1984. **Shreve's Chemical Process Industries**, 4th Edition, Mc Graw Hill Book Company, New York.
2. Bland W.F., and Davidson R.L., 1967. **Petroleum Processing Hand Book**, Mc. Graw Hill Book Company, New York.
3. C. Van Ness, S, 1987. **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics**, Edisi 4, International edition, McGraw Hill Book Co, Singapore,
4. Doherty, M.F., dan Hadwerk G.E., 2001. **Conceptual Design of Destilation System**, Mc. Graw Hill International Edition.
5. Geankoplis, C, 1993. **Transport Processes and Unit Operations**, Edisi 3.
6. Griskey, Richard G., 1995. **Polymer Process Engineering**, New York. Chapman & Hall.
7. Himmelblau, M. David, 1982. **Basic Principles And Calculation in Chemical Engineering**, 4th Edition, Prentice – Hall International, Inc.
8. Hougen, A. Olaf, 1959. **Chemical Process Principles**, Part I : Material And Energy Balance, 2nd Edition, John Wiley & sons, New York.
9. Kern,D. 1965. **Process Heat Transfer**, McGraw Hill Book Comp., London,

10. Mc Cain. William D., Jr., 1933. **The Properties of Petroleum Fluids**, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma.
11. McCabe, **Unit Operation of Chemical Engineering**, Fourth edition, McGraw Hill Book Co., 1985.
12. Michaeli, Dkk., 1995. **Training in Plastic Technology**, Hanser, New York.
13. Othmer, Kirk, **Encyclopedia of Chemical Technology**, Edisi 3, John Wiley and Sons Inc., Canada, 1982.
14. Perry, R. H, **Chemical Engineer's Handbook**, Edisi 6, Edisi International, McGraw Hill Book Co, Singapore.
15. Peters, MS., Timmerhauss, KD., **Plant Design and Economics For Chemical Engineers**, fourth edition, McGraw Hill Book Co, Singapore, 1991.
16. Reid, R.C., 1991. **Sifat Gas dan Zat Cair**, edisi ketiga, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
17. Ullmann's., 2003. **Encyclopedia of Industrial Chemistry**, 6th Edition, Completely Revised Edition Volume 12.
18. Ulrich, G. D, **A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic**, John Wiley and Sons, New York, 1984.
19. www.ACS.com
20. www.dow.com/heattrans

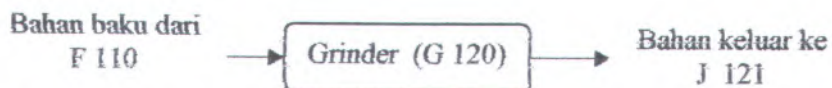
APPENDIKS NERACA MASSA

Kapasitas Bahan baku	: 65.000 kg/bulan botol plastik (PE dan PET)
Kapasitas Produksi	: 75.554 kg/hari; 3.148 kg/jam
Waktu operasi	: 330 hari/tahun; 24 jam/hari
Basis waktu	: 1 hari
Satuan massa	: kg
Bahan baku	: botol plastik bekas (PE dan PET)

Komponen	Komposisi
Polyethylen	96
Polyethylen terephthalate	4
TOTAL	100

(komposisi bahan baku pada botol plastik ini berdasarkan jurnal
Stephen J.Miller, 2005)

1. GRINDER (G 120)



Bahan Masuk : 65.000 kg/jam

Komposisi :

$$\text{➤ PE} = \frac{96}{100} \times 65.000 \text{ kg} = 62.400 \text{ kg}$$

$$\text{➤ PET} = \frac{4}{100} \times 65.000 \text{ kg} = 2.600 \text{ kg}$$

Bahan masuk

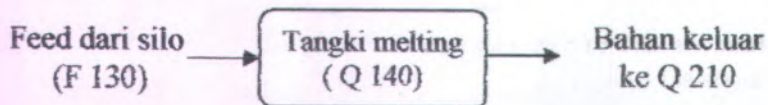
Komponen	Komposisi (%)	Bahan Masuk
PE	96	62400
Polyethylen terephthalate	4	2600
	100	65000

Bahan keluar

Komponen	Komposisi (%)	Bahan Keluar
PE	96	62400
Polyethylen terephthalate	4	2600
	100	65000

Neraca massa Grinder (G 120)

Komponen	Komposisi (%)	Komposisi (kg)	
		Bahan Masuk	Bahan Keluar
PE	96	62400	62400
Polyethylen terephthalate	4	2600	2600
	100	65000	65000

2. TANGKI MELTING (Q 140)

Fungsi : alat ini untuk melelehkan dan mencampur dua jenis polimer (PE dan PET) sebelum masuk dalam pyrolizer.

Bahan masuk

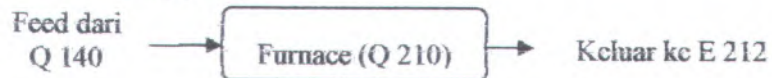
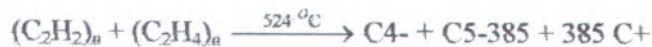
Komponen	Komposisi (%)	Bahan Masuk
PE	96	62400
Polyethylen terephthalate	4	2600
	100	65000

Bahan keluar

Komponen	Komposisi (%)	Bahan Keluar
PE	96	62400
Polyethylen terephthalate	4	2600
	100	65000

Neraca massa Tangki Melting (Q 140)

Komponen	Komposisi (%)	Komposisi (kg)	
		Bahan Masuk	Bahan Keluar
PE	96	62400	62400
Polyethylen terephthalate	4	2600	2600
	100	65000	65000

3. FURNACE (Q 210)**Reaksi :**

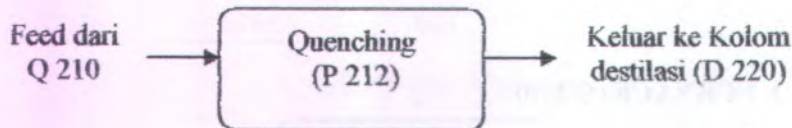
Fungsi : untuk memecah ikatan rantai panjang pada polyethylen (PE) dan polyethylene terephthalate (PET).

Bahan masuk

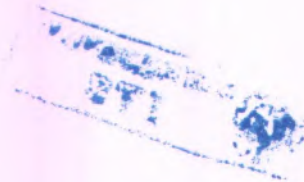
Komponen	Komposisi (%)	Bahan Masuk
PE	96	62400
Polyethylen terephthalate	4	2600
	100	65000

Neraca massa Furnace (Q 210)

Komponen	Komposisi (%)	Komposisi (kg)	
		Masuk	Keluar
PE		62400	
PET		2600	
C4-	2,9		1885
C5-385	21,2		13780
385C+	75,9		49335
	100	65000	65000

4. Quencher Tower (P 212)

Fungsi : untuk menurunkan temperature gas dari 524 °C menjadi 300 °C sebelum masuk dalam kolom destilasi (D220)



Bahan masuk

Komponen	Komposisi (%)	Bahan Masuk
C4-	2,9	1885
C5-385	21,2	13780
385C+	75,9	49335
	100	65000

Bahan Keluar

Komponen	Komposisi (%)	Bahan Keluar
C4-	2,9	1885
C5-385	21,2	13780
385C+	75,9	49335
	100	65000

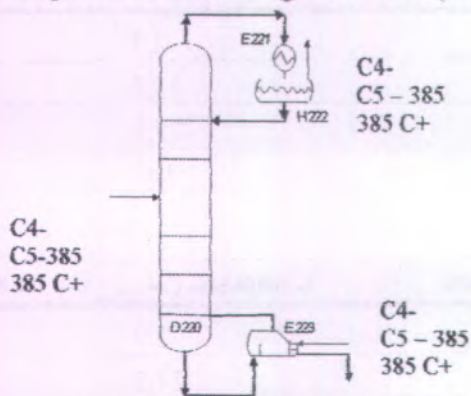
Neraca Massa Quenching (P 212)

Komponen	Komposisi (%)	Komposisi (kg)	
		Bahan Masuk	Bahan Keluar
C4-	2,9	1885	1885
C5-385	21,2	13780	13780
385C+	75,9	49335	49335
	100	65000	65000



5. DESTILASI I (D 220)

Destilasi pada 75.99 mm Hg = 0.1 atm (kondisi Vakum)



Fungsi : untuk memisahkan komponen C4- dengan komponen C5
- 385°C dan 385 °C+

% destilasi	Suhu °C	ρ
IBP	90	0,738
10	200	0,798
30	274	0,868
50	326	0,888
70	373	0,898
90	418,5	0,908

HALOHEMBAK
271

Komposisi komponen pada Destilasi (D220)

Komponen	% volume	TBP	ρ gr/cu cm	$^{\circ}$ API	ρ lb/cuft	(lb/100 cuft) /mixture
C4-	2,9	-73,66	0,723	63,67	45,146	451,46
C5-385 $^{\circ}$ C	75,9	210,52	0,798	45,38	49,825	498,25
385 $^{\circ}$ C+	21,2	385	0,888	27,49	55,438	554,38

Komponen	BM	(molcs/100 cufts) /mixture	Fraksi Mol	Tckanan Parsial (Psia) 210 $^{\circ}$ F	α LX/HX
C4-	45	10,032	0,441	120,37	1,3846
C5-385 $^{\circ}$ C	69	7,221	0,318	117,12	1
385 $^{\circ}$ C+	101	5,489	0,241	87,84	0,69
		22,742			

(Data TBP : Sifat Gas dan Zat Cair 3 rd ed. Hal 616-651 ;
Data $^{\circ}$ API; ρ lb/cuft : Perry 7rd ed. Hal 1-20)

Komposisi Destilat dan Bottom

Komponen	Feed			
	xf	mol	Moles fr	massa
C4-(LK)	0,75	33,75	0,590	1885
C5- 385 $^{\circ}$ C(HK)	0,056	3,864	0,068	13780
385 $^{\circ}$ C+	0,194	19,594	0,343	49335
	1,000	57,208		65000

Destilat			
fraksi	mol	Moles fr	massa
0,93124	41,47	0,95405	1866,15
0,06876	1,999	0,04595	137,8
0,00000	0	0,00000	0,00000
1	43,46710		2003,95

Bottoms			
fraksi	mol	Moles fr	massa
0,00	0,42	0,00	18,85
0,22	197,71	0,29	13642,20
0,78	488,47	0,71	49335,00
	686,60	1,00	62996,05

Perhitungan neraca massa kolom destilasi (D 220)

➤ Perhitungan destribusi dan relatife volatilitas

$$\alpha_{LK/HK} = \frac{94,5}{68,25} = 1,38 \quad \frac{(\text{moles LK})_D}{(\text{moles LK})_B} = \frac{0,95}{0,05} = 1563,78$$

$$\text{Log } \alpha = 0,14 \quad \text{Log } 1563,78 = 3,19$$

$$\alpha_{LK/HK} = \frac{68,25}{68,25} = 1 \quad \frac{(\text{moles HK})_D}{(\text{moles HK})_B} = \frac{0,05}{0,29} = 0,159$$

$$\text{Log } \alpha = 0 \quad \text{Log } 0,111 = -0,79$$

$$\alpha_{a/c} = \frac{94,5}{68,25} = 1,38 \quad \text{Log } \alpha = 1,38$$

$$\alpha_{b/c} = \frac{68,25}{68,25} = 1 \quad \text{Log } \alpha = 0$$

$$\alpha_{c/c} = \frac{47,25}{68,25} = 0,69 \quad \text{Log } \alpha = -0,159$$

Dimana log α pada tiap komponen antara log (X_D/X_B) adalah diplotkan hubungan dengan digambarkan dengan :

$$\log \alpha = m \log \frac{X_D}{X_B} + b \quad b = 0,017$$

$$m = \frac{0,14 - 0}{3,19 - (-0,79)} = 0,035$$

$$\log \alpha = 0,035 \log \frac{X_D}{X_B} + b$$

$$\log \frac{X_D}{X_B} = \frac{\log \alpha - b}{0,035}$$

$$\bullet \log \frac{X_{aD}}{X_{aB}} = \frac{0,14 - 0,017}{0,035} = 3,49$$

$$\bullet \log \frac{X_{bD}}{X_{bB}} = \frac{0 - 0,017}{0,035} = -0,49$$

$$\bullet \log \frac{X_{cD}}{X_{cB}} = \frac{-0,159 - 0,017}{0,035} = -5,008$$

➤ Metode minimum plates – Fenske's :

$$N_{\min} = \log \frac{(X_{LK} / X_{HK})_D (X_{HK} / X_{LK})_B}{\log (\alpha_{LK/HK})_{av}}$$

$$= \log \frac{(0,93/0,07) (0,22/0,0003)}{\log (1,34)}$$

$$= 28,24 \text{ plates}$$

➤ Minimum reflux's – Metode Underwood's :
Untuk feed saturated liquid $q = 1,0$

$$\sum_a^c \frac{X_f}{(\alpha - \theta)/\alpha} = 0 \quad \alpha \text{ LK/HK} = 1,38$$

(Matthew Van Winkle, 1967. pg 346)

Trial $\theta = 1,022$

$$a = \frac{0,75}{(1,384 - 1,022)/1,384} = 2,87$$

$$b = \frac{0,06}{(1 - 1,022)/1} = -2,46$$

$$c = \frac{0,19}{(0,69 - 1,022)/0,69} = -0,4$$

check - 0,0011

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\min} + 1 = \sum_1^n \frac{X_D}{(\alpha - \theta)/\alpha}$$

(Matthew Van Winkle, 1967. pg 346)

$$a = \frac{0,93}{(1,384 - 1,022)/1,384} = 3,56$$

$$b = \frac{0,07}{(1 - 1,022)/1} = -2,02$$

$$c = \frac{0}{(0,69 - 1,022)/0,69} = 0$$

$$\sum_1^n \frac{X_D}{(\alpha - \theta)/\alpha} = 1,53 = \left(\frac{L}{D}\right)_{\min} + 1$$

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\min} = 0,53$$

➤ Theoretical plates untuk operasi refluks ratio

(Menggunakan Grafik Gilliland, fig.5.18)

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{\min} = \frac{L}{L+D} = 0,78$$

$$\frac{L}{D} = 3 \left(\frac{L}{D}\right)_{\min} = 3 \cdot (0,53) = 1,619$$

$$\frac{L}{V} = 0,618$$

$$V_{\min} = (L+D)_{\min} = 1,35$$

$$L_{\min} = 0,35$$

$$V = L + D$$

$$= 2,619$$

$$L = 1,61$$

$$L_{\min} = F_L + L_{\min} = 1,35$$

$$\bar{V}_{\min} = V_{\min} - F_V = 0,35$$

$$L = F_L + L = 2,61$$

$$\bar{V} = V + F_V = 3,61$$

$$\left[\frac{L}{D} - \left(\frac{L}{D}\right)_{\min}\right] / \left(\frac{L}{D} + 1\right) = [1,619 - 0,53] / (1,619 + 1)$$

$$= 0,412$$

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0,278 \dots (\text{lihat pada fig.5.18})$$

➤ Over all (partial kondesor)

$$V_1 = L_o + D$$

$$V_i, Y_{i1} = L_o X_{i0} + D y_{iD}$$

$$\longrightarrow Y_{i1} \neq X_{i0} \neq Y_{iD}; K_{iD} = \frac{Y_{iD}}{X_{iD}} = \frac{0,93}{0,07} = 13,54$$

$$V_i, Y_{i1} = L_o X_{i0} + D X_{i0} K_{iD}$$

$$\frac{L_o}{V_i} = \frac{Y_{i1}}{X_{i0}} - \frac{D K_{iD}}{V_i}$$

$$\frac{L_o}{V_1} = \frac{Y_{12} - X_{10} K_{1D}}{X_{10} (1 - K_{1D})}$$

$$\frac{L_o}{D} = \frac{V_1}{D} \frac{Y_{12}}{X_{10}} - K_{1D}$$

$$\frac{L_o}{D} = \frac{X_{10} K_{1D} - Y_{11}}{Y_{12} - X_{10}}$$

$$\frac{L_o}{D} = \frac{0(13,54) - 0,07}{0,93 - 0} = 0,07$$

➤ Menentukan lokasi masuknya feed

$$\text{Log} \frac{N_e}{N_s} = 0,206 \log \left[\left(\frac{X_{Hf}}{X_{Lf}} \right) \left(\frac{W}{D} \right) \left(\frac{X_{LW}}{X_{HD}} \right)^2 \right]$$

$$\text{Log} \frac{N_e}{N_s} = 0,206 \log \left[\left(\frac{0,06}{0,75} \right) \left(\frac{62996,05}{2003,95} \right) \left(\frac{0}{0,29} \right)^2 \right]$$

$$\text{Log} \frac{N_e}{N_s} = 0,206 \log 1,05$$

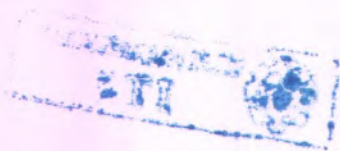
$$\frac{N_e}{N_s} = 0,358$$

$$N_e + N_s = N = 28,24$$

$$N_s = 29,07$$

$$N_e = 10,42$$

Jadi, feed masuk feed ke 10 urutan dari atas.

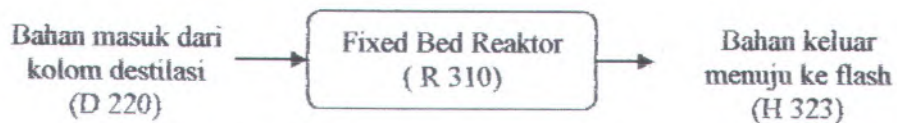


Neraca massa Kolom Destilasi (D 220)

	Masuk kg	Keluar Kg		Keluar (k mol)		BM
		Destilat	Bottom	Destilat	Bottom	
C4-	1885	1866,15	18,85	41,47	0,42	45
C5-385°C	13780	137,80	13642,20	2,00	197,71	69
385°C+	49335	0,00	49335,00	0,00	488,47	101
	65000	2003,95	62996,05	43,47	686,60	
		65.000		730,064		

6.FIXED BED REAKTOR (R 310)

Fungsi : untuk mereaksikan komponen paraffin menjadi isoparaffin dengan bantuan katalis $AlCl_3$ dalam keadaan jenuh Hidrogen



Reaksi yang terjadi :



Komposisi Bahan Masuk ke Fixed Bed Reaktor (R 310)

Komponen	BM	Xf	Komposisi	
			Kg	Kmol
C5-385°C	75,9	0,291	13642,200	179,739
385 °C I	21,2	0,498	49335,000	2327,123
Hidrogen	2	0,100	7557,264	3778,632
$AlCl_3$	133,33	0,045	41984,800	314,894
HCl	36,45	0,066	5038,176	138,222
			117557,440	6738,609



Neraca Massa Fixed Bed Reaktor (R 310)

	Xi	Masuk	Keluar	
		kg	kg	kg
C5-385°C	0,0291	13642,20		1364,2200
385 °C+	0,4983	49335,00		49335,0000
i-C5 385°C	0,2616			12277,9800
Hidrogen	0,0997	7557,26		7557,26
AlCl ₃	0,0449	41984,80	41984,80	
HCl	0,0664	5038,18		5038,18
	1,00	117557,440	41984,8	75572,640

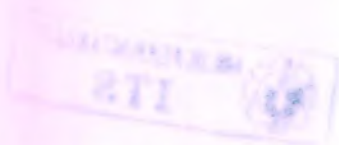
Perhitungan fixed Bed Reaktor :

- Volume H₂ = 880 sccm = 880 cm³ = 0,88 liter
- Space Velocity = 1,5 / jam

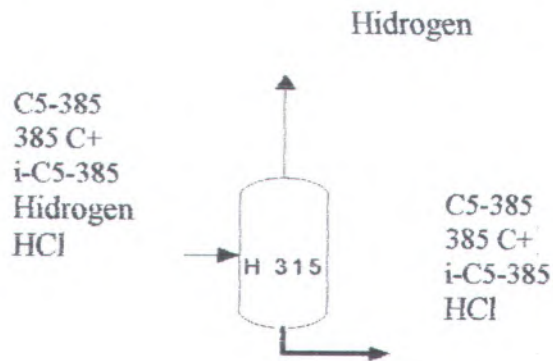
$$\text{SV} = \frac{S \left(\frac{\text{Kg Feed}}{\text{Jam}} \right)}{\text{Kg katalis}}$$

$$\text{Jumlah katalis} = \frac{62977,2}{1,5} = 41984,8$$

- HCl = 0,08
(komposisi HCl berdasarkan dengan jurnal Stephen J.Miller)
- Komposisi bahan yang dihasilkan i-C4 dan i-C5-385
(petroleum refining, pg 221)



7. FLASH (H 323)



$P_{\text{operasi}} = 500 \text{ psi} = 25,857 \text{ mmHg}$

(Dari jurnal Stephen J Miller, 2003)

Fungsi : untuk memisahkan hidrogen dengan komponen paraffin dan isoparaffin dan HCl

Komposisi Bahan Masuk ke Flash (H 323)

	BM	A	B	C
C5 - 385oC	69,00	15,8333	2477,07	-39,94
385 oC+	101,00	16,469	4680,46	-141,10
i- C5 - 385oC	69,00	15,8709	3341,62	-57,57
Hidrogen	2,00	13,6333	164,9	3,19
HCl	36,46	16,504	1714,25	-14,45

Neraca Massa Flash (H 323)

Komponen	Kmol	Xf	Kg	In Pi	Pi	Ki
C5 - 385oC	19,771	0,004	1364,220	9,597	14722,434	19,372
385 oC+	488,465	0,106	49335,000	0,659	1,932	0,002543
i- C5 - 385oC	177,942	0,039	12277,980	7,067	1173,133	1,543596
Hidrogen	3778,632	0,821	7557,264	13,259	573100,657	754,080
HCl	138,191	0,030	5038,176	12,449	254873,673	335,360
	4603,002	1,000	75572,640			

Komposisi bahan masuk

	Xi	Masuk	
		Kmol	kg
C5 - 385oC	0,0002	19,771	1364,220
385 oC+	0,972	488,465	49335,000
i- C5 - 385oC	0,026	177,942	12277,980
Hidrogen	0,001	46,051	92,103
HCl	0,0001	138,191	5038,176
	1	4603,002	68107,5

Neraca Massa Flash (H 323)

Komponen	Xi	Yi	Xi		Yi	
			Kmol	Kg	kmol	kg
C5-385°C	0,00	0,00	19,77	1364,22	0,00	0,00
385°C+	0,97	0,00	488,47	49335,00	0,00	0,00
i-C5-385°C	0,03	0,04	177,94	12277,98	0,00	0,00
Hidrogen	0,00	0,92	46,05	92,10	3732,58	7465,16
HCl	0,00	0,03	138,19	5038,18	0,00	0,00
			4603,00	68107,5		75572,64

Perhitungan :

Isothermal Flash :

$$F = V + I.$$

$$F Z_i = V Y_i + L X_i$$

$$Y_i = K_i \cdot X_i$$

$$F Z_i = V \cdot K_i X_i + L X_i$$

$$\rightarrow X_i = \frac{F Z_i}{V K_i + L}$$

$$X_i = \frac{Z_i}{1 + \theta(K_i - 1)}$$

$$\triangleright \text{ Trial } \theta = 0,8931$$

$$\Sigma X_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{1 + \theta(K_i - 1)}$$

$$a = \frac{0,004}{1 + 0,8931(19,372 - 1)} = 0,00025$$

$$b = \frac{0,106}{1 + 0,8931(0,002 - 1)} = 0,97$$

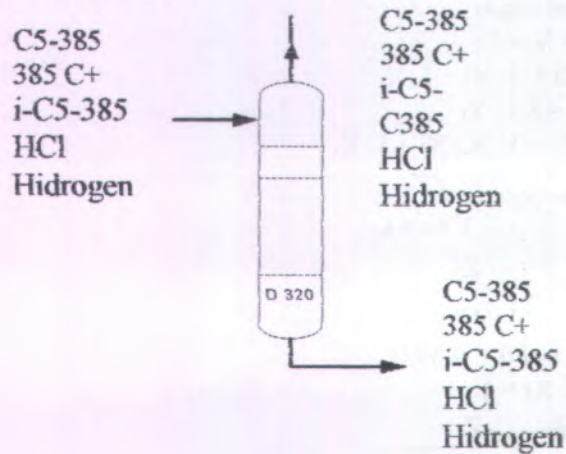
$$c = \frac{0,039}{1 + 0,8931(1,54 - 1)} = 0,03$$

$$d = \frac{0,821}{1 + 0,8931(754,08 - 1)} = 0,0012$$

$$e = \frac{0,03}{1 + 0,8931(335,36 - 1)} = 0,0001$$

$$\text{Check} = \Sigma X_i = 1$$

8. ACID STRIPPER (D 320)



Fungsi : untuk memisahkan gas hydrogen clorida dan sebagian kecil gas hydrogen dengan komponen 385°C dan 385°C + dan isomernya.

Komposisi komponen masuk Acid Stripper (D 320)

Komponen	% volume	TBP oC	ρ gr/cu cm	°API	ρ lb/cuft	(lb/100 cuft) /mixture
C5 - 385oC	0,025	210,525	0,798	45,38	49,825	498,25
385 oC+	97,240	385	0,888	27,49	55,438	554,38
i- C5 - 385oC	2,603	128,259	0,756		47,194	471,94
Hidrogen (V)	0,122	-252,600	0,090	0,06948	5,612	56,12
HCl	0,010	-85	1,232	22,12	7,69	76,9
	100					

Komponen	BM	(moles/100 cufts) /mixture	Fraksi Mol	Tekanan Parsial (Psia) 125oC	α LK/HK
C5-385°C	69	7,221	0,000	6,88	0,234
385°C+	101	5,489	0,972	3,75	0,128
i-C5-385°C	69	6,840	0,026	29,38	1,000
Hidrogen	2	28,060	0,001	45,00	1,532
HCl	36,45	2,110	0,000	40,00	1,362
		12,710			

Komponen Masuk pada Acid Stripper (D 320)

	Feed			
	Xf	mol	fraksi massa	massa
C5-385°C	0,0002	0,0170	0,0002	12,8673
385°C+	0,9724	98,2125	0,9818	74198,0974
i-C5-385°C	0,0260	1,7963	0,0180	1357,0729
Hidrogen	0,0012	0,0024	0,0000	1,8421
HCl	0,0001	0,0037	0,0000	2,7603
		100,0319		75572,64

Neraca Massa pada Acid Stripper (D 320)

Komponen	Masuk kg	Destilat			
		XD	mol	fraksi mol	massa
C5-385°C	12,86	0,000	0,00	0,00	0,00
385°C+	74198,09	0,000	0,00	0,00	0,00
i-C5-385°C	1357,07	0,749	0,19	0,166	13,57
Hidrogen	1,8		0,912	0,77	1,82
HCl	2,76	0,151	0,07497	0,06335	2,73270
	75572,64	1,000	1,184	1,00000	18,12714

Perhitungan neraca massa Acid Stripper (D 320)

➤ Perhitungan destribusi dan relative volatilitas

$$\alpha_{LK/HK} = \frac{40}{29,38} = 1,362 \quad \frac{(\text{moles LK})_D}{(\text{moles LK})_B} = \frac{0,07}{0,00076} = 99$$

$$\text{Log } \alpha = 0,134$$

$$\text{Log } 0,01 = 1,99$$

$$\alpha_{LK/HK} = \frac{29,83}{29,83} = 1 \quad \frac{(\text{moles HK})_D}{(\text{moles HK})_B} = \frac{0,196}{19,47} = 0,01$$

$$\text{Log } \alpha = 0$$

$$\text{Log } 99 = - 1,99$$

$$\alpha_{a/c} = \frac{6,88}{29,38} = 0,234 \quad \text{Log } \alpha = -0,63$$

$$\alpha_{b/c} = \frac{3,75}{29,38} = 0,128 \quad \text{Log } \alpha = -0,89$$

$$\alpha_{c/c} = \frac{29,38}{29,38} = 1 \quad \text{Log } \alpha = 0$$

$$\alpha_{d/c} = \frac{45}{29,38} = 1,532 \quad \text{Log } \alpha = 0,185$$

$$\alpha_{e/c} = \frac{40}{29,38} = 1,362 \quad \text{Log } \alpha = 0,134$$

Dimana log α pada tiap komponen antara log (X_D/X_B) adalah diplotkan hubungan dengan digambarkan dengan :

$$\log \alpha = m \log \frac{X_D}{X_B} + b \quad b = 2,46$$

$$m = \frac{0,134 - 0}{1,99 - (-1,99)} = 0,03$$

$$\log \alpha = 0,03 \log \frac{X_D}{X_B} + b$$

$$\log \frac{X_D}{X_B} = \frac{\log \alpha - B}{0,03}$$

$$\bullet \log \frac{X_{aD}}{X_{aB}} = \frac{-0,63 - (2,46)}{0,03} = -20,44$$

$$\bullet \log \frac{X_{bD}}{X_{bB}} = \frac{-0,89 - (2,46)}{0,03} = -28,27$$

$$\bullet \log \frac{X_{cD}}{X_{cB}} = \frac{0 - (2,46)}{0,03} = -1,66$$

$$\bullet \log \frac{X_{dD}}{X_{dB}} = \frac{0,185 - (2,46)}{0,03} = 3,84$$

$$\bullet \log \frac{X_{eD}}{X_{eB}} = \frac{0,134 - (2,46)}{0,03} = 2,32$$

➤ Metode minimum plates – Fenske's :

$$\begin{aligned} N_{\min} &= \log \frac{(X_{LK} / X_{HK})_D (X_{HK} / X_{LK})_B}{\log (\alpha_{LK/HK})_{av}} \\ &= \log \frac{(0,151 / 0,749) (0,01778 / 0,000004)}{\log (0,13)} \\ &= \log \frac{(3,99)}{0,11} = 29,76 \text{ plates} \end{aligned}$$

➤ Minimum reflux's – Metode Underwood's :
Untuk feed saturated liquid $q = 1,0$

$$\sum_a \frac{X_f}{(\alpha - \theta) / \alpha} = 0 \quad \alpha_{LK/HK} = 1,362$$

(Matthew Van Winkle, 1967. pg 346)

$$\text{Trial } \theta = 0,8475$$

$$a = \frac{0,0002}{(0,234 - 0,8475)/0,234} = -0,00009$$

$$b = \frac{0,97}{(0,128 - 0,8475)/0,128} = -0,172$$

$$c = \frac{0,026}{(1 - 0,8475)/1} = 0,17$$

$$d = \frac{0,0012}{(1,532 - 0,8475)/1,532} = 0,0027$$

$$e = \frac{0,0001}{(1,362 - 0,8475)/1,362} = 0,00026$$

$$\text{check} = 0,0011$$

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\min} + 1 = \sum_1^n \frac{X_D}{(\alpha - \theta)/\alpha}$$

(Matthew Van Winkle, 1967. pg 346)

$$a = \frac{0}{(0,234 - 0,8475)/0,234} = 0$$

$$b = \frac{0}{(0,128 - 0,8475)/0,128} = 0$$

$$c = \frac{0,749}{(1 - 0,8475)/1} = 4,9$$

$$d = \frac{0,1006}{(1,532 - 0,8475)/1,532} = 0,225$$

$$e = \frac{0,151}{(1,362 - 0,8475)/1,362} = 0,39$$

$$\sum \frac{n X_D}{1 (\alpha - \theta) / \alpha} = 5,53 = \left(\frac{L}{D} \right)_{\min} + 1$$

$$\left(\frac{L}{D} \right)_{\min} = 4,53$$

➤ Theoretical plates untuk operasi reflux ratio
(Menggunakan Grafik Brown-Martin, fig. 5.17)

$$\left(\frac{L}{V} \right)_{\min} = \frac{L}{L+D} = \frac{4,53}{4,53+1,00} = 0,819$$

$$\frac{L}{D} = 3 \left(\frac{L}{D} \right)_{\min} = 3 \cdot (4,53) = 13,6$$

$$\frac{L}{V} = \frac{13,6}{13,6+1,00} = 0,931$$

$$V_{\min} = (L + D)_{\min} = 2,15$$

$$L_{\min} = 0,96$$

$$V = L + D$$

$$= 17,27$$

$$L = 17,27 - 1,184 = 16,096$$

$$L_{\min} = F_L + L_{\min} = 755,27$$

$$\bar{V}_{\min} = V_{\min} - F_v = 0,97$$

$$L = F_L + L = 770,399$$

$$\bar{V} = V - F_v = 17,27 - 1,184 = 16,096$$

$$\left[\frac{L}{D} - \left(\frac{L}{D} \right)_{\min} \right] / \left(\frac{L}{D} + 1 \right) = [13,6 - 4,53] / (13,6 + 1)$$

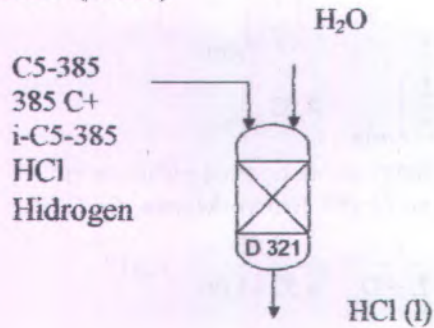
$$= 0,62$$

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0,18 \dots \dots \dots \text{fig. 5.17}$$

$$N = 36,52 \text{ theoretical plate}$$

(Matthew Van Winkle, 1967)

9. ABSORBER (D 326)



Fungsi : untuk menyerap gas HCl dari campuran gas-gas yang keluar dari Acid Stripper.

Komposisi masuk Absorber (D 326)

Komponen	Xf	Masuk		BM
		(kg)	kgmol	
C5-385°C	0	0	0	69
385°C+	0	0	0	101
i-C5-385°C	0,75	13,57	0,19	69
Hidrogen	0,1	1,82	0,9	2
HCl	0,15	2,73	0,075	36,45
		18,13	1,18	

Neraca Massa Absorber (D 326)

Komponen	BM	Masuk		Keluar	
		Kg	Kmol	Kg	Kmol
Dari Acid Stripper :					
C5-385°C	69	0,000	0	0,000	0
385°C+	101	0,000	0	0,000	0
i-C5-385°C					
Hidrogen	2	1,824	0,91	1,82	0,91
HCl	36,45	2,733	0,07		
Absorber :					
H ₂ O	18			2,73	0,15
		4,556	0,99	4,56	1,06

Data :

- Kandungan Gas : 0,59% HCl ; 0,41% H₂ ;
- T = 20°C = 293°K
- Aliran gas yang masuk :

$$= 0,01497 \times \left(\frac{273}{273+40} \right) \times (101325) \times \left(\frac{1}{22,41} \right)$$

$$= 295,65 \text{ kmol/h}$$

$$= 0,0821 \text{ kmol/s}$$

The Chemical Engineers' Handbook, pada 40°C

$$C_A = 36390 ; C_B = 29100 ; C_C = 33960 \text{ J/kmol.K}$$

$$\lambda_C = 44,24 \cdot 10^6 \text{ J/kmol}$$

Enthalpy base : gas HCl ;

H₂O liquid ;

$$\text{udara, } t_0 = 40^\circ\text{C}; \lambda_{AO} = 0; \lambda_{CO} = 44,24 \cdot 10^6 \text{ J/Kmol.}$$

Perhitungan :

- Gas Masuk :
 $G_B = 0,0821 \times 0,4 = 0,032871469 \text{ Kmol udara/m}^2 \cdot \text{s}$

$$y_A = 0,59; Y_A = \frac{0,59}{1 - 0,59} = 0,599746902 \text{ kmol HCl/kmol udara}$$

$$y_C = Y_C = 0; H'_G = 0$$

- Liquid masuk:

$$L = 3594,289 \text{ kmol/h}$$

$$= 0,99841 \text{ kmol/s}$$

$$X_A = 0; X_C = 1,0; H_L = 0$$

- Gas keluar :

$$Y_A = 0,032 (1 - 0,99) = 0,0003 \text{ kmol HCl/ kmol udara}$$

Asumsi gas yang keluar, $t_G = 43,9^\circ\text{C}$, dan asumsi $y_C = 0,0293$ (kondisi saturated)

$$Y_C = 0,67 \text{ kmol H}_2\text{O/ kmol udara}$$

$$y_C = \frac{Y_C}{Y_C + 0,007123 + 1} = \frac{0,66}{0,66 + 0,0003 + 1} = 0,4$$

$$H'_G = C_B(t_G - t_0) + Y_A[C_A(t_G - t_0) + \lambda_{AO}] + Y_C[C_C(t_G - t_0) + \lambda_{CO}]$$

$$H'_G = 113536,65 \text{ kJ/kmol udara}$$

- Liquid keluar :

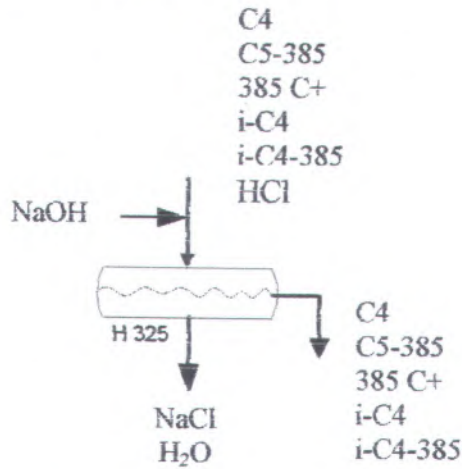
$$\text{Kandungan H}_2\text{O} = 0,998 - (0,667 \times 0,08) \\ = 0,94 \text{ kmol/ m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{Kandungan HCl} = 0,082 \times (0,599 - 0,0003) \\ = 0,049 \text{ kmol/ m}^2 \cdot \text{s}$$

$$L = 0,94 + 0,049 = 0,99$$

$$X_A = \frac{0,049}{0,99} = 0,049 \quad X_C = 0,950416397$$

10. DEKANTER (H 331)



Reaksi :



Fungsi : untuk memisahkan paraffin dan iso paraffin dengan sludge NaCl hasil *netralization*.

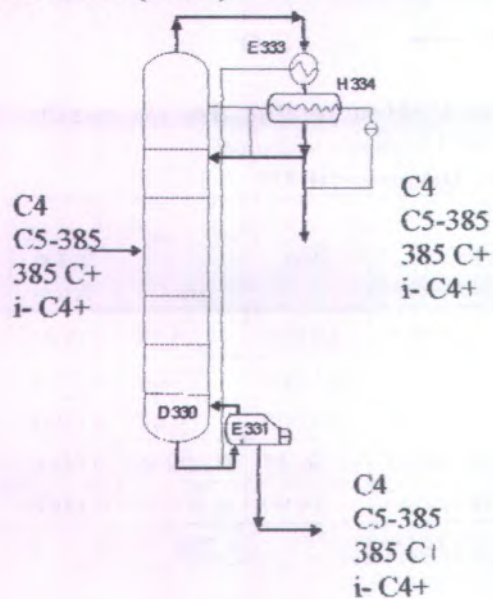
Komponen Masuk Dekanter (H 331)

Komponen	Xf	BM	masuk		massa (kg)
			mol	fraksi Mol	
C5-385°C	0,00017	69,000	0,18	0,0002	12,86731
385°C+	0,98205	101,000	734,6	0,9739	74198,097
i-C5-385°C	0,01778	69,000	19,47	0,0258	1343,502
HCl	0,00000037	36,45	0,00076	0,0000	0,028
NaOH	0,00000040	39,99	0,00076	0,0000	0,030
	1,0000		754,29	1	75554,525

Neraca Massa Dekanter (H 331)

Komponen	BM	Masuk		Keluar			
		Kg	mol	kg	mol	kg	mol
C5-385°C	69	12,86	0,18	12,87	0,00012		
385°C+	101	74198,09	734,64	74198,09	0,9		
i-C5-385°C	69	1343,5	19,5	1343,5	0,012		
HCl	36,45	0,03	0,00076				
NaOH	39,99	0,03	0,00076				
NaCl	58,44					0,044	0,0007
H ₂ O	18					0,01	0,0007
		75554,5	754,3	75554,5	1,004	0,05	0,002

11. DESTILASI II (D 330)



Fungsi : untuk memisahkan komponen parafin dengan komponen iso-parafin

Komposisi Bahan Masuk Destilasi D 330

Komponen	% volume	TBP	ρ gr/cu cm	$^{\circ}$ API	ρ lb/cuft	(lb/100 cuft) /mixture
i-C5-385°C	1,778	128,259	0,756	-	47,194	471,94
C5-385°C	0,017	210,525	0,798	45,38	49,825	498,25
385°C+	98,205	385	0,888	27,49	55,438	554,38

Komponen	mol weight	(moles/100 cufts) /mixture	Fraksi Mol	tekanan Parsial (Psia) 210°C	α LX/HX
i- C5-385°C	69	6,84	0,02	90,30	1,34375
C5-385°C	69	7,22	0,00	67,20	1
385°C+	101	5,49	0,98	52,50	0,78125
		19,55	1,00		

Komposisi Destilat dan Bottom

Komponen	Feed			
	Fraksi	moles	mol fr	massa
i- C5 - 385oC	0,018	1,22695	0,01	923,088
C5 - 385oC	0,00017	0,01175	0,0001	8,841
385 oC+	0,9	99,18683	0,98	74622,538
		100,426		75554,467

Destilat			
XD	mol	mol fr	massa
0,016	13,2443	0,0243	913,86
0,0001	0,0833	0,0002	5,7
0,98	531,9626	0,9756	53728,23
	545,2902		54647,83

Bottoms			
XB	mol	mol fr	massa
0,0004	0,1338	0,0006	9,2
0,0001	0,0448	0,0002	3,09
0,9994	206,8744	0,9991	20894,3
	207,0530		20906,6

Perhitungan neraca massa kolom destilasi (D 330)

➤ Perhitungan distribusi dan relative volatilitas

$$\alpha_{LK/HK} = \frac{90,3}{67,2} = 1,34 \quad \frac{(\text{moles LK})_D}{(\text{moles LK})_B} = \frac{13,24}{0,1338} = 99$$

$$\text{Log } \alpha = 0,128$$

$$\text{Log } 99 = 1,99$$

$$\alpha_{LK/HK} = \frac{67,2}{67,2} = 1$$

$$\frac{(\text{moles HK})_D}{(\text{moles HK})_B} = \frac{0,0833}{0,0448} = 1,85$$

$$\text{Log } \alpha = 0$$

$$\text{Log } 1,85 = 0,26$$

$$\alpha_{a/d} = \frac{90,3}{67,2} = 1,34$$

$$\text{Log } \alpha = 0,128$$

$$\alpha_{b/d} = \frac{67,2}{67,2} = 1$$

$$\text{Log } \alpha = 0$$

$$\alpha_{c/d} = \frac{52,5}{67,2} = 0,78$$

$$\text{Log } \alpha = -0,107$$

Dimana $\log \alpha$ pada tiap komponen antara $\log (X_D/X_B)$ adalah diplotkan hubungan dengan digambarkan dengan :

$$\log \alpha = m \log \frac{X_D}{X_B} + b \quad b = 0,011$$

$$m = \frac{0,128 - 0}{1,99 - (-0,26)} = 0,07$$

$$\log \alpha = 0,07 \log \frac{X_D}{X_B} + b$$

$$\log \frac{X_D}{X_B} = \frac{\log \alpha - b}{0,07}$$

$$\bullet \log \frac{X_{aD}}{X_{aB}} = \frac{0,128 - 0,011}{0,07} = 17,9344$$

$$\bullet \log \frac{X_{bD}}{X_{bB}} = \frac{0 - 0,011}{0,07} = 13,308$$

$$\bullet \log \frac{X_{cD}}{X_{cB}} = \frac{-0,107 - 0,011}{0,07} = 10,364$$

➤ Metode minimum plates – Fenske's :

$$\begin{aligned} N_{\min} &= \log \frac{(X_{LK} / X_{HK})_D (X_{HK} / X_{LK})_B}{\log (\alpha_{LK/HK})_{av}} \\ &= \log \frac{(0,0167 / 0,0001) (0,0001 / 0,0004)}{\log (0,128)} \\ &= 13,46 \text{ plates} \end{aligned}$$

➤ Minimum reflux's – Metode Underwood's :
Untuk feed saturated liquid $q = 1,0$

$$\sum_a^c \frac{X_f}{(\alpha - \theta) / \alpha} = 0 \quad \alpha \text{ LK/HK} = 1,34$$

(Matthew Van Winkle, 1967. pg 346)

Trial $\theta = 1,326$

$$a = \frac{0,018}{(1,34 - 1,326) / 1,34} = 1,468$$

$$b = \frac{0,00017}{(1 - 1,326) / 1} = -0,0254$$

$$c = \frac{0,982}{(0,78 - 1,326) / 0,78} = -1,406$$

check = 0,001

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\min} + 1 = \sum_1^n \frac{X_D}{(\alpha - \theta) / \alpha}$$

(Matthew Van Winkle, 1967. pg 346)

$$a = \frac{0,0243}{(1,34 - 1,326) / 1,34} = 1049,35$$

$$b = \frac{0,0002}{(1 - 1,326) / 1} = -0,254$$

$$c = \frac{0,9756}{(0,78 - 1,326) / 0,78} = -761,806$$

$$\sum_1^n \frac{X_D}{(\alpha - \theta) / \alpha} = 287,29 = \left(\frac{L}{D}\right)_{\min} + 1$$

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\min} = 286,29$$

- Theoretical plates untuk operasi reflux ratio
(Menggunakan Grafik Gilliland, fig.5.18)

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{\min} = \frac{L}{L+D} = \frac{286,29}{286,29+1,00} = 0,996$$

$$\frac{L}{D} - 3 \left(\frac{L}{D}\right)_{\min} = 3 \cdot (286,29) - 858,87$$

$$\frac{L}{V} = \frac{858,87}{8588,87 + 1,00} = 0,99$$

$$V_{\min} = (L + D)_{\min} = 1,99$$

$$L_{\min} = 0,99$$

$$V = L + D$$

$$= 859,87$$

$$L = 859,87 - 1 = 858,87$$

$$L_{\min} = F_L + L_{\min} = 208,05$$

$$\bar{V}_{\min} = V_{\min} - F_V = 0,99$$

$$L = F_L + L = 1065,93$$

$$\bar{V} = V + F_V = 858,87$$

$$\left[\frac{L}{D} - \left(\frac{L}{D}\right)_{\min} \right] / \left(\frac{L}{D} + 1 \right) = [858,87 - 286,29] / (858,87 + 1)$$

$$= 0,66$$

$$\frac{N - N_m}{N + 1} = 0,125 \dots \text{fig.5.18}$$

$$N = 15,53$$

- Over all (Total kondensor)

$$V_1 = L_o + D$$

$$V_i \cdot Y_{ij} = L_o X_{i0} + D_{yiD}$$

$$\longrightarrow Y_{i1} = X_{i0} = Y_{iD}$$

$$\frac{L_o}{V_1} = 1 - \frac{D}{V_1}$$

$$\frac{L_o}{D} = \frac{V_1}{D} - 1$$

$$\frac{L_o}{D} - \frac{13,2443}{545,29} - 1 = 0,97$$

➤ Menentukan lokasi masuknya feed

$$\text{Log} \frac{N_e}{N_s} = 0,206 \log \left[\left(\frac{X_{Hf}}{X_{Lr}} \right) \left(\frac{W}{D} \right) \left(\frac{XLW}{XHD} \right)^2 \right]$$

$$\text{Log} \frac{N_e}{N_s} = 0,206 \log \left[\left(\frac{0,00017}{0,018} \right) \left(\frac{20906,63}{54647,83} \right) \left(\frac{0,0004}{0,0001} \right)^2 \right]$$

$$\text{Log} \frac{N_e}{N_s} = 0,206 \cdot -1,48$$

$$\text{Log} \frac{N_e}{N_s} = -0,306$$

$$\frac{N_e}{N_s} = 0,736$$

$$N_e + N_s = N = 13,46$$

$$N_s = 8,944$$

$$N_e = 6,58$$

Jadi, feed masuk feed ke 6 urutan dari atas.

Neraca massa Kolom Destilasi D 330

Komponen	Masuk kg	Keluar Kg		Keluar (Kmol)		BM
		Destilat	Bottom	Destilat	Bottom	
i-C5-385°C	923,08	913,86	9,2	13,24	0,134	69
C5-385°C(HK)	8,8	5,76	3,09	0,08	0,045	69
385°C+	74622,54	53728,23	20894,3	531,9	206,87	101
		54647,83	20906,6	545,29	207,05	
	75554,47					

APPENDIKS B NERACA PANAS

Kapasitas Bahan baku : 65.000 kg/bulan botol plastik
 (PE dan PET)
 Kapasitas Produksi : 75.554 kg/hari ; 3.148 kg/jam
 Waktu operasi : 330 hari/tahun; 24 jam/hari
 Basis waktu : 1 hari
 Basis waktu : 1 hari
 Satuan massa : kkal
 Suhu reference : 25 °C
 Persamaan umum :

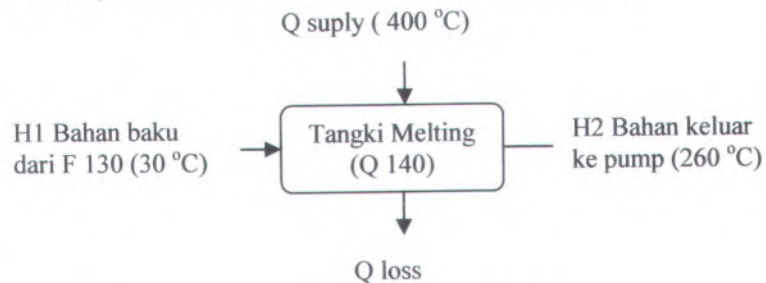
a. untuk H polimer menggunakan rumus

$$H = \int_{T^*}^T (C_p) dT$$

b. $H = m \times C_p \times \Delta T$

1. Tangki Melting (Q 140)

Fungsi alat ini untuk melelehkan dan mencampur dua jenis polimer (PE dan PET) sebelum masuk dalam pyrolizer.



Neraca panas : $H + Q \text{ suply} = H2 + Q \text{ loss}$

Keterangan :

H1 = enthalpy bahan baku masuk (F 130)
 H2 = enthalpy bahan keluar (Q 140)

Q suply = enthalpy steam masuk

Q loss = panas yang hilang

1.1 Perhitungan H1

H1.1 Enthalpy feed masuk dari Bin (F 130)

$$P = 10,6272 \text{ atm}$$

$$T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313,1\text{K}$$

$$H = m \times C_p \times \Delta T$$

Enthalpi bahan masuk dari Bin (F 130)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (Kkal/kmol. $^{\circ}$ K)	ΔT ($^{\circ}$ K)	H (kkal)
PE	28	2228,57	12,287	5	1662,572
PET	192,2	13,528	53,717	5	7268,601

(Data Cp : Polymer Process Engineering hal. 76)

$$H1 = 8931,1728 \text{ kkal}$$

1.2 Perhitungan H2

$$P = 10,6272 \text{ atm}$$

$$T = 260 \text{ }^{\circ}\text{C} = 533,15 \text{ K}$$

$$H = m \times C_p \times \Delta T$$

Enthalpy produk keluar

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (Kkal/kmol. $^{\circ}$ K)	ΔT ($^{\circ}$ K)	H (kkal)
PE	28	2228,57	18,55681	235	6175,821
PET	192,2	13,528	92,784	235	12351,641

(Data Cp : Polymer Process Engineering hal. 76)

$$H2 = 18527,462 \text{ kkal}$$

1.3 Perhitungan massa steam Dowtherm A (m)

Q loss = 5 % dari steam

$$\lambda (405^{\circ}\text{C}) = 201,7 \text{ kJ/kg} = 48,253 \text{ kkal/kg}$$

$$H1 + Q \text{ dowtherm A} = H2 + Q \text{ loss}$$

$$H1 + Q \text{ dowtherm A} = H2 + 5\% Q \text{ steam}$$

$$H1 + 95\% Q \text{ dowtherm} = H2$$

$$Q \text{ dowtherm A} = \frac{H2 - H1}{0,95}$$

$$Q \text{ dowtherm A} = \frac{18527,462 - 8931,1728}{0,95}$$

$$Q \text{ dowtherm A} = 10101,35667 \text{ kkal}$$

$$m \text{ dowtherm A} = \frac{Q \text{ steam}}{\lambda}$$

$$m \text{ dowtherm A} = \frac{10101,35667}{48,254}$$

$$m \text{ dowtherm A} = 209,3389731 \text{ kg/hari}$$

$$m \text{ dowtherm A} = 8,722457214 \text{ kg/jam}$$

1.4 Perhitungan Q loss

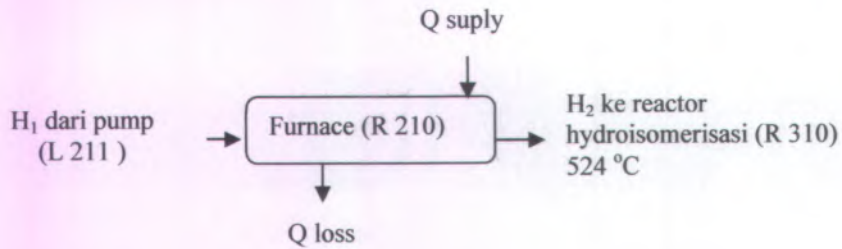
$$\begin{aligned} Q \text{ loss} &= 5\% Q \text{ dowtherm A} \\ &= 0,05 \times 10101,35667 \\ &= 505,0678 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Neraca panas tangki melting (Q 140) (kkal)

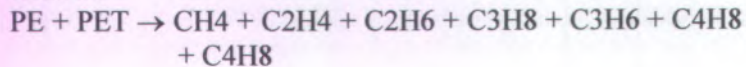
Masuk		Keluar	
<u>H1 (dari F 130) :</u>		<u>H2 (ke L 221):</u>	
PE	1662,572	PE	6175,821
PET	<u>7268,601</u>	PET	<u>12351,641</u>
	8931,173		18527,462
<u>Q doawtherm A</u>	10101,357	Q loss	505,068
	19032,529		19032,529

2. Reaktor Furnace (R 210)

Fungsi untuk memecah ikatan rantai panjang pada polyethylen (PE) dan polyethylene terephthalate (PET).



Reaksi :



Neraca panas : $H_1 + Q = H_2 + Q_{\text{loss}} + H_R$

Keterangan :

H_1 = entalpi masuk dari pump (L 211)

H_2 = entalpi produk ke reaktor hidroisomerisasi

Q = panas yang masuk

Q_{loss} = panas yang hilang

H_R = panas reaksi

2.1 Perhitungan H_1

H_1 = entalpi yang berasal dari tangki melting (Q_{140})

$$H_1 = 18527,462 \text{ Kkal}$$

2.2 Perhitungan H_2

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 524 \text{ }^\circ\text{C} = 797,15 \text{ K}$$

Entalpi produk keluar reaktor furnace (R 210)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (Kkal/kmol.°K)	Δ T (°K)	H (kkal)
C4-	45	4,189	39,318	499	82,185
C5 - 385°C	69	19,971	59,178	499	589,741
385 °C +	101	48,847	201,639	499	4914,834

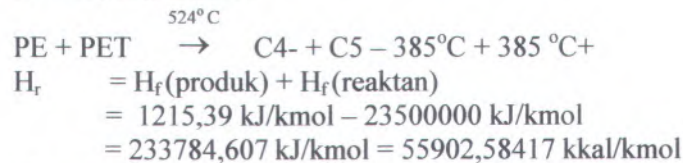
(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

H2 = 5586,759 kkal

2.3 Perhitungan Q

$$H1 + Q = H2 + Q_{\text{loss}} + \Delta H_R$$

Reaksi yang terjadi :



$$\begin{aligned}
 \Delta H_R &= H_r + H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}} \\
 &= 55902,58417 + 5586,759 - 18527,462 \\
 &= 42961,881 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= (H2 + \Delta H_R - H1)/0,95 \\
 &= (5586,759 + 42961,881 - 18527,462)/0,95 \text{ kkal} \\
 &= 31601,24084 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Neraca panas feed total (kkal)

Neraca Panas			
Masuk		Keluar	
H1 (dari L 211) :		H2 (ke R 310):	
PE	6175,821	C4	82,185
PET	12351,641	C5 - 385 °C	589,741
	18527,462	385 °C+	4914,834
			8931,173
Q	31601,241	ΔH _R	42961,881
		Q loss	1580,062
	50128,702		50128,702

2.5 Neraca panas ruang pembakaran

Persamaan neraca panasnya :

$$H_{\text{fuel}} + H_{\text{udara}} - (m_{\text{fuel}} - \Delta H_c) - H_2 - 0,05 (m_{\text{fuel}} - \Delta H_c) = 0$$

Keterangan :

H_{fuel} = entalpi fuel yang masuk

H_{udara} = entalpi udara yang digunakan untuk pembakaran

ΔH_c = panas pembakaran komponen fuel

H_2 = entalpi produk ke quencher tower

Bahan bakar yang digunakan adalah top produk dari destilasi (D220), dengan komposisi sebagai berikut :

Komposisi Bahan Bakar

Komposisi	% Komposisi	Kmol	Cp (kkal/kmol.K)	ΔT (K)	H (kkal/kmol K)
CH4	6,897	2,860	12,164	10	347,899
C2H4	17,241	7,150	20,622	10	1474,498
C2H6	13,793	5,720	16,170	10	924,920
C3H6	20,690	8,580	24,883	10	2134,926
C3H8	13,793	5,720	29,916	10	1711,175
C4H8	20,690	8,580	34,026	10	2919,437
C4H10	6,897	2,860	38,797	10	1109,595
Total	100	41,470			10622,450

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H_{\text{fuel}} = 10622,450 \text{ kkal}$$

Perhitungan massa fuel kali panas pembakaran

Komposisi	m_{fuel} (kmol)	$-\Delta H_c$	$m_{\text{fuel}}(-\Delta H_c)$
CH4	2,860	212,798	608602,280
C2H4	7,150	337,234	2411223,100
C2H6	5,720	372,820	2132530,400
C3H6	8,580	491,987	4221248,460
C3H8	5,720	530,605	3035060,600
C4H8	8,580	646,134	5543829,720
C4H10	2,860	687,982	1967628,520
Total	41,470		19920123,080

(Data Hc: Himmelblau "Basic Principle and Calculation in Chemical Engineering")

$$C_p \text{ udara (oksigen)} = 7,657908571 \text{ kkal/kmol} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T_{\text{udara}} = 575 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Massa udara yang dibutuhkan untuk pembakaran adalah :

$$H_{\text{fuel}} + H_{\text{udara}} + (m_{\text{fuel}}(-\Delta H_c)) - H_2 - 0,05(m_{\text{fuel}}(-\Delta H_c)) = 0$$

$$\begin{aligned} H_{\text{udara}} &= H_2 + 0,05(m_{\text{fuel}}(-\Delta H_c)) + (m_{\text{fuel}}(-\Delta H_c)) - H_{\text{fuel}} \\ &= 5586,759 + 0,05(19920123,080) + (19920123,080) \\ &\quad - 10622,450 \\ &= 20911093,543 \text{ kkal/kmol } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

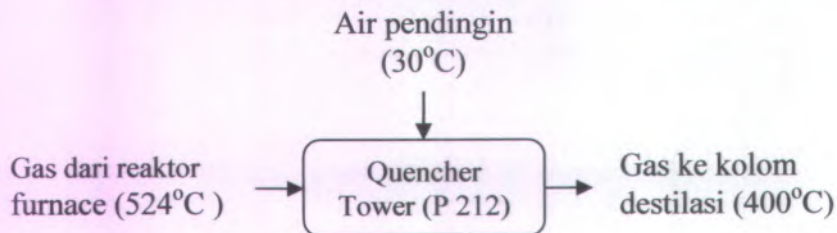
$$M_{\text{udara}} = 9929,648474 \text{ kmol}$$

Neraca panas ruang pembakaran (kkal)

Masuk		Keluar	
<u>H_{fuel}</u> (dari H 222):		<u>H₂</u> (ke udara):	
CH ₄	347,899	C ₄	82,185
C ₂ H ₄	1474,498	C ₅ - 385 °C	589,741
C ₂ H ₆	924,920	385 °C+	4914,834
C ₃ H ₆	2134,926		5586,759
C ₃ H ₈	1711,175	0,05 m _{fuel} (-ΔH _c)	996006,154
C ₄ H ₈	2919,437	m _{fuel} (-ΔH _c)	19920123,080
C ₄ H ₁₀	1109,595		
	10622,450		
<u>H_{udara}</u> :	20911093,543		
	20921715,993		20921715,993

3. Quencher Tower (P 212)

Fungsi untuk menurunkan temperature gas dari 524 °C menjadi 300 °C sebelum masuk dalam kolom destilasi (D220)



Asumsi :

- Energi Potensial diabaikan, $E_p = 0$
- Energi Kinetik diabaikan, $E_k = 0$
- Tidak ada kerja yang masuk dan keluar system, $W = 0$
- Tidak ada energi yang hilang

$$\begin{aligned} \text{Panas masuk} &= \text{Panas keluar} \\ H_1 + H_{air} &= H_2 + H_{vap} \end{aligned}$$



Aliran masuk =

- Aliran produk dari reaktor furnace (R 210)

$$T = 524 \text{ }^{\circ}\text{C} = 797,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= H_2 \text{ yang keluar dari reaktor furnace}$$

$$= 5586,759 \text{ kkal}$$

- Aliran air pendingin

Jumlah air pendingin yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu hingga $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ditrial

$$\text{Massa air pendingin} = 20074,928 \text{ kmol} = 1115,273778 \text{ kg/jam}$$

$$C_p \text{ air} = 7,993661728 \text{ kkal/kmol }^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T = (30 - 25)^{\circ}\text{C} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Maka diperoleh :

$$\text{Hair} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 20074,928 \times 7,993661728 \times 5$$

$$= 802360,9182 \text{ kkal}$$

- Aliran gas keluar ke kolom destilasi (D220)

$$T = 400 \text{ }^{\circ}\text{C} = 673,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Komponen	m (kmol)	Cp (kkal/kmolK)	T ($^{\circ}\text{K}$)	H (kkal)
C4 -	0,779	38,797	375	11338,14081
C5 - 385°C	3,715	115,942	375	161542,507
$385^{\circ}\text{C} +$	9,088	186,355	375	635066,5411
	13,582		H2	807947,1889

- ΔH vapour = 9717 kkal/kmol
= 0,484 kal



$$H1 + Hair - H2 - H_{vap} = 0$$

$$5586,759 + 802360,9182 - 807947,1889 - 0,484 = 0$$

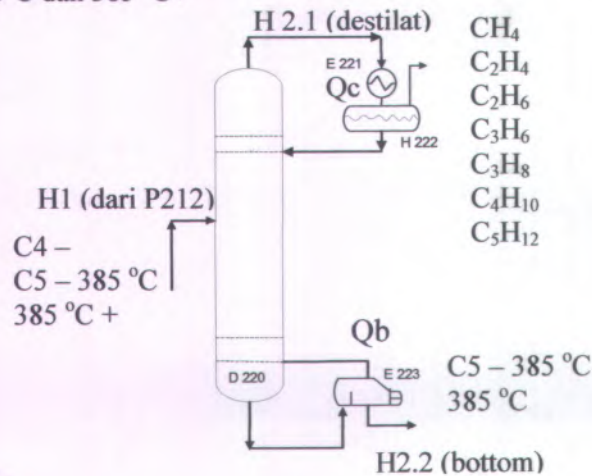
Dari hasil trial diperoleh jumlah air yang dibutuhkan untuk pendingin pada proses quenching sebesar = 1115,273778 kg/jam

Neraca Panas Quenching Tower (P 212) (kkal)

Neraca Panas			
Masuk		Keluar	
H1 (dari R 210):		H2 (ke D 220):	
C4	82,185	C4	11338,141
C5 - 385 °C	589,741	C5 - 385 °C	161542,507
385 °C+	4914,834	385 °C+	635066,541
	5586,759		807947,189
Hair	802360,9182	Hvap	0,484
	807947,677		807947,673

4. Kolom Destilasi I (D 220)

Fungsi untuk memisahkan komponen C4- dengan komponen C5 - 385°C dan 385 °C+



Neraca Panas : $H1 + Qb = H2 + Qc + Qloss$

Keterangan :

H1 : Entalpi masuk dari Quenching (P 212)

H2.1 : Entalpi destilat

H2.2 : Entalpi bottom

Qc : Entalpi kondensor

Qb : Entalpi reboiler

Qloss : Panas yang hilang = 5 % Qb

4.1 Perhitungan H1

H1 = Feed masuk dari Quencher Tower

$$H1 = 807947,189 \text{ kkal}$$

4.2 Perhitungan H2

1. H2.1 Entalpi Destilat

P produk = 0.1 atm

T produk = 250 °C = 323,15 °K

H = m x Cp x ΔT

Entalpi produk keluar sebagai destilat (H2.1)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C4 -	45	41,4700	22,029	175	159866,549
C5 - 385°C	69	78,8855	41,754	175	576406,366
385 °C +	101	2,4423	160,507	175	68602,052
				H2.1	804874,967

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H2.1 = 804874,967 \text{ kkal}$$

2. H2.2 Entalpi bottom

P produk = 0.1 atm

T produk = 350 °C = 623.15 °K

$$H = m \times C_p \times \Delta T$$

Entalpi produk keluar sebagai bottom (H2.2)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	121,0978	122,574	325	4824138,570
385 °C +	101	486,0230	197,494	325	31195649,538
				H2.2	36019788,108

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H_{2.2} = 36019788,108 \text{ kkal}$$

$$H_{\text{total}} = H_{2.1} + H_{2.2}$$

$$= 804874,697 + 36019788,108 \text{ kkal}$$

$$= 36824663,08 \text{ kkal}$$

Dari perhitungan neraca massa pada kolom destilasi 1 diperoleh rasio reflux L/D

$$L/D = 0,344537815$$

$$L = 0,344537815 \times D$$

Kondensor yang digunakan adalah kondensor parsial, maka sebagian aliran destilat dari kolom destilasi masih berupa vapor (uap) dan sebagian lainnya berupa liquid yang digunakan sebagai reflux total ke kolom destilasi.

$$D = V + L$$

$$V = D - L$$

$$V = D - (0,344537815 \times D)$$

Jadi jumlah mol yang terembunkan dan direflux = 1,344537815D

4.3 Perhitungan Qc

$$P_{\text{produk}} = 0,1 \text{ atm}$$

$$T_{\text{produk}} = 250 \text{ °C} = 523,15 \text{ °K}$$

$$Q_c = m \times C_p \times \Delta T \times m\lambda$$

Entalpi kondensor

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	λ (kkal/kmol)	T (°K)	H (kkal)
C4 -	45	41,4700	22,029	3057,5	175	286661,07
C5 - 385°C	69	78,8855	41,754	9950	175	1361317,16
385 °C +	101	2,4423	160,507	14180	175	103234,25
					Qc	1751212,482

(Data λ : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$Q_c = 1751212,482 \text{ kkal}$$

Persamaan neraca panas

$$H_1 + Q_b = H_2 + Q_c + Q_{\text{loss}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{reboiler}}$$

$$H_1 + Q_b = H_2 + Q_c + 0,05 Q_b$$

$$H_1 + 0,95 Q_b = H_2 + Q_c$$

$$Q_b = \frac{H_2 + Q_c - H_1}{0,95}$$

$$Q_b = 39755714,07 \text{ kkal}$$

4.4 Perhitungan Air Pendingin

$$Q_c = 1751212,482 \text{ kkal}$$

1. Perhitungan Entalpi air pendingin masuk

$$T_{\text{air}} = 30 \text{ °C} = 303,15 \text{ °K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal/kg °C} = 17,992 \text{ kkal / kmol °K}$$

$$\begin{aligned} \text{Hair pendingin masuk} &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \text{ air pendingin} \times 4,993 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Entalpi air pendingin keluar

$$T_{\text{air}} = 45 \text{ °C} = 318,15 \text{ °K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal / kg °C} = 17,996 \text{ kkal / kmol °K}$$

$$\begin{aligned} \text{Hair pendingin keluar} &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \text{ air pendingin} \times 19,974 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

3. Perhitungan masas air pendingin

$$Q_c = 1751212,482 \text{ kkal}$$

$$Q_c = H \text{ air pendingin keluar} - H \text{ air pendingin masuk}$$

$$1751212,482 = (m \text{ air pendingin} \times 19,974) - (m \text{ air pendingin} \times 4,993)$$

$$1751212,482 = 14,981 \times m \text{ air pendingin}$$

$$m \text{ air pendingin} = \frac{1751212,482}{14,981}$$

$$m \text{ air pendingin} = 116895,5665 \text{ kg/hari} \\ = 14083,8752 \text{ kg/jam}$$

4.5 Perhitungan Steam Reboiler

$$\lambda \text{ (steam dowtherm A)} = 48,283 \text{ kkal/kg}$$

$$Q_b = 39755714,07 \text{ kkal}$$

$$m \text{ dowtherm A} = \frac{Q_b}{\lambda}$$

$$m \text{ dowtherm A} = 823389,476 \text{ kg/hari} \\ = 34307,895 \text{ kg/jam}$$

4.6 Perhitungan Qloss reboiler

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_b$$

$$Q_{\text{loss}} = 0,05 \times 39755714,07 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 1982931,487 \text{ kkal}$$

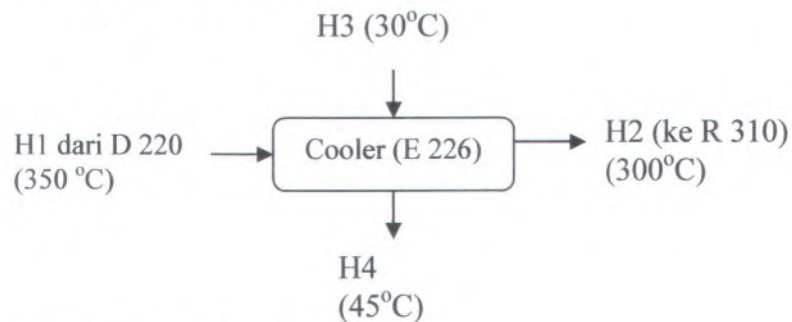
Neraca panas Kolom Destilasi (D 220) (kkal)

Neraca Panas	
Masuk	Keluar
<u>H1(dari P 212) :</u>	<u>H2 :</u>
C4 11338,141	H2.1 (ke E 221):
C5 - 385 °C 161542,507	C4 159866,549
385 °C+ <u>635066,541</u>	C5 - 385 °C 576406,366
807947,189	385 °C+ <u>68602,052</u>
	804874,967
<u>Qb :</u> 39755714,07	H2.2 (ke E 223):
	C5 - 385 °C 4824138,570
	385 °C+ <u>31195649,538</u>
	36019788,108

	<u>Qc :</u>	
	C4	286661,07
	C5 - 385 °C	1361317,16
	385 °C+	<u>103234,25</u>
		1751212,482
	<u>Qloss :</u>	1982931,487
4058807,045		4058807,045

5 Cooler I(E 226)

Fungsi untuk menurunkan tekanan suhu feed Reaktor dari 350°C menjadi 300°C



$$\text{Neraca Panas : } H1 + H3 = H2 + H4$$

Keterangan :

- H1 = Entalpi masuk dari kolom destilasi (D 220)
- H2 = Entalpi keluar menuju Reaktor Fixed Bed (R 330)
- H3 = Entalpi air pendingin masuk
- H4 = Entalpi air pendingin keluar

5.1 Perhitungan H1

H1 = entalpi produk keluar kolom destilasi (H2.2)

$$H1 = 36824663,075 \text{ kkal}$$

5.2 Perhitungan H2

H2 = Produk keluar menuju Reaktor (R 310)

$$\begin{aligned}
 P_{\text{produk}} &= 1 \text{ atm} \\
 T_{\text{produk}} &= 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 303,15 \text{ }^{\circ}\text{K} \\
 H &= m \times C_p \times \Delta T
 \end{aligned}$$

Entalpi produk keluar cooler

Komponen	BM	m (kmol)	C _p (kkal/kmol °K)	ΔT (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	121,0978	115,942	275	3861102,315
385 °C +	101	486,0230	186,355	275	24907525,56
				H2	28768627,88

(Data C_p : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H_2 = 28768627,88 \text{ kkal}$$

5.3 Perhitungan air pendingin

1. Perhitungan pans yang diserap air pendingin

$$H_1 + H_3 = H_2 + H_4$$

$$Q_c = H_4 - H_3$$

$$H_1 = H_2 + Q_c$$

$$Q_c = H_1 - H_2$$

$$Q_c = 36824663,075 - 28768627,88$$

$$= 8056035,2 \text{ kkal}$$

2. Perhitungan air pendingin masuk

$$T_{\text{air}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 303,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal/kg }^{\circ}\text{C} = 17,992 \text{ kkal/kmol }^{\circ}\text{K}$$

$$H_3 = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= m \text{ air pendingin} \times 4,993 \text{ kkal/kg}$$

3. Perhitungan air pendingin masuk

$$T_{\text{air}} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C} = 318,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal/kg }^{\circ}\text{C} = 17,996 \text{ kkal/kmol }^{\circ}\text{K}$$

$$H_4 = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= m \text{ air pendingin} \times 19,974 \text{ kkal/kg}$$

4. Perhitungan massa air pendingin

$$Q_c = H_4 - H_3$$

$$8056035,2 = m \text{ air pendingin } (19,974 - 4,993)$$

$$m \text{ air pendingin} = 537768,1119 \text{ kg/hari}$$

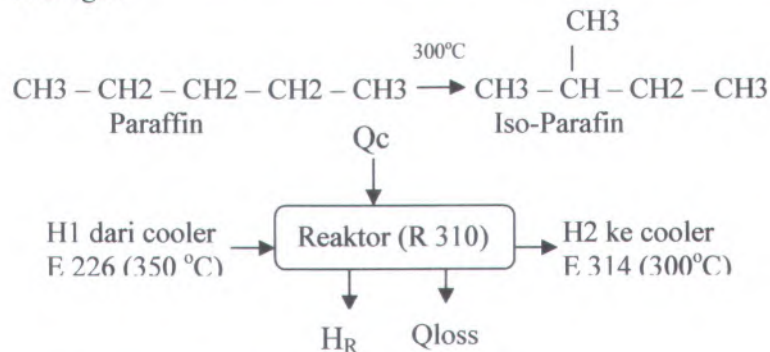
$$= 22407,00466 \text{ kg/jam}$$

Neraca Panas Cooler (E 226) (kkal)

Neraca Panas	
Masuk	Keluar
H1 (dari D 220):	H2 (ke R310):
H2 36019788,108	C5 - 385 °C 3861102,315
	385 °C+ 24907525,56
<u>Qb</u> : 39755714,07	287368627,88
	<u>Qc</u> : 8056035,2
36824663,08	36824663,08

6. Reaktor Fixed Bed (R 310)

Fungsi : untuk mereaksikan komponen paraffin menjadi isoparaffin dengan bantuan katalis $AlCl_3$ dalam keadaan jenuh Hidrogen



$$\text{Neraca panas : } H_1 + Q_c = H_2 + H_R + Q_{loss}$$

Keterangan :

H1 = Entalpi masuk dari cooler E 226

Qc = Entalpi yang masuk

H_R = Panas Reaksi

Q_{loss} = Panas yang hilang

6.1 Perhitungan H1

H1 = Entalpi dari cooler E 226

H1 = 28768627,88 kkal

6.2 Perhitungan H2

P = 1 atm

T = 300 °C = 573,15 °K

Entalpi produk keluar Reaktor

Komponen	m (kmol)	C _p (kkal/kmol °K)	ΔT (°K)	H (kkal)
B = C5-385°C	12,11	115,94	275	386110,23
C = 385 °C+	486,02	186,36	275	24907525,56
i- C5 - 385°C	108,99	49,48	275	1483010,62
Hidrogen	3446,64	6,90	275	6542152,57
HCl	126,05	6,96	275	241298,93
			H2	33560097,90

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

H2 = 33560097,90 kkal

6.3 Perhitungan panas reaksi (H_R)

P = 1 atm

T = 300 °C = 573,15 °K

Data ΔH_f , C_p , dan massa komponen

Komponen	m (kmol)	C_p (kkal/kmol °K)	ΔH_f (kkal/gmol)
B = C5-385°C	121,0978	115,9424	-35
C = 385 °C+	486,0230	186,3550	-71,965
i- C5 - 385°C	108,9880	49,4803	-55,44
Hidrogen	3446,6445	6,9023	0
AlCl3	287,2276	21,7382	-166,2
HCl	126,0775	6,9611	-22,063
	4576,0585		

(Data ΔH_f : Hougen, "Chemical Process Principles")

$$\Delta H_R = \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_R = (-55,44) - (-35 - 71,965 - 166,2 - 22,063)$$

$$= 1097283910 \text{ kkal}$$

6.4 Perhitungan massa steam (m)

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{steam}}$$

$$\lambda \text{ (saturated steam)} = 247,055 \text{ kkal/kg}$$

$$H_1 + Q_{\text{steam}} = H_2 + H_R + Q_{\text{loss}}$$

$$H_1 + 0,95 Q_{\text{steam}} = H_2 + H_R$$

$$Q_{\text{steam}} = \frac{H_2 + H_R + H_1}{0,95}$$

$$Q_{\text{steam}} = 1160079347 \text{ kkal}$$

$$m \text{ steam} = \frac{Q_{\text{steam}}}{\lambda}$$

$$m \text{ steam} = 4695628,342 \text{ kg/hari}$$

$$m \text{ steam} = 195651,1809 \text{ kg/jam}$$

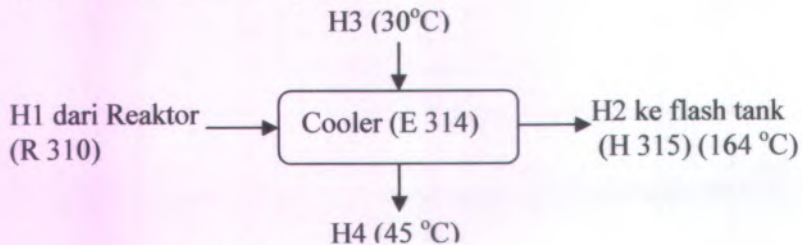
6.4 Perhitungan Qloss

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 5\% Q_{\text{steam}} \\
 &= 0,05 \times 1160079347 \text{ kkal} \\
 &= 58003967,36 \text{ kkal} \\
 \text{Neraca Panas Reaktor (R 310) (kkal)}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas	
Masuk	Keluar
H1 (dari R 310):	H2 (ke R 310):
C5 - 385 °C 3861102,315	C5 - 385 °C 386110,23
385 °C+ 24907525,56	385 °C+ 24907525,56
287368627,88	i-C5 - 385 °C 1483010,62
	Hidrogen 6542152,57
Qsteam : 1160079347	HCl 241298,93
	33560097,90
	Qloss : 58003967,36
	H _R 1097283910
1188847975	1188847975

7. Cooler II (E 314)

Fungsi : untuk menurunkan suhu feed sebelum ke flash tank (H315) dari 300 °C menjadi 164 °C.



$$\text{Neraca Panas : } H1 + H3 = H2 + H4$$

Keterangan :

H1 = Entalpi masuk dari reaktor fixed bed (R 310)

H2 = Entalpi keluar menuju flash tank (H 315)

H3 = Entalpi air pendingin masuk

H4 = Entalpi air pendingin keluar

7.1 Perhitungan H1

H1 = entalpi produk keluar reaktor fixed bed (H2)

H1 = 33560097,9036 kkal

7.2 Perhitungan H2

H2 = Produk keluar menuju flash tank (H 315)

Pproduk = 1 atm

T produk = 164 °C = 237,15°K

$H = m \times C_p \times \Delta T$

Entalpi produk keluar cooler

Komponen	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	ΔT (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	12,1098	39,299	139	66150,769
385 °C +	486,0230	151,220	139	10216028,311
i- C5 - 385°C	108,9880	95,2598	139	1443123,114
Hidrogen	3446,6445	6,9736	139	3340928,680
HCl	126,0499	6,9740	139	122191,689
			H2	10282179,08

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

H2 = 10282179,08 kkal

7.3 Perhitungan air pendingin

1. Perhitungan panas yang diserap air pendingin

$H1 + H3 = H2 + H4$

$Q_c = H4 - H3$

$H1 = H2 + Q_c$

$Q_c = H1 - H2$

$Q_c = 33560097,9 - 10282179,08$

= 23277918,8 kkal



2. Perhitungan air paendingin masuk

$$\begin{aligned} T_{air} &= 30\text{ }^{\circ}\text{C} &&= 303,15\text{ }^{\circ}\text{K} \\ C_p \text{ air} &= 0,9987\text{ kkal/kg }^{\circ}\text{C} &&= 17,992\text{ kkal/kmol }^{\circ}\text{K} \\ H_3 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \text{ air pendingin} \times 4,993\text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

3. Perhitungan air pendingin masuk

$$\begin{aligned} T_{air} &= 45\text{ }^{\circ}\text{C} &&= 318,15\text{ }^{\circ}\text{K} \\ C_p \text{ air} &= 0,9987\text{ kkal/kg }^{\circ}\text{C} &&= 17,996\text{ kkal/kmol }^{\circ}\text{K} \\ H_4 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \text{ air pendingin} \times 19,974\text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

4. Perhitungan massa air pendingin

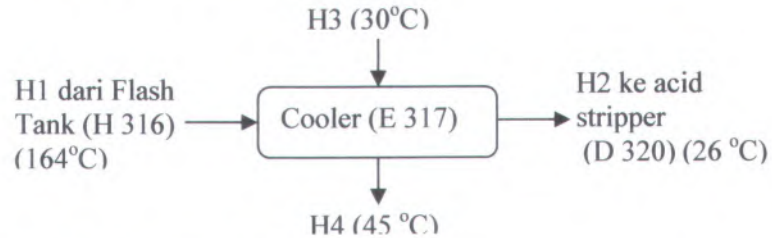
$$\begin{aligned} Q_c &= H_4 - H_3 \\ 23277918,8 &= m \text{ air pendingin} (19,974 - 4,993) \\ m \text{ air pendingin} &= 1553881,301\text{ kg/hari} \\ &= 64745,05419\text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Neraca Panas Cooler (E 314) (kkal)

Neraca Panas	
Masuk	Keluar
<u>H1 (dari R 310):</u>	<u>H2 (ke H 315):</u>
C5 - 385 °C 386110,23	C5 - 385 °C 66150,769
385 °C+ 24907525,56	385 °C+ 10216028,311
i-C5 - 385 °C 1483010,62	i-C5 - 385 °C 1443123,114
Hidrogen 6542152,57	Hidrogen 3340928,680
HCl 241298,93	HCl 122191,689
33560097,90	10282179,08
	<u>Qc :</u> 23277918,82
33560097,90	33560097,90

8. Cooler III (E 317)

Fungsi : untuk menurunkan suhu feed setelah ke flash tank (H316) dari 164 °C menjadi 26 °C.



Neraca Panas : $H1 + H3 = H2 + H4$

Keterangan :

H1 = Entalpi masuk dari Flash Tank (H 316)

H2 = Entalpi keluar menuju acid stripper (D 320)

H3 = Entalpi air pendingin masuk

H4 = Entalpi air pendingin keluar

8.1 Perhitungan H1

H1 = entalpi produk keluar flash tank (H2)

Pproduk = 1 atm

T produk = 164 °C = 337,15 °K

$H = m \times C_p \times \Delta T$

Entalpi produk keluar cooler

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	ΔT (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	12,1098	95,260	139	160347,013
385 °C +	101	486,0230	151,478	139	10233458,7
i- C5 - 385°C	69,00	108,9880	69,666	139	1055390,7
Hidrogen	2,00	42,5555	6,974	139	41250,2201
HCl	36,46	126,0499	6,974	139	122191,69
				H1	11612638,35

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H1 = 11612638,35 \text{ kkal}$$

8.2 Perhitungan H2

H2 = Produk keluar menuju acid stripper (D 320)

Pproduk = 1 atm

T produk = 26 °C = 299,15 °K

$$H = m \times C_p \times \Delta T$$

Entalpi produk keluar cooler

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	ΔT (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	18,5884	69,874	1	1298,85
385 °C +	101	747,7277	108,464	1	81101,71
i- C5 - 385°C	69,00	167,2957	48,8041	1	8164,71
Hidrogen	2,00	66,2307	6,8994	1	456,95
HCl	36,46	196,4046	6,9619	1	1367,3
				H2	92389,56

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H2 = 92389,56 \text{ kkal}$$

8.3 Perhitungan air pendingin

1. Perhitungan pans yang diserap air pendingin

$$H1 + H3 = H2 + H4$$

$$Qc = H4 - H3$$

$$H1 = H2 + Qc$$

$$Qc = H1 - H2$$

$$Qc = 11612638,35 - 92389,56$$

$$= 11520248,7802 \text{ kkal}$$

2. Perhitungan air paendingin masuk

$$T_{\text{air}} = 30 \text{ °C} = 303,15 \text{ °K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal/kg °C} = 17,992 \text{ kkal/kmol °K}$$

$$H = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= m \text{ air pendingin} \times 4,993 \text{ kkal/kg}$$

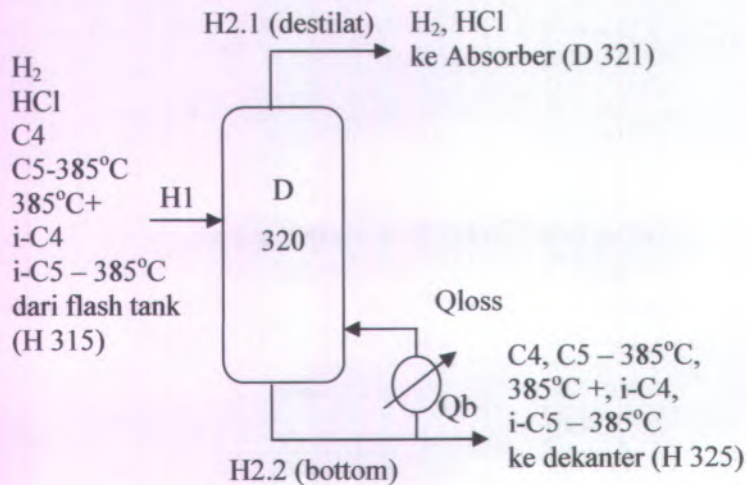
3. Perhitungan air pendingin masuk
 $T_{air} = 45\text{ }^{\circ}\text{C} = 318,15\text{ }^{\circ}\text{K}$
 $C_p \text{ air} = 0,9987\text{ kkal/kg }^{\circ}\text{C} = 17,996\text{ kkal/kmol }^{\circ}\text{K}$
 $H_4 = m \times C_p \times \Delta T$
 $= m \text{ air pendingin} \times 19,974\text{ kkal/kg}$
4. Perhitungan massa air pendingin
 $Q_c = H_4 - H_3$
 $11520248,7802 = m \text{ air pendingin} (19,974 - 4,993)$
 $m \text{ air pendingin} = 769016,3065\text{ kg/hari}$
 $= 32042,34611\text{ kg/jam}$

Neraca Panas Cooler (E 317) (kkal)

Neraca Panas			
Masuk		Keluar	
<u>H1 (dari H 315):</u>		<u>H2 (ke D 320):</u>	
C5 - 385 °C	160347,013	C5 - 385 °C	1298,85
385 °C+	10233458,7	385 °C+	8110,71
i-C5 - 385 °C	1055390,7	i-C5 - 385 °C	8164,71
Hidrogen	41250,22	Hidrogen	456,95
HCl	<u>12219,69</u>	HCl	<u>1367,3</u>
	11612638,35		92389,56
		<u>Qc :</u>	11520248,78
	11612638,35		11612638,35

9. Acid Stripper (D 320)

Fungsi untuk memisahkan gas hydrogen clorida dan sebagian kecil gas hydrogen dengan komponen C4,C4-385°C dan 385°C +dan isomernya.



Neraca panas :

$$H1 + Qb = H2 + Q_{loss}$$

Keterangan :

H1 = Entalphi masuk dari flash tank (H 315)

H2.1 = Entalpi destilat

H2.2 = Entalpi bottom

Qb = Entalpi reboiler (E)

Qloss = Entalpi yang hilang = 5% Qb

9.1 Perhitungan H1

$$\begin{aligned} H1 &= \text{Entalpi yang keluar (H2) dari cooler (E 314)} \\ &= 92389,5665 \text{ kkal} \end{aligned}$$

9.2 Perhitungan H2

1. H2.1 Entalpi destilat

$$P \text{ produk} = 1 \text{ atm}$$

$$T \text{ produk} = 26 \text{ }^\circ\text{C} = 299,15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H = m \times C_p \times \Delta T$$

Entalpi produk keluar sebagai destilat (H2.1)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	0,00	69,874	1	0,00
385 °C +	101	0,00	108,464	1	0,00
i- C5 - 385°C	69,00	196,68	48,8041	1	9598,65
Hidrogen	2,00	911,86	6,8994	1	6291,25
HCl	36,46	74,98	6,9619	1	521,94
				H2.1	16411,843

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H2.1 = 16411,843 \text{ kkal}$$

2. H2.2 Entalpi bottom

$$P \text{ produk} = 1 \text{ atm}$$

$$T \text{ produk} = 30 \text{ °C} = 303,15 \text{ °K}$$

$$H = m \times Cp \times \Delta T$$

Entalpi produk keluar sebagai bottom (H2.2)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	186,48	104,266	195	3791527,57
385 °C +	101	734634,63	166,687	195	23878591168,70
i-C5 - 385 °C	69,00	19471,05	76,794	195	291576592,84
Hidrogen	2,00	9,21	6,9923	195	12558,71
HCl	36,46	0,76	6,9989	195	1033,53
				H2.2	24173972881,35

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H2.2 = 24173972881,25 \text{ kkal}$$

$$H \text{ total} = H2.1 + H2.2$$

$$= 16411,843 + 24173972881,25$$

$$= 324380686,1 \text{ kkal}$$

9.3. Perhitungan Steam Reboiler

$$\lambda \text{ (saturated steam)} = 247,055 \text{ kkal/kg}$$

$$Q_b = 25446207267 \text{ kkal}$$

$$m \text{ steam} = \frac{Q_b}{\lambda}$$

$$m \text{ steam} = 10299814,72 \text{ kg/hari} = 429158,9467 \text{ kg/jam}$$

9.4. Perhitungan Qloss reboiler

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_b$$

$$Q_{\text{loss}} = 0,05 \times 25446207267 \text{ kkal}$$

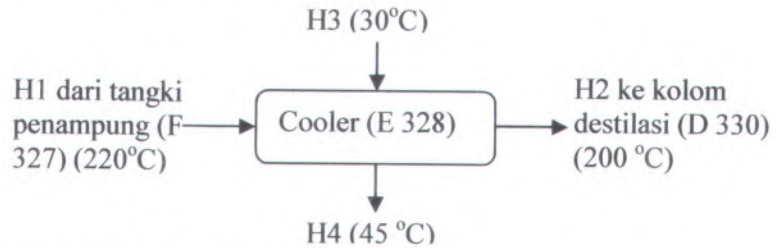
$$Q_{\text{loss}} = 1272310363 \text{ kkal}$$

Neraca panas Acid Stripper (D 320) (kkal)

Neraca Panas	
Masuk	Keluar
<u>H1(dari H 315) :</u>	<u>H2 :</u>
C5 - 385 °C 1298,85	H2.1 (ke D 321):
385 °C+ 8110,71	C5 - 385 °C 0,00
i-C5 - 385 °C 8164,71	385 °C+ 0,00
Hidrogen 456,95	i-C5 - 385 °C 9597,65
HCl 1367,3	Hidrogen 6291,25
92389,56	HCl 521,94
	16411,843
<u>Qb :</u> 25446207266,9	H2.2 (ke E 322)
	C5 - 385 °C 3791527,57
	385 °C+ 23878591168,70
	i-C5 - 385 °C 291576592,84
	Hidrogen 12558,71
	HCl 1033,53
	24173972881,35
	<u>Qloss :</u> 1272310363,3
25446399656,5	25446399656,5

10. Cooler IV (E 328)

Fungsi : untuk menurunkan suhu feed destilasi (D 330) dari 220 °C menjadi 200 °C.



$$\text{Neraca Panas : } H1 + H3 = H2 + H4$$

Keterangan :

H1 = Entalpi masuk dari tangki penampung (F 327)

H2 = Entalpi keluar menuju kolom destilasi akhir (D 330)

H3 = Entalpi air pendingin masuk

H4 = Entalpi air pendingin keluar

10.1 Perhitungan H1

H1 = entalpi produk masuk ke cooler (E 327)

Pproduk = 1 atm

Tproduk = 200oC

H = m x Cp x ΔT

Entalpi produk masuk ke cooler IV (E 327)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	0,12	104,266	195	2389,20
385 °C +	101	991,87	166,687	195	32239698,34
i-C5 - 385 °C	69,00	12,27	76,794	195	183734,35
				H1	32425821,89

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H1 = 32425821,89 \text{ kkal}$$

10.2 Perhitungan H2

H2 = Produk keluar menuju kolom destilasi (D 330)

P_{produk} = 1 atm

T_{produk} = 200 °C = 473,15 °K

$H = m \times C_p \times \Delta T$

Entalpi produk keluar cooler

Komponen	BM	m (kmol)	C _p (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	0,12	101,13	175	2079,68
385 °C +	101	991,87	161,40	175	28014686,87
i-C5 - 385 °C	69,00	12,27	74,33	175	159598,85
				H2	28176365,40

(Data C_p : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

H2 = 28176365,40 kkal

10.3 Perhitungan air pendingin

1. Perhitungan pans yang diserap air pendingin

$$H1 + H3 = H2 + H4$$

$$Q_c = H4 - H3$$

$$H1 = H2 + Q_c$$

$$Q_c = H1 - H2$$

$$Q_c = 32425821,89 - 28176365,40$$

$$= 4249456,4928 \text{ kkal}$$

2. Perhitungan air paendingin masuk

$$T_{\text{air}} = 30 \text{ °C} = 303,15 \text{ °K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal/kg °C} = 17,992 \text{ kkal/kmol °K}$$

$$H3 = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= m \text{ air pendingin} \times 4,993 \text{ kkal/kg}$$

3. Pergitungan air pendingin masuk

$$T_{\text{air}} = 45 \text{ °C} = 318,15 \text{ °K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal/kg °C} = 17,996 \text{ kkal/kmol °K}$$

$$H4 = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= m \text{ air pendingin} \times 19,974 \text{ kkal/kg}$$

4. Perhitungan massa air pendingin

$$Q_c = H_4 - H_3$$

$$4249456,4928 = m \text{ air pendingin} (19,974 - 4,993)$$

$$m \text{ air pendingin} = 283665,8651 \text{ kg/hari}$$

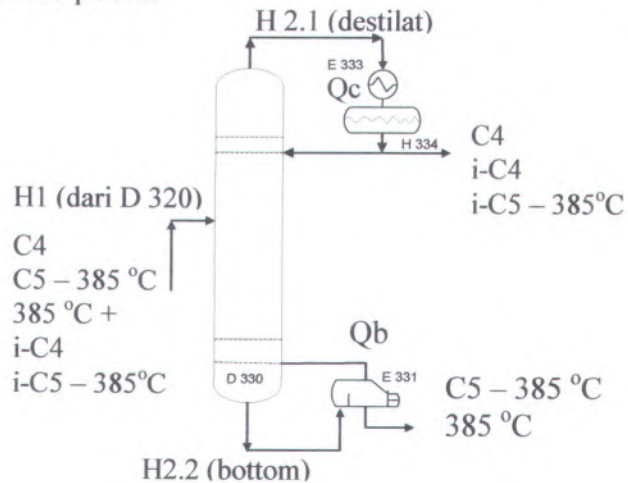
$$m \text{ air pendingin} = 11819,41105 \text{ kg/jam}$$

Neraca Panas Cooler (E 328) (kkal)

Neraca Panas	
Masuk	Keluar
<u>H1 (dari F 328):</u>	<u>H2 (ke D 330):</u>
C5 - 385 °C 2389,20	C5 - 385 °C 2079,68
385 °C+ 32239698,34	385 °C+ 28014686,87
i-C5 - 385 °C <u>183734,35</u>	i-C5 - 385 °C <u>159598,85</u>
32425821,89	28176365,40
	<u>Qc :</u> 4249456,4928
32425821,89	32425821,89

11. Kolom Destilasi (D 330)

Fungsi untuk memisahkan komponen parafin dengan komponen iso-parafin



Neraca Panas : $H1 + Qb = H2 + Qc + Qloss$

Keterangan :

H1 : Entalpi masuk dari Acid Stripper (D 320)

H2.1 : Entalpi destilat

H2.2 : Entalpi bottom

Qc : Entalpi kondensor

Qb : Entalpi reboiler

Qloss : Panas yang hilang = 5 % Qb

11.1 Perhitungan H1

H1 = Feed masuk dari Cooler (E 327)

H1 = 28176365,40 kkal

11.2 Perhitungan H2

1. H2.1 Entalpi Destilat

P produk = 1 atm

T produk = 150 °C = 313,15 °K

H = m x Cp x ΔT

Entalpi produk keluar sebagai destilat (H2.1)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	0,149	92,896	125	1732,349
385 °C +	101	860,268	147,481	125	15859179,850
i-C5 - 385 °C	69	10,642	67,770	125	90147,337
				H2	15951059,535

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

H2.1 = 15941059,535 kkal

2. H2.2 Entalpi bottom

P produk = 1 atm

T produk = 300 °C = 623.15 °K

H = m x Cp x ΔT

Entalpi produk keluar sebagai destilat (H2.2)

Komponen	BM	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	69	0,037	115,94	275	1189,17
385 °C +	101	215,067	186,36	275	11021670,39
i-C5 - 385 °C	69	2,660	85,80	275	62774,23
				H2	11085633,79

(Data Cp : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$H2.2 = 11085633,79 \text{ kkal}$$

$$H \text{ total} = H2.1 + H2.2$$

$$= 15941059,535 + 11085633,79$$

$$= 27036693,330 \text{ kkal}$$

Dari perhitungan neraca massa pada kolom destilasi 2 diperoleh rasio reflux L/D

$$L/D = 0,333$$

$$L = 0,333 \times D$$

Kondensor yang digunakan adalah kondensor total, maka semua aliran destilat dari kolom destilasi tekondensasi menjadi liquid yang digunakan sebagai reflux total ke kolom destilasi.

$$D = V + L$$

$$V = D - L$$

$$V = D - (0,333 \times D)$$

Jadi jumlah mol yang terembunkan dan direflux = 1,333D

11.3 Perhitungan Qc

$$P \text{ produk} = 1 \text{ atm}$$

$$T \text{ produk} = 150 \text{ °C} = 423,15 \text{ °K}$$

$$Qc = m \times Cp \times \Delta T \times m\lambda$$

Entalpi kondensor

Komponen	m (kmol)	Cp (kkal/kmol °K)	λ (kkal/kmol)	T (°K)	H (kkal)
C5 - 385°C	14,82	92,896	9950,00	125	319556,74
385 °C +	0,0003	147,481	14180,00	125	10,21
i-C5 - 385 °C	1230,23	67,770	5900,00	125	17679901,63
				Qc	17999468,58

(Data λ : Reid, "Sifat Gas dan Zat Cair")

$$Q_c = 17999468,58 \text{ kkal}$$

Persamaan neraca panas

$$H_1 + Q_b = H_2 + Q_c + Q_{\text{loss}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{reboiler}}$$

$$H_1 + Q_b = H_2 + Q_c + 0,05 Q_b$$

$$H_1 + 0,95 Q_b = H_2 + Q_c$$

$$Q_b = \frac{H_2 + Q_c - H_1}{0,95}$$

$$Q_b = 3517535,209 \text{ kkal}$$

11.4 Perhitungan Air Pendingin

$$Q_c = 17999468,58 \text{ kkal}$$

1. Perhitungan Entalpi air pendingin masuk

$$T_{\text{air}} = 30 \text{ °C} = 303,15 \text{ °K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal/kg °C} = 17,992 \text{ kkal / kmol °K}$$

$$\begin{aligned} \text{Hair pendingin masuk} &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \text{ air pendingin} \times 4,993 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Entalpi air pendingin keluar

$$T_{\text{air}} = 45 \text{ °C} = 318,15 \text{ °K}$$

$$C_p \text{ air} = 0,9987 \text{ kkal / kg °C} = 17,996 \text{ kkal / kmol °K}$$

$$\begin{aligned} \text{Hair pendingin keluar} &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= m \text{ air pendingin} \times 19,974 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

3. Perhitungan masas air pendingin

$$Q_c = 17999468,58 \text{ kkal}$$

$$Q_c = H \text{ air pendingin keluar} - H \text{ air pendingin masuk}$$

$$17999468,58 = (m \text{ air pendingin} \times 19,974) - (m \text{ air pendingin} \times 4,993)$$

$$17999468,58 = 14,981 \cdot \frac{17999468,58}{14,981}$$

$$m \text{ air pendingin} = 14,981$$

$$m \text{ air pendingin} = 21331,48321 \text{ kg/hari}$$

$$= 888,8118 \text{ kg/jam}$$

11.5 Perhitungan Steam Reboiler

$$\lambda \text{ (saturated steam)} = 201,7 \text{ kkal/kg}$$

$$Q_b = 3517535,209 \text{ kkal}$$

$$m \text{ steam} = \frac{Q_b}{\lambda}$$

$$m \text{ steam} = 72931,74141 \text{ kg/hari}$$

$$= 3038,823 \text{ kg/jam}$$

11.6 Perhitungan Qloss reboiler

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_b$$

$$Q_{\text{loss}} = 0,05 \times 3517535,209 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 175876,7604 \text{ kkal}$$



Neraca panas Kolom Destilasi II (D 330) (kkal)

Neraca Panas	
Masuk	Keluar
<u>H1(dari E 328) :</u>	<u>H2 :</u>
C5 - 385 °C 2079,68	H2.1 (ke E 333):
385 °C+ 28014686,87	C5 - 385 °C 1732,349
i-C5 - 385 °C <u>159598,85</u>	385 °C+ 15859179,850
28176365,40	i-C5 - 385 °C <u>90147,337</u>
	15951059,535
<u>Qb :</u> 3517535,209	H2.2 (ke E 331)
	C5 - 385 °C 1189,17
	385 °C+ 11021670,39
	i-C5 - 385 °C <u>62774,23</u>
	110855633,79
	<u>Qc :</u>
	C5 - 385 °C 319556,74
	385 °C+ 10,21
	i-C5 - 385 °C <u>17679901,63</u>
	17999468,58
	<u>Qloss :</u> 175876,7604
30554228,539	30554228,539

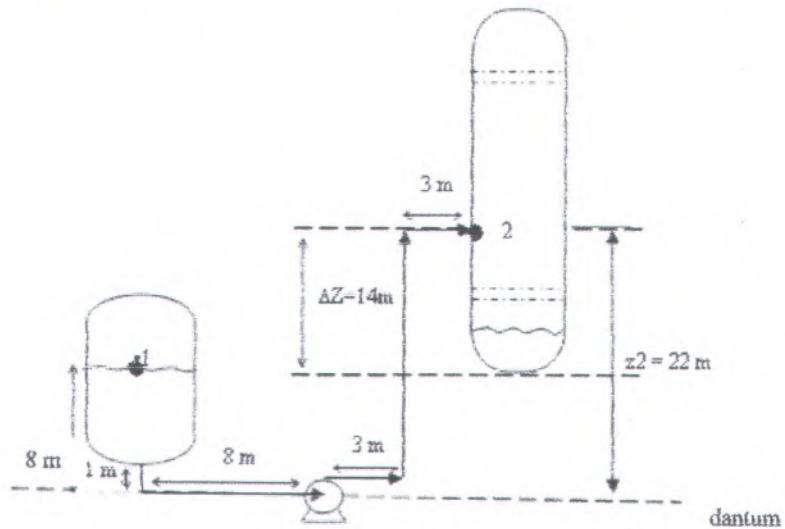
STI

APPENDIKS C

SPESIFIKASI PERALATAN

1. Pompa (L 334)

Fungsi : Untuk mentransportasikan fluida dari tangki ke kolom destilasi II (D 330)



Data:

Komponen	X_i	massa (kg/hari)	massa (lb/hari)	ρ (kg/m ³)
C5-385°C	0,00017031	12,867	28,372	0,756
385 °C+	0,98204779	74198,097	163606,805	0,798
i-C5-385°C	0,0177819	1343,502	2962,422	0,888
total	1	75554,467	166597,599	

Komponen	ρ (lb/ft ³)	μ (cp)	μ (lb/ft s)
C5 - 385oC	47,194	0,291604	0,000195949
385 oC+	49,825	0,495521	0,000332975
i-C5-385oC	55,438	0,072279	0,0000486
total	152,457	0,859404	0,000577494

Densitas campuran

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= (x_1 \cdot \rho_1) + (x_2 \cdot \rho_2) + (x_3 \cdot \rho_3) \\ &= (0,0084) + (48,9305) + (0,9858) \\ &= 49,9259822 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

viscositas campuran

$$\begin{aligned}\mu \text{ campuran} &= \frac{(m_1 \cdot \mu_1) + (m_2 \cdot \mu_2) + (m_3 \cdot \mu_3)}{m_1 + m_2 + m_3} \\ &= \frac{(0,00556) + (54,53) + (0,144)}{28,372 + 163606,805 + 2962,422} \\ &= \frac{54,675}{166597,599} \\ &= 0,00032789 \text{ lb/ft}^3\text{s}\end{aligned}$$

$$Q = \frac{m}{\rho}$$

$$= 0,03862143 \text{ ft}^3/\text{s}$$

1. menghitung diameter optimum

diasumsikan aliran fluida adalah turbulen

$$ID_{\text{opt}} = 3,9 \times Qf^{0,45} \times \mu^{0,13}$$

$$= 0,31782118 \text{ in}$$

Jadi pipa yang dipilih adalah : 3/8 in sch 40

(App.A-5 Geankoplis)

$$ID = 0,31782118 \text{ in}$$

$$= 0,0264851 \text{ ft}$$

$$A = 0,00211 \text{ ft}^2$$

2. Menghitung kecepatan aliran (v)

$$v = Q/A$$

$$= 0,03862143/0,00211 = 18,3039965 \text{ ft/s}$$

3. Menghitung Nre

$$\begin{aligned} Nre &= (\rho D v) / \mu \\ &= 73814,1845 \end{aligned}$$

$Nre > 2100$ asumsi aliran turbulen benar.

Dipilih pompa comersial steel

4. Menghitung friksi yang terjadi didalam pompa

4.a. Friksi sudden contaction

$$Kc = 0,55(1-A2/A1)$$

Karena $A2 \ll A1$ maka $A2/A1 = 0$

$$= 0,55$$

Karena aliran turbulen, maka $\alpha = 1$

$$\begin{aligned} Hc &= Kc (v^2 / (2\alpha g)) \\ &= 0,55 (18303,9965^2 / (2 \times 1 \times 32,174)) \\ &= 2,86364702 \text{ ft lbf/lbm} \end{aligned}$$

4.b. Friksi didalam pipa lurus

Dengan menggunakan bahan comersial steel, maka dengan fig.2.10-3

gean koplis pg.88 diperoleh data:

$$\begin{aligned} \epsilon &= 0,000046 \text{ m} \\ &= 0,00015088 \text{ ft} \\ \epsilon/D &= 0,00015/0,0264851 \\ &= 0,00569679 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan fig.2.10-3 diperoleh harga fanning faktor friksi, $f = 0,0035$ dengan menghubungkan antara Nre dan ϵ/D .

Menghitung friksi pipa lurus dengan $\Delta L = 35\text{m} = 114,828 \text{ ft}$

Eq.2.10-6 gean koplis:

$$\begin{aligned} Ff &= 4f((\Delta L v^2) / (2\alpha g)) \\ &= 4 \times 0,0035 ((35 \times 18,3039965^2) / (2 \times 1 \times 32,174)) \\ &= 2,55124916 \text{ ft lbf/lbm} \end{aligned}$$

4.c. Friksi untuk sudden enlargment, menggunakan Eq.2.10-15

$$\begin{aligned} Kex &= (1-A1/A2)^2 && \text{Karcna } A2 \ll A1 \text{ maka } A2/A1 = 0 \\ &= (1-0)^2 = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{cx} &= K_{cx}(v^2/2g_c) \\ &= 1(18,3039965^2/(2 \times 1 \times 1 \times 31,174)) \\ &= 5,37364932 \text{ ft lbf/lbm} \end{aligned}$$

4.d. Friksi untuk 4 elbow, dari tabel 2.10-1 gean koplis, diperoleh $k_f = 0,75$

$$\begin{aligned} H_f &= 4 k_f (v^2/2g_c) \\ &= 3 \times 0,75 (18,3039965^2/(2 \times 1 \times 1 \times 31,174)) \\ &= 16,1209479 \text{ ft lbf/lbm} \end{aligned}$$

4.e. Friksi untuk 1 globe valve, dari tabel 2.10-1 gean koplis, diperoleh $k_f = 6$

$$\begin{aligned} H_f &= k_f (v^2/2g_c) \\ &= 6 (18303,9965^2/(2 \times 1 \times 1 \times 31,174)) \\ &= 32,2418959 \text{ ft lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\sum f = 16,1209479 + 32,2418959 + 5,37364932 + 2,55125$$

Sehingga : $\sum f = 59,15138934 \text{ ft lbf/lbm}$

5. Menghitung kerja pompa

Persamaan Bernoulli

$$\frac{1}{2\alpha} \frac{v_2^2 - v_1^2}{g_c} + \frac{g_c(Z_2 - Z_1)}{g_c} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F = -W_s$$

$$W_s = -2170,28 \text{ ft lbf/lbm}$$

Dari fig 13.37 untuk efisiensi pompa dari $Q = 0,03862143 \text{ ft}^3/\text{s} = 17,33446 \text{ gal/min}$. diperoleh efisiensi pompa = $41\% = -0,41$.

$$W_s = -\eta \times W_p$$

$$W_p = 5293,36725 \text{ Btu/h lbm}$$

$$\text{Jadi power pompa kW} = 881862276,7 \text{ Btu/h}$$

$$= 258447377,4 \text{ W}$$

$$= 258447,3774 \text{ kW}$$

Spesifikasi :

Type : Pompa centrifugal

2. Kolom Distilasi (D-330)

Fungsi : memisahkan parafin dan isoparafin

Type : bubble cap tray multi stage

Jumlah : 1 buah

T operasi : 150°C
 $423,15^{\circ}\text{K}$

P operasi : 1 atm

Perhitungan :

Neraca massa kolom distilasi D-330 (didapatkan dari App.A)

	Feed		Distilat		bottom	
	mol	x_F	mol	x_D	mol	x_W
i-C5-385 °C	1,227	0,018	13,244	0,017	0,134	0,0004
C5-385°C	0,012	0,0002	0,083	0,0001	0,045	0,0001
385°C+	99,187	0,982	531,963	0,983	206,874	0,999
	100,43	1	545,290	1	207,053	1

L. Menentukan distribusi beban massa didalam kolom.

Dari App.A diketahui bahwa R_m untuk kolom distilasi adalah 0,3. Dimana $R = 1,5 R_m$, sehingga:

$$R = 1,5 (0,3)$$

$$R = 0,45$$

a. Aliran liquid untuk reflux (L)

$$L = R \times D$$

$$L = 0,45 \times 796,088$$

$$L = 245,380608 \text{ Kmol/hari}$$

b. Aliran uap masuk kondensor (V)

$$V = (R + 1) D$$

$$V = 0,45 \times 545,29$$

$$V = 245,380608 \text{ Kmol/hari}$$

c. Aliran liquid masuk reboiler (L')

$$L' = L + (q \times F)$$

$$L' = 245,38 + (1 \times 100,43)$$

$$L' = 345,806137 \text{ Kmol/hari}$$

d. Aliran uap didalam reboiler (V')

$$V' = V + (F \times (1 - q))$$

$$V' = 790,670848 + (100,43 \times (1 - 1))$$

$$V' = 790,670848 \text{ Kmol/hari}$$

II. Menentukan komposisi massa bagian atas (top).

a. Menentukan BM uap campuran (BM_v)

$$BM_v = (X_{D1} \times BM_1) + (X_{D2} \times BM_2) + (X_{D3} \times BM_3)$$

$$BM_v = 100,46151 \text{ lb/lbm}$$

b. Menentukan densitas uap campuran (ρ_v)

$$\rho_v = \frac{BM_v \times P \times T_o'}{V_o \times P_o \times T_1}$$

$$\rho_v = \frac{100,46151 \times 1 \times 273,15}{359 \times 1 \times 423,15}$$

$$\rho_v = 0,18063925 \text{ lb/ft}^3$$

c. Menentukan densitas liquid campuran (ρ_L)

$$\rho_L = (X_{D1} \times \rho_1) + (X_{D2} \times \rho_2) + (X_{D3} \times \rho_3)$$

$$\rho_L = 55,2995481 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_L = 885,89876 \text{ lb/ft}^3$$

d. Menentukan massa liquid didalam reflux (mL)

$$mL = L \times BM_v$$

$$mL = 345,806137 \times 100,46151$$

$$mL = 24651,3063 \text{ kg/hari}$$

e. Menentukan aliran liquid maximum untuk reflux (L_{max})

$$L_{max} = 1,2 \times m_l$$

$$L_{max} = 1,2 \times 24651,3063$$

$$L_{max} = 29581,5676 \text{ kg/h}$$

$$L_{max} = 65227,3565 \text{ lb/h}$$

$$L_{max} = 0,32764662 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$L_{max} = 147,057961 \text{ gpm}$$

f. Menentukan aliran uap maximum untuk condensor (V_{max})

$$V_{max} = 1,2 \times V' \times BM_v$$

$$V_{max} = 1,2 \times 790,670848 \times 100,46151$$

$$V_{max} = 95318,3843 \text{ kg/h}$$

$$V_{max} = 210177,037 \text{ lb/h}$$

$$V_{max} = 323,199481 \text{ ft}^3/\text{s}$$

III. Menentukan komposisi massa bagian bawah (bottom).

g. Menentukan BM uap campuran (BM_v)

$$BM_v = (X_{D1} \times BM_1) + (X_{D2} \times BM_2) + (X_{D3} \times BM_3)$$

$$BM_v = 100,981135 \text{ lb/lbm}$$

h. Menentukan densitas uap campuran (ρ_v)

$$\rho_v = \frac{BM_v \times P \times T_o}{V_o \times P_o \times T_l}$$

$$\rho_v = \frac{100,981135 \times 1 \times 273,15}{359 \times 1 \times 423,15}$$

$$\rho_v = 0,13405367 \text{ lb/ft}^3$$

i. Menentukan densitas liquid campuran (ρ_L)

$$\rho_L = (X_{D1} \times \rho_1) + (X_{D2} \times \rho_2) + (X_{D3} \times \rho_3)$$

$$\rho_L = 55,4335293 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_L = 3457,65822 \text{ lb/ft}^3$$

j. Menentukan massa liquid didalam reflux (mL.)

$$mL = L \times BM_v$$

$$mL = 245.380608 \times 100,981135$$

$$mL = 24778,8123 \text{ kg/hari}$$

k. Menentukan aliran liquid maximum untuk reflux (Lmax)

$$L_{max} = 1,2 \times mL$$

$$L_{max} = 1,2 \times 24778,8123$$

$$L_{max} = 95811,4074 \text{ kg/hari}$$

$$L_{max} = 211264,153 \text{ lb/hari}$$

$$L_{max} = 198,534512 \text{ ft}^3/\text{s}$$

l. Menentukan aliran uap maximum untuk condensor (Vmax)

$$V_{max} = 1,2 \times V' \times BM_v$$

$$V_{max} = 1,2 \times 564,63 \times 415,9159$$

$$V_{max} = 281806,3 \text{ kg/hari}$$

$$V_{max} = 620718,8 \text{ lb/hari}$$

$$V_{max} = 0,1436 \text{ ft}^3/\text{s}$$

IV. Menentukan tegangan permukaan bahan.

Dicari dari persamaan :

$$\sigma^{1/4} = \sum p_i (\rho_L \cdot x_i - \rho_v \cdot y_i) \quad (\text{perry, 6th ed pg.3-288})$$

Perhitungan jumlah parachor [P] :

Komponen	Massa (Kg)	x_i	[P]	$x_i [P]$
i-C5-385°C	84,66	0,008	267,35	2,24
C5-385°C	0,811	0,0001	142,3	0,011
385°C	10017,87	0,992	151,3	150,02
	10103,34			152,272

$$\rho_L = 55,2995481 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_L = 0,88589876 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_L = 0,00881829 \text{ mol/cm}^3$$

Sehingga tegangan permukaan bahan:

$$\sigma^{1/4} = \rho_L \times X_i \cdot [P]$$

$$\sigma^{1/4} = 0,00881829 \times 152,272$$

$$\sigma^{1/4} = 3,2509808 \text{ dyne/cm}$$

Data	Satuan	Top	Bottom
Tekanan	Psia	14,69	14,69
Temperatur	⁰ F	302	575,6
Surface tension	dyne/cm	3,2509808	3,250981
ρ_L	lb/ft ³	55,2995481	55,43353
ρ_v	lb/ft ³	0,18063925	0,134054
max vapor	lb/hari	210177,037	211264,2
max liquid	lb/hari	65227,3565	65564,74
max vapor rate	ft ³ /s	323,199481	198,5345
max liquid rate	ft ³ /s	0,32764662	0,002389
max liquid rate	gpm	147,057961	1,07223
tray spacing	ft	1,5	1,5

V. Perencanaan kolom distilasi.

- Berdasarkan pada volume kolom yang berisi 80% liquid.

1. Menentukan diameter

$$P_F = \frac{L}{V} \times \left(\frac{\rho v}{\rho l} \right)^{0,5}$$

Bagian Top

Bagian Bottom

$$P_F = \frac{65650,903}{211541,798} \times \left(\frac{0,1245}{49,87} \right)^{0,5} \quad P_F = \frac{65650,903}{21541,798} \times \left(\frac{0,0919}{49,87} \right)^{0,5}$$

$$P_F = 0,01773739$$

$$P_F = 0,01526151$$

$$P_C = 0,28$$

$$P_C = 0,29$$

(Van Winkle, fig 13.21)

$$(P_C)_{\text{corr, untuk } \sigma} = P_C (\sigma/P)^{0,2}$$

$$(P_C)_{\text{corr, untuk } \sigma}$$

$$= 0,28(3,2509/14,69)^{0,2}$$

$$= 0,20708877$$

$$(P_C)_{\text{corr, untuk } \sigma}$$

$$= 0,29(3,2509/14,69)^{0,2}$$

$$= 0,2144848$$

- Untuk flooding 100%.

$$U_{VN} = (P_C)_{\text{corr}} [(\rho L - \rho v)/\rho v]^{0,5}$$

$$U_{VN}$$

$$= 0,207 \left[\frac{(55,299 - 0,18)}{0,18} \right]^{0,5}$$

$$= 3,617$$

$$U_{VN}$$

$$= 0,2145 \left[\frac{(55,433 - 0,134)}{0,134} \right]^{0,5}$$

$$= 4,35$$

- Untuk flooding 80%.

$$A_N = \frac{Q_v}{U_{VN} \times 0,8}$$

$$A_N = \frac{323,199}{3,6174 \times 0,8}$$

$$A_N = 111,6811 \text{ ft}^2$$

$$A_N = \frac{198,5345}{4,3563 \times 0,8}$$

$$A_N = 56,967 \text{ ft}^2$$

Asumsi:

$$A_D = 0,1 A$$

$$A = A_N + A_D$$

$$A = A_N + 0,1A$$

$$0,9 A = 117,0871 \text{ , sehingga } A = 124,0902 \text{ ft}^2$$

Asumsi:

$$A_D = 0,1 A$$

$$A = A_N + A_D$$

$$A = A_N + 0,1A$$

$$0,9 A = 0,107044 \text{ , sehingga } A = 63,2974 \text{ ft}^2$$

$$D = (A \times 4/\mu)^{0,5}$$

$$D = (124,09 \times 4/3,14)^{0,5}$$

$$D = 12,5728533 \text{ ft}$$

$$D = (63,29 \times 4/3,14)^{0,5}$$

$$D = 8,97962278 \text{ ft}$$

Dipilih diameter = 0,389 ft

$$A = (\mu/4) \times D$$

$$A = (3,14/4)8,979$$

$$A = 7,04900389 \text{ ft}^2$$

$$A = A_N + A_D$$

$$A = A_N + 0,1 A$$

$$0,9 A = A_N$$

$$A_N = 6,3441035 \text{ ft}^2$$

$$\% \text{ flood} = \frac{Q_v}{U_{VN} \times A_N}$$

$$\% \text{ flood} = \frac{323,199}{3,6174 \times 6,344} \qquad \% \text{ flood} = \frac{198,5345}{4,3563 \times 6,344}$$

$$= 14,08 \% \qquad = 7,18 \%$$

$$A = 7,049 \text{ ft}^2$$

$$A_D = 0,1 A$$

$$A_A = A - A_D$$

$$A_A = 7,049 - 0,7049$$

$$A_A = 6,3441035 \text{ ft}^2$$

$$T_p = 12 \text{ gage} = 0,0825 \text{ in} \qquad (\text{Van Winkle, tabel 14.8})$$

$$dh = 0,25 \text{ in} \qquad (\text{Van Winkle, tabel 14.8})$$

$$P = 3 \times 0,25 = 0,75 \text{ in} \qquad (\text{Van Winkle, tabel 14.8})$$

Menggunakan bentuk segitiga sama sisi

Dipilih :

$$hw = 1,5 \text{ in} \qquad (\text{Van Winkle, tabel 14.8})$$

$$\frac{lw}{D} = 0,97 \qquad (\text{Van Winkle, tabel 14.8})$$

$$\text{Dipilih : } lw = 0,97 \times 1,799$$

$$= 1,74503 \text{ ft}$$

$$= 20,94036 \text{ in}$$

2. Entrainment

$$P_F = 0,01773739 \qquad P_F = 0,01526151$$

$$\Psi = 0,55 \qquad \Psi = 0,59$$

(Van Winkle, fig 13.26)

3. Pressure Drop

$$h_{ow} = 0,48 F_w (Q_L/lw)^{0,67}$$

$$\frac{Q_L}{(lw)^{2,5}} = \frac{147,05796}{(1,74503)^{2,5}}$$

$$= 36,5579$$

$$\frac{Q_L}{(lw)^{2,5}} = \frac{1,07223}{(1,74503)^{2,5}}$$

$$= 0,266551$$

$$\text{Pada } \frac{lw}{D} = 0,72$$

$$F_w = 1,03$$

$$F_w = 1,015$$

(Van Winkle, fig 13.7)

$$h_{ow} = 0,48 \times 1,06 \times \frac{147,058}{20,94} \times 0,67^{0,67}$$

$$= 1,87804 \text{ in}$$

$$h_{ow} = 0,48 \times 1,06 \times \frac{1,072}{1,745} \times 0,67^{0,67}$$

$$= 0,006252 \text{ in}$$

$$h\sigma = \frac{0,04 \times \sigma}{\rho v \times dh}$$

$$h\sigma = \frac{0,04 \times 3,2509}{0,1806 \times 0,25}$$

$$h\sigma = 2,879 \text{ in}$$

$$h\sigma = \frac{0,04 \times 3,25}{0,134 \times 0,25}$$

$$h\sigma = 3,88 \text{ in}$$

$$h_o = 0,186 \frac{\rho v}{\rho L} (U_h/Co)^2$$

$$T_p = 0,0825$$

$$dh = 0,25$$

$$t_p/dh = 0,33$$

Dipilih : $Ah/A = 0,1$; diperoleh:

$$Co = 0,7273$$

(Van Winkle, fig 13.18)

$$Ah = 0,1 A$$

$$Ah = 0,1 \times 6,344$$

$$Ah = 0,634 \text{ ft}^2$$

$$U_h = \frac{Q_L}{Ah}$$

$$U_h = \frac{323,199}{0,6344} = 509,448 \text{ fps}$$

$$U_h = \frac{198,5345}{0,6344} = 312,9 \text{ fps}$$

H_o

$$= 0,135 \text{ in}$$

$$= 0,02 \text{ in}$$

$$F_{VA} = U_{VA} (\rho v)^{0,5}$$

$$U_{VA} = \frac{U_h}{10}$$

$$F_{VA} = \frac{509,448}{10} \times 0,1806^{0,5}$$

$$F_{VA} = 21,65242$$

$$\beta = 0,83$$

$$F_{VA} = \frac{312,943}{10} \times 0,134^{0,5}$$

$$F_{VA} = 11,4579$$

$$\beta = 0,72$$

(Van Winkle, fig 13.16)

Total pressure drop :

$$\Delta H_t = \beta (h_w + h_{ow}) + h_o + h_\sigma$$

Sehingga dapat diketahui,

$$\Delta H_t = 5,82 \text{ in (Top)}$$

$$\Delta H_t = 4,98 \text{ in (Bottom)}$$

4. Cck untuk weep point

$$hw + how = 3,378$$

$$hw + how = 1,5$$

Dari fig. 13.22, diperoleh weep point pada $Ah/A = 0,1$

$$ho + h\sigma = 0,53$$

$$ho + h\sigma = 0,4$$

Dari perhitungan:

$$ho + h\sigma = 3,01499$$

$$ho + h\sigma = 3,9008$$

Karena $ho + h\sigma$ perhitungan $>$ $ho + h\sigma$ grafik, maka kedua bagian beroperasi pada bagian atas weep point.

5. Liquid back up di downcomer

$$H_D : [\Delta H_t + hw + how + \Delta/2 + hd]1/\Phi$$

Asumsi 1,5 in (clerence under upon)

$$A_{AP} = \frac{1,5 \times l_w}{144}$$

$$A_{AP} = \frac{1,5 \times 15,54}{144}$$

$$A_{AP} = 0,03 \text{ ft}^2$$

$$hd = 0,03 \times \frac{Q_L^2}{100 \times A_{AP}}$$

$$hd = 0,03 \times \frac{147,058^2}{100 \times 0,03}$$

$$hd = 0,03 \times \frac{1,07^2}{100 \times 0,03}$$

$$hd = 214,0309 \text{ in}$$

$$hd = 0,011378 \text{ in}$$

$$H_D = [2\beta(hw+how)+ho+h\sigma+hd]1/\Phi$$

$$H_D = [2 \times 0,83(1,5+0,44)+0,0327+0,587+0,29]1/\Phi = 222,6$$

1/φ (Top)

$$H_D = [2 \times 0,72(1,5+0,054)+0,142+0,587+0,742]1/\Phi = 6,081/\phi$$

6,081/φ (Bottom)

Asumsi φ = 0,5

$$H_D = \frac{222,6}{0,5} = 445,31 \text{ in}$$

$$H_D = \frac{6,081}{0,5} = 12,16 \text{ in}$$

6. Liquid residence time di downcomer

$$A_D = 0,0275 \text{ ft}^2$$

$$H_D = 445,31 \text{ in}$$

$$H_D = 12,16 \text{ in}$$

Flow rate :

$$Q_{LD} = 0,0024 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Residence time} = \frac{\text{volume downcomer}}{\text{flowrate}}$$

$$\text{Residence time} = \frac{0,0275 \times \frac{445,307}{12}}{0,327} = 3,1 \text{ s}$$

Bagian bottom

$$\text{Residence time} = \frac{0,0275 \times \frac{12,1628}{12}}{3,114}$$

$$= 0,0089 \text{ s}$$

VI. Menentukan jumlah plate kolom.

1. Menentukan jumlah plate minimum (Nm)

Menggunakan persamaan fenske (Gean Koplis, pg 683)

$$N_m = 13,4570634$$

$$= 13 \quad (\text{data berasal dari App.A})$$

2. Menghitung jumlah plate teoritis

$$N = 15,53 \quad (\text{data berasal dari App.A})$$

3. Menentukan letak plate masuk

Didapatkan :

$$N_s = 8,94482746 \quad 17$$

$$N_e = 6,58517254 \quad 8 \quad (\text{data berasal dari App.A})$$

Jadi feed masuk diantara plate 17 dan 8, yaitu plate ke-11

VII. Menentukan tinggi kolom distilasi.

1. Menghitung tinggi ruang yang ditempati oleh liquid didalam kolom (HL.)

$$\text{Rate liquid} = 20906,6357 \text{ kg/hari}$$

$$= 871,109 \text{ kg/jam}$$

$$= 1918,74 \text{ lb/jam}$$

$$\rho_L \text{ bottom} = 55,4 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Liquid hold up} = 9 \text{ menit} = 0,15 \text{ jam}$$

$$\text{Luas permukaan} = 0,275 \text{ ft}$$

$$HL = (QL \times t) / (\rho_L \times A)$$

$$= 18,88 \text{ ft}$$

2. Tinggi tray (H_T)

$$H_T = N \times T$$

$$= 24,65 \times 1,5$$

$$= 36,97 \text{ ft}$$

3. Tinggi tutup atas dan bawah

$$D = R_c = 0,38925 \text{ ft}$$

$$H_t = R_c - (R_c^2 - (D/2)^2)^{1/2}$$

$$= 0,39 \text{ ft}$$

$$H \text{ kolom} = H_T + H_L + 2H_t$$

$$= 56,65 \text{ ft}$$

$$= 56 \text{ ft}$$

VIII. Menentukan tinggi kolom distilasi.

Bahan : Carbon steel SA 135 grade B type 316

Data:

$$f = 12750 \text{ Psi}$$

$$c = 0,125 \text{ in}$$

$$E = 0,8 \text{ (Double welded butt joint)}$$

1. Menentukan tebal shell

$$t_s = ((P \times d_i) / (fE - 0,6P)) + c$$

$$P_{\text{shell}} = 14,69 \text{ Psi}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = ((H_L \times \rho_L) / 144) \times (g/gc)$$

$$= 7,268 \text{ Psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{shell}}$$

$$= 7,268 + 14,69$$

$$= 21,958 \text{ Psi}$$

$$P_{\text{design}} = 1,05 P_{\text{operasi}}$$

$$= 1,05 \times 21,958$$

$$= 23,055 \text{ Psi}$$

$$\text{Sehingga } t_s = 0,1356 \text{ in}$$

Dipilih plat dengan tebal = 3/16 in

2. Menentukan tebal tutup kolom (th)

Bentuk : standart dish head

$$t_h = ((0,855 \times P \times d_i) / (fE - 0,1P)) + c$$

$$\text{Sehingga } t_h = 0,134 \text{ in}$$

Dipilih plat dengan tebal = 3/16 in

Spesifikasi alat :

Kolom :

$$\text{Diameter} = 8,979 \text{ ft}$$

$$\text{Jarak tray} = 1,5 \text{ ft}$$

Tray :

$$\text{Bentuk Aliran} = \text{cross flow}$$

$$\text{Diameter lubang} = 0,25 \text{ in}$$

$$\text{Area lubang} = 0,0275 \text{ ft}$$

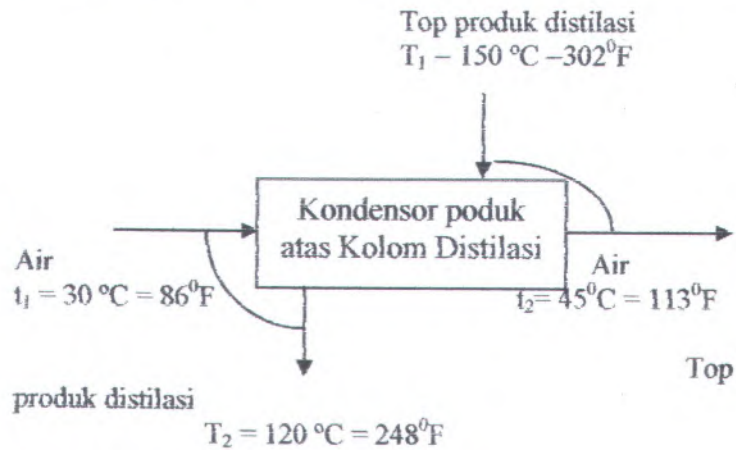
$$\text{Tebal plat} = 0,134 \text{ in}$$

Downcomers:

Residence time	= top	= 3,11 s
	bottom	= 0,008 s
Weir :		
Tinggi	= 1,5 in	
Panjang	= 20,94 in	

3. Condensor (E-335)

Fungsi : mengkondensasi top produk kolom distilasi.



$$Q_{air} = 2201986,3 \text{ kkal/hari (Appendiks B)}$$

$$M_{air} = \frac{2201986,3}{1 \times (45 - 30)} = 146799,09 \text{ kg/hari} = 323346 \text{ lb/hari}$$

$$M_{top \text{ produk}} = 45308,36 \text{ kg/hari} = 99798,15 \text{ lb/hari}$$

$$Q_{air} = Q_{top \text{ produk}}$$

Sehingga:

$$Q_{top \text{ produk}} = 2201986,38 \text{ kkal/hari}$$

$$\lambda_{top \text{ produk}} = 48,6 \text{ kkal/kg}$$

$$R_d \text{ gabungan minimal} = 0,001 \text{ j.ft}^2 \cdot \text{°F/Btu}$$

$$\Delta P \text{ aliran liquid maksimal} = 10 \text{ psi}$$

1. Neraca Energi

$$Q = 2201986,38 \text{ kkal/hari}$$

$$Q = 8732462,585 \text{ Btu/hari}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{IMTD} &= (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2) \\ &= \frac{(162 - 189)}{\ln(162 - 189)} \\ &= 175 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

3. Temperatur Kalorik

$$T_c = (T_1 + T_2) / 2 = 275 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_c = (t_1 + t_2) / 2 = 99,5 \text{ }^\circ\text{F}$$

4. Trial UD

Digunakan ukuran tube 3/4 in OD 1 in square, 16 BWG,

L = 16 ft

Dari Tabel 8 Kern Untuk Fluida Dingin-Air dan Fluida Panas

Ud = 50-125

$$\begin{aligned} A &= Q / U_d \cdot \Delta t \\ &= \frac{8732462,585}{60 \times 175} \\ &= 830,9 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Dari tabel 10 Kern

$$a''t = 0,1963 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} N_t &= A / a''t \cdot L \\ &= 264,562 \end{aligned}$$

Dari tabel 9 Kern ID shell = 15, Nt = 124

Cek Ud

$$\begin{aligned} A &= N_t \times I D_s \times a''t \\ &= 389,46 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ud koreksi} &= Q / (A \times \Delta t) \\ &= \frac{8723462,585}{(389,46 \times 175)} \\ &= 128,01 \text{ Btu/j}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Kesimpulan sementara hasil perancangan :

Type HE : 1-2

Bagian Shell :

IDs = 15"

$n' = 2$

B = 6"

Bagian Tube :

$d_o = 3/4"$; 16 BWG

L = 16 ft

$N_t = 124$; $n = 1$

susunan persegi; $P_t = 1"$

$d_e = 0,95$ (fig. 28 kern)

$a' = 0,302 \text{ in}^2$; $a'' = 0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$d_i = 0,620 \text{ in}$

Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas

Air Pendingin, lewat Tube

$$\begin{aligned}
 5. \quad a_t' &= 0,302 \text{ in}^2 \\
 a_t &= N_t \cdot a_t' / 144 \cdot n \\
 &= 124 \times 0,3 / 144 \times 1 \\
 &= 0,2601 \text{ ft}^2 \\
 G_t &= m / a_t \\
 &= 323346 / 0,2601 \\
 &= 1243372,85 \text{ lb/j.ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \quad \mu &= 0,76 \text{ Cp (Kern fig 14)} \\
 &= 0,76 \times 2,8 \\
 &= 2,128 \text{ lb/j.ft} \\
 \text{Ret} &= D \times G_t / \mu \\
 &= \frac{0,052 \times 1243372,9}{2,128} \\
 &= 30188,4
 \end{aligned}$$

$$7. \quad V = Gt/3600 \times \rho$$

$$\rho = 55,3 \text{ lb/ft}^3$$

$$V = \frac{1243372,85}{3600 \times 55,3}$$

$$= 6,245594 \text{ ft/s}$$

Dari Gb. 25 Kern, didapat :

$$h_i = 1400 \text{ Btu/j}^\circ\text{Fft}^2$$

Umpan, lewat shell

$$5'. \quad a_s = ID \times C' \times B / 144 \times Pt$$

$$= \frac{15 \times 0,25 \times 3}{144 \times 1}$$

$$= 0,081 \text{ ft}^2$$

$$G_s = m / a_s$$

$$= 99798,2 / 0,081$$

$$= 1235877,16 \text{ lb/j.ft}^2$$

$$\mu = 0,49 C_p \text{ (Kern fig 15)}$$

$$d_e = 0,95 \text{ in}$$

$$= 0,95 / 12$$

$$= 0,079167 \text{ ft}$$

$$Res = De \times G_s / \mu$$

$$= \frac{0,079167 \times 1235877,16}{1,186}$$

$$= 82509,93$$

6'. -

$$7.' \text{ trial } h_o = 300 \text{ Bu/j.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_w = t_c + \frac{h_o \times (T_c - t_c)}{h_o + h_{io}}$$

$$= 99,50 + \frac{450(455 - 99,5)}{450 + 1157,3}$$

$$= 199,03 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_f = (T_c + t_w)/2 = 237,0141^\circ\text{F}$$

Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas (Cont'd)

Air Pendingin, lewat Tube

$$h_{io} = h_i \times ID/OD$$

$$= 1390 \times \frac{0,620}{3/4}$$

$$= 1157 \frac{1}{4} \text{ Btu/j}^\circ\text{Fft}^2$$

Umpan, lewat shell

Sehingga :

$$k_f = 0,155 \text{ (Table 4 Kern)}$$

$$\mu_f = 0,16$$

$$G'' = M/l.Nt^{2/3}$$

$$= 250,83 \text{ lb/j.ft}$$

Dari fig 12.9 hal 267 didapat:

$$h_o = 450 \text{ Btu/j}^\circ\text{Fft}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} 8. U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\ &= \frac{1157,33 \times 450}{1157,33 + 450} \\ &= 324,01 \text{ Btu/j}^\circ\text{Fft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 9. R_d &= \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \\ &= \frac{324,01 - 107,01}{324,01 \times 107,01} \\ &= 0,0063 \text{ j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu} \end{aligned}$$

(Rd hitung > Rd ketetapan)

Evaluasi ΔP

Air Pendingin (Tube)

$$Re_t = 30188,407$$

Dari gb.26 kern didapat:

$$f = 0,0004 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$s = 1$$

$$\begin{aligned} \Delta P_t &= \frac{f \times Gt^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D \times s \times ft} \\ &= 3,669 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_n &= 4 n/s \times (v^2/2g) \\ &= \frac{4 \times 1 \times 0,035}{1} \\ &= 0,140 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{total} &= 3,669 + 0,140 \\ &= 3,809 \text{ psi} \end{aligned}$$

Umpan, lewat shell

$$I.' Res = 82509,93$$

Dari gb.29 kern didapat ;

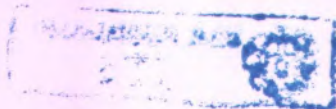
$$f = 0,000715 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$s = 1,09$$

$$\begin{aligned} (N+1) &= 12. I/B \\ &= 12 \times 16/2 \\ &= 80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= \frac{1}{2} \frac{f \times Gs^2 \times IDs \times (N+1)}{5,22 \times 10^{10} de \times s \times \phi} \\ &= 9,697891 \text{ psi} \end{aligned}$$

Karena ΔP hitung $<$ ΔP Ketentuan maka sudah memenuhi.



Spesifikasi Alat :

Nama alat : Kondensor kolom Distilasi
 Fungsi : Mengkondensasikan top produk kolom Distilasi
 Tipe : Horizontal kondensor
 Dimensi :
 - tube : - OD : $\frac{3}{4}$ in, 16 BWG
 - Panjang : 16 ft
 - Jumlah : 92 tube, 1 passes
 - shell : ID : 12 in
 Heat transfer area : $309,21 \text{ ft}^2 : 28,7 \text{ m}^2$
 Bahan Konstruksi : Carbon Steel SA 283 Grade C
 Jumlah : 1 buah

4.Reboiler (E-338)

Fungsi : memanaskan bottom produk kolom distilasi.

Perencanaan :

Rd gabungan : $0,002 \text{ j.ft}^2 \cdot \text{°F/Btu}$
 ΔP larutan bottom : 10 Psi
 ΔP Dowtherm : 2 psi
 Type : Double Pipe Heat Exchanger
 Jumlah : 1 buah
 DPHE yang digunakan dengan ukuran 3 x 2' IPS
 Tabel 6,2, p.110 Kern

IPS		Flow Area, in ²		Anulus, in	
		Anulus	Pipa	de	de'
2	1 1/4	1,19	1,5	0,915	0,4



1. Neraca energi.

Laju alir :

m bottom : 3.743 kg / jam (App.A)

: 8.245 lb / jam

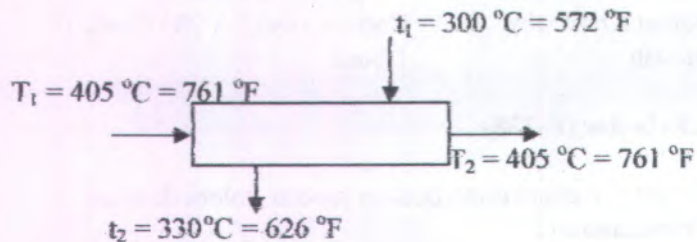
Q Bottom : 400730,764 Btu/jam

Q Bottom = Q Dowtherm, maka:

Q Dowtherm : 400730,764 Btu/jam

1. $\Delta T \text{ true} = F_T \times \text{LMTD}$

Menghitung LMTD



$$\Delta t_h = T_1 - t_2 = 761^\circ\text{F} - 626^\circ\text{F} = 135^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_c = T_2 - t_1 = 761^\circ\text{F} - 572^\circ\text{F} = 189^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\Delta t_c - \Delta t_h}{\ln(\Delta t_c - \Delta t_h)} \\ &= \frac{189 - 135}{\ln(189 - 135)} \\ &= 160,49^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Menghitung T_c dan t_c

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{572 + 626}{2} = 599^\circ\text{F}$$

$$T_c = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{761 + 761}{2} = 761^\circ\text{F}$$

Annulus, bottom produk

$$4. \quad A_a = 1,19 \text{ in}^2 \text{ (Tabel 6,2 kern)} \\ = 0,0082 \text{ ft}^2$$

$$D_e = 0,915 \text{ in} = 0,0762 \text{ ft}$$

$$D_e' = 0,4 \text{ in} = 0,033 \text{ ft}$$

$$5. \quad G_a = W/A_a \\ = 8.245,49/0,0083 \\ = 997.773,5 \text{ lb/jam ft}^2$$

$$6. \quad \text{Pada } t_c = 599 \text{ }^\circ\text{F}$$

Dari grafik 15 :

$$\mu = 0,49 \text{ Cp} \\ = 1,1858 \text{ lb/ft jam}$$

$$ID = 2,067 \text{ in (Tabel 11 kern)} \\ = 0,1723 \text{ ft}$$

$$\text{Ret} = ID \times G_t/m \\ = 0,1723 \times 997,5 / 1,19 \\ = 144937$$

$$7. \quad J_H \text{ (Kern grafik 24)}$$

$$J_H = 165$$

$$8. \quad \text{Pada } t_c = 599 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$k = 0,265 \text{ Btu/j. ft}^2 \cdot (\text{ }^\circ\text{F/ft}) \text{ (tabel 4 kern)}$$

$$c_p = 1,05 \text{ Btu/lb.F}$$

$$\left(\frac{C_p \cdot m}{k} \right)^{1/3} = \left(\frac{1,05 \times 1,186}{0,265} \right)^{1/3} = 1,6749$$

$$9. \quad h_o$$

$$h_o = J_H \times \frac{k}{d_e} \times \left(\frac{C_p \cdot m}{k} \right)^{1/3}$$

$$\begin{aligned}
 h_o &= 140 \times \frac{0,265}{0,0763} \times 3,123 \\
 &= 960,5 \text{ Btu/jam ft}^2\text{°F}
 \end{aligned}$$

Pipe, dowtherm

$$4. A_p = 1,5 \text{ in}^2 = 0,0104 \text{ ft}^2$$

Tabel 11 Kern, 1 ¼ sch 40

$$\text{ID} = 1,38 \text{ in} = 0,115 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 1,66 \text{ in} = 0,1383 \text{ ft}$$

$$G_p = w/A_p = 8151,73 / 0,0104 = 782.566 \text{ lb/jam ft}^2$$

$$5. \text{ Pada } T_c = 761 \text{ °F}$$

$$\mu = 0,16 \text{ cp} = 0,3872 \text{ lb/jam ft}^2$$

$$\text{ID} = 1,38 \text{ in} \\ = 0,115 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rep} &= G_p \times D_e / \mu \\
 &= 782.566 \times 0,1150 / 0,3872 \\
 &= 232425
 \end{aligned}$$

7. -

8. -

9. h_i

$$h_i = h_{io} = 1300 \text{ Btu/jam ft}^2\text{°F}$$

10. -

11. U_c

$$\begin{aligned}
 U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\
 &= \frac{960,5 \times 1300}{960,5 + 1300}
 \end{aligned}$$

$$= 953,406 \text{ Btu/j}^{\circ}\text{Fft}^2$$

$$\begin{aligned} 12. \frac{1}{Ud} &= \frac{1}{Uc} + R_d \\ &= \frac{1}{953,4} + 0,002 \\ &= 0,003048871 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 13. A &= \frac{Q}{Ud \times LMTD} \\ &= \frac{400730,76}{327,99 \times 160,49} = 7,61 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

14. Panjang DPHE = $7,61 / 0,622 = 12,24$ ft
Jumlah hairpin;

$$\frac{12,24}{2 \times 12} = 0,51 \sim 1 \text{ buah, sehingga } L = 24 \text{ ft}$$

$$\frac{12,24}{2 \times 15} = 0,408 \sim 1 \text{ buah, sehingga } L = 30 \text{ ft}$$

$$\frac{12,24}{2 \times 20} = 0,306 \sim 1 \text{ buah, sehingga } L = 40 \text{ ft}$$

Digunakan yang paling ekonomis yaitu $L = 24$ ft

Maka ;

$$A = 24 / 0,622 = 14,928 \text{ ft}^2$$

$$Ud = \frac{400730,76}{14,928 \times 160,49} = 167,27 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$R_d = \frac{953,406 - 167,27}{953,406 \times 167,27} = 0,0049$$

Kesimpulan

960	<i>h</i> sisi luar	1.300
U_C		953,4065
U_D		327,9903
R_D hitung		0,0049
R_D yang dibutuhkan		0,0020

Pressure drop

Annulus, bottom produk

$$1. R_{ct} = 144937$$

Dari gb.26 kern didapat:

$$f = 0,0053 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$s = 1$$

$$\Delta P_t = \frac{4f \times G l^2 \times l}{2g \times r^2 D e'}$$

$$= 7,15 \text{ psi}$$

$$\Delta P_n = 4 n/s \times (v^2/2g)$$

$$= 0,00002 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{total} = 7,15 + 0,00002$$

$$= 7,1517 \text{ psi}$$

Dowtherm, pipe

$$1. R_{es} = 232425$$

Dari gb.29 kern didapat ;

$$f = 0,0049 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$\Delta P_s = \frac{4f \times G p^2 \times L}{2g \times r^2 \times ID}$$

$$= 5,7637 \text{ psi}$$

Karena ΔP hitung < ΔP Ketentuan maka sudah memenuhi.

Spesifikasi Alat :

Nama alat : Reboiler kolom Distilasi
Fungsi : Memanaskan bottom produk kolom Distilasi
Tipe : Double Pipe Heat Exchanger
Dimensi :
Panjang Hairpin: 12 ft
Panjang DPHE : 24 ft
Heat transfer area : 14,928 ft²
Bahan Konstruksi : Carbon Steel SA 283 Grade C
Jumlah : 1 buah

BIODATA PENULIS



Fruverina Agnes Tia Juliana, lahir di Surabaya 28 Agustus 1986, sebagai anak bungsu dari dua bersaudara.

Riwayat pendidikan TK dan SD Praja Mukti – Dr. Soetomo, SMPN 2 Surabaya, SMA 9 Surabaya. Setelah lulus dari SMU Tahun 2004, penulis mengikuti seleksi penerimaan mahasiswa baru ITS jalur non SPMB pada tahun 2004 dan diterima di jurusan Diploma III Teknik Kimia

FTI- ITS, terdaftar dengan Nomor Registrasi 2304 030 009. Selama menempuh bangku kuliah, pernah menjadi Kepala Departemen Media dan Informasi di BEM lingkup Fakultas Teknologi Industri periode 2006-2007.

Pernah beberapa kali mengikuti pelatihan maupun seminar yang diadakan HIMA DIII - Teknik Kimia maupun kegiatan-kegiatan yang dilaksanakan diluar kampus ITS, pernah menjadi SC kepeemanduan di beberapa pelatihan kemanajerialan di kalangan mahasiswa, dan sering pula menjadi SC (Stering Comite) di kegiatan-kegiatan yang dilaksanakan di BEM FTI - ITS.

Email : fruverina@yahoo.com



BIODATA PENULIS



Dewi Teja Rukmi, lahir di Kediri pada tanggal 22 Desember 1985, anak bungsu dari sembilan bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya di TK Bhayangkari Pare, SDN Pare 8 Pare, SLTP Negeri 2 Pare, SMU Negeri 1 Pare. Setelah lulus dari SMU Tahun 2004, penulis mengikuti seleksi penerimaan mahasiswa baru ITS jalur non SPMB pada tahun 2004 dan diterima di jurusan Diploma III Teknik Kimia FTI- ITS, terdaftar dengan Nomor Registrasi 2304 030 025. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PusDikLat MIGAS Cepu Jawa Tengah.

Selama menempuh bangku kuliah aktif di ITS Maritime Challenge dan sering mengikuti beberapa pelatihan baik yang diadakan oleh Jurusan DIII Teknik Kimia maupun jurusan lain.
Email tjee_so5@yahoo.co.id