

22315/H/05

TUGAS AKHIR

KS 1701



PROTOTIPE ALAT PENURUN KADAR CO₂ GAS BUANG DENGAN MEMANFAATKAN AIR LAUT



R.SSP
623.863
Wlf
P-1
2004

Oleh :

Agung Yudho Wibowo

NRP : 4200100003

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11 - 8 - 2004
Terima Dari	H
No. Agenda Pkp.	220653

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2004

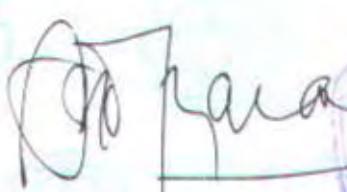
LEMBAR PENGESAHAN

**PROTOTIPE ALAT PENURUN KADAR CO₂ DENGAN
MEMANFAATKAN AIR LAUT**

Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar sarjana teknik
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1


Ir. Indrajaya Gerianto, MSc.

NIP. 131.128.953

Dosen Pembimbing 2

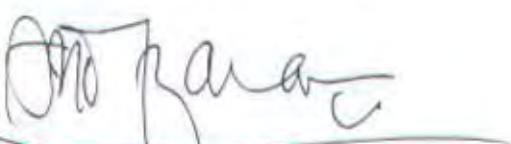

Ir. Aguk Zuhdi, MEng

NIP 131.646.637



Tugas akhir ini telah diujikan pada presentasi akhir (P²) Tugas akhir
periode semester genap tahun ajaran 2003/2004 tanggal 21 Juli 2004, mengetahui
dosen penguji :

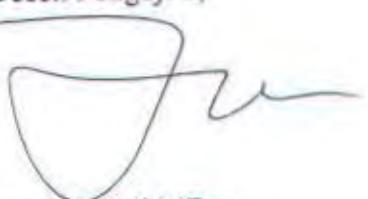
Dosen Penguji 1,



Ir Indrajaya Gerianto, MSc

NIP.131.128.953

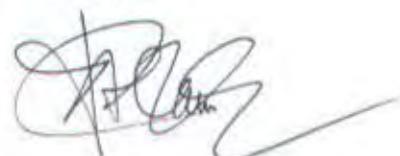
Dosen Penguji 2,



Ir Aguk Zuhdi, MEng

NIP 131.646.637

Dosen penguji 3,



Ir Alam Baheramsyah, MSc

NIP 131.993.365

Dosen Penguji 4,

Sutopo Purwono F,ST

NIP 132.300.745

Dosen penguji 5,

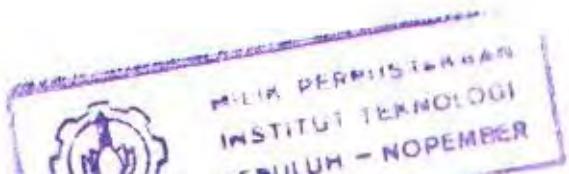
Ir Toni Bambang, MSc

NIP 131.632.209

Dosen Penguji 6,

Ir Asianto

NIP -





FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN - ITS
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. 5994754, 5994251 – 55 PES 1102 FAX 5994754

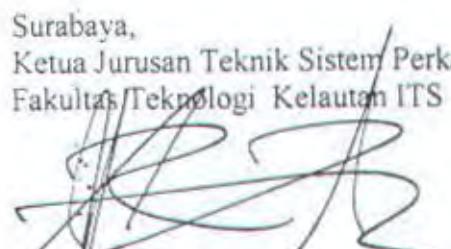
SURAT KEPUTUSAN PENGERJAAN TUGAS AKHIR KS 1701

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Penggerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa	:	AGUNG YUDHO WIBOWO
Nrp	:	4200 100 003
Dosen pembimbing	:	1. Ir. INDRAJAYA GERIANTO, MSc 2. Ir. AGUK ZUHDI MF,MSc
Tanggal Diberikan Tugas	:	
Tanggal Diselesaikan Tugas	:	
Judul Tugas Akhir	:	

**PROTOTIPE ALAT PENURUN EMISI GAS BUANG CO₂ DENGAN
MENGGUNAKAN AIR LAUT**

Surabaya,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan ITS

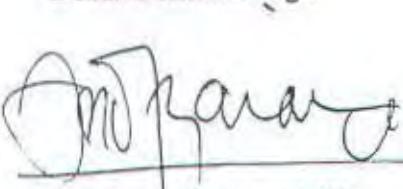

Ir. SURYO WIDODO ADJI, MSc
NIP. 131 879 390

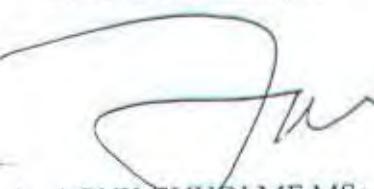
Surabaya,
Yang menerima tugas:
Mahasiswa

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Agung Yudho Wibowo
NRP. 4200 . 100 . 003


Ir. Indrajaya Gerianto, MSc
NIP. 131 . 128 . 953


Ir. AGUK ZUHDI MF, MSc
NIP. 131 646 637

*Kupersembahkan untuk keluargaku khususnya
Bapak beserta Ibu Udihardjo*

ABSTRACT

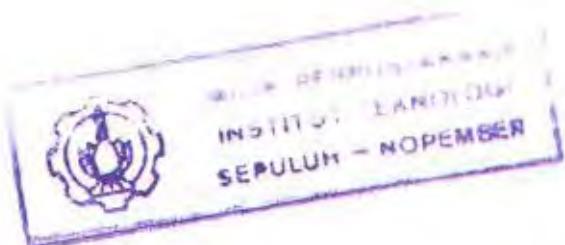
Decreasing greenhouse gas Carbondioxide (CO₂) from exhaust gas of combustion engine may be accomplished by mass transfer with base liquid which can be generate from sea water. Spreading of CO₂ yielded by sector maritime specially international sea transport area have shown the improvement which must be taken heed.

This experiment gives an assessment of the options for CO₂ degradation by use a prototype of CO₂ decreasing rate (which is named Aero Zeppelin prototype). Prototype contains two stage appliance, First is Base generator and the second is tray tower gas absorption. Prototipe have been calibrated and successful reduction of 60% CO₂.

ABSTRAK

Penurunan gas penyebab efek rumah kaca yang terkandung di dalam gas buang motor bakar bisa dicapai dengan mengadakan kontak massa dengan larutan basa yang bisa dihasilkan dari air laut. Penyebaran CO₂ yang dihasilkan oleh sektor bahari khususnya angkutan laut area internasional sudah menunjukkan peningkatan yang harus diwaspadai.

Tugas akhir ini mempunyai tujuan untuk membuat suatu prototype alat penurun CO₂ dengan memanfaatkan sumber daya air laut. Prototipe yang diberi nama Aero Zeppelin ini terdiri dari dua tahapan proses. Proses pertama yaitu pada prototype penghasil basa (Base Generator) sedangkan proses kedua yaitu pada prototype menara absorpsi (Tray tower). Prototipe telah dilakukan kalibrasi/pengujian dan berhasil untuk menurunkan 60% kadar CO₂.



Kata Pengantar

Assalamualaikum Wr WB,

Segala puja dan puji syukur hanya kepada Allah SWT. Hanya karena Allah SWT penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Begitu besar rahmat dan karuniaNya sehingga penulis selalu mendapat kemudahan, petunjuk, kesehatan serta ilmu pengetahuan yang bertambah. Alhamdulillah.

Pada saat-saat ini dapat kita katakan bahwa faktor lingkungan sangat mempengaruhi suatu kebijakan / keputusan yang akan dibuat oleh manusia. Kalau kita lihat dari sektor Lingkungan laut, bahwa pihak pemproduksi engine (engine manufacturer) sudah berlomba-lomba menciptakan /mendesain engine baru yang ramah lingkungan dan yang mulai dikenal sebagai 'green ship'. Perhatian khusus terhadap kelestarian udara maka engine tersebut harus mempunyai gas buang yang mengandung kadar-kadar polutan yang sangat rendah. Selama ini yang jadi pusat perhatian adalah kadar-kadar polutan seperti NOx, Sox, CO, partikel ataupun asap (Odor). Penulis mencoba menawarkan suatu prototype untuk mengurangi kadar CO₂ yang diperkirakan di masa mendatang sudah masuk sebagai peraturan Annex VI mengenai polusi udara.

Proses penggeraan tugas akhir sampai saat ini berlangsung dengan lancar . Begitu banyak orang yang turut membantu penulis apabila dalam kesulitan mulai dari proses pencarian referensi, sampai proses pembuatan prototype ini baik melalui kritik , saran serta masukan pendapat yang sangat berharga . Oleh karena itu wajiblah kiranya penulis ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Ir. Indrajaya Gerianto,MSc** sebagai dosen pembimbing penulis. Tanpa beliau, penulis tidak akan bisa menyelesaikan penggerjaan tugas akhir dengan baik. Penulis sangat berterima kasih kepada beliau karena keluwesan dan kehebatan beliau.
2. Bapak **Ir. Aguk Zuhdi,MSc** sebagai dosen pembimbing penulis. Pak Aguk yang begitu sabar mengarahkan penulis baik dalam pelaksanaan teknis maupun sampai tahap penulisan draft TA dimana penulis merasa belum punya banyak pengalaman atau kalau boleh pinjam istilah beliau adalah '*Kurang Experience*'. Penulis sangat menghormati dan sudah menganggap seperti orang tua sendiri.
3. Bapak **Lahar Baliwangi,ST,MEng** selaku dosen wali penulis.
4. Kedua Orangtuaku, Bapak dan Ibu Udihardjo yang tercinta
5. **Pakpuh Oediono** yang selalu mencerahkan perhatian kepada penulis
6. **Keluarga Alm Pakpuh Oediargo dan almh tante Ninik yang baru saja meninggal.** Selamat jalan Pakpuh – Bupuh. Terima kasih atas nasehatnya dulu.
7. **Om Udisubakti sekeluarga**, terimakasih bisa pinjam komputernya pada saat computer Agung 'error'.
8. **PakMinta, Dosen dan juga Kalab Elektrokimia Teknik Kimia.**
9. Bapak **Anis Suyono** dan pak **Anshori**, Bapak **Warsito**.
10. **Eko Hari Purnomo**, sahabat yang tak pernah terlupakan sejak sama-sama satu kelas di TPB sem 1.

11. Fauzi Triyono, Sapto 'Hoho' pambudi, Indarta 'DaDo' Muhammad,
12. Santi Kimia MIPA 01, Palupi Tri W, Teknik Kimia 02.
13. Anggota Trio Paiton: Heru 'Kremil' Antono, Fahrul 'Irama' Rozi, Rohmah, Acik, Anak bu dokter gigi, Penjual tahu tek paiton.
18. Mohkammad 'Gundul' Yahya, Heru'SOLO', Solechan 'Puja', Heri Wicaksono. Komting Dedi, Niko 'Ompong' , Jimmy, Usman, Abrianto 'arek perak', Ali Muhtar 'Smin', Wildan, Bayu 'Badjoeli', Simbah, Wahjoe 'brekele' dll.
19. Dek Anggie Ardihiasti, terima kasih atas spirit dan konsultasinya ☺

Penulis sadar bahwa tiada gading yang tak retak begitu juga mengenai isi daripada paper ini tidak menutup kemungkinan terdapat kekurangan – kekurangan baik dari sisi teknis maupun sistematisnya .

Akhirnya Penulis hanya dapat berharap bahwa semoga tugas ini bermanfaat bagi pembacanya .Amin

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Surabaya, 17 Juli 2004

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK (Inggris)	
ABSTRAK (Indonesia)	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR GAMBAR.....	i
DAFTAR TABEL.....	ii
 BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	5
1.3 Perumusan masalah.....	5
1.4 Batasan masalah.....	6
 BAB II PAPER REVIEW.....	7
2.1 Pengurangan CO ₂ sebagai target masa depan.....	7
2.2 Penggunaan basa Mg(OH) ₂ untuk reduksi CO ₂	9
2.3 Proses pembakaran.....	12
2.3.1 Proses pembakaran dengan udara.....	13
2.4 Elektrolisis.....	15
2.5 Penukar ion (ion exchanger).....	25
2.6 Reaksi dasar senyawa garam.....	26
2.7 Kandungan garam di laut.....	27
2.8 Absorpsi.....	30
2.8.1 Perangkat operasi gas dan fluida cair.....	34
 BAB III METODOLOGI.....	43
3.1 Diagram alir proses penggerjaan TA.....	43
3.2 Ide.....	44
3.3 Spesifikasi prototype.....	44
3.4 Perhitungan desain prototype.....	44
3.5 Gambar desain prototype.....	53
3.6 Pembuatan prototype.....	54
3.6.1 Prototipe base generator.....	54
3.6.2 Prototipe tray tower.....	55
3.7 Engine Set up.....	56
3.8 Kalibrasi Engine.....	57
3.8.1 Langkah-langkah melakukan kalibrasi.....	58

3.9 Karakteristik Engine.....	59
3.10 Prototipe Set up.....	62
3.11 Kalibrasi prototype.....	63
3.12 Hasil Kalibrasi.....	64
 BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	 65
4.1 Analisa Data.....	65
4.1.1 Perhitungan desain prototype.....	65
4.1.2 Pembuatan prototype.....	73
4.1.3 Kalibrasi.....	84
4.2 Pembahasan.....	96
 V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	 103
4.1 Kesimpulan.....	103
4.2 Saran.....	103
 DAFTAR PUSTAKA.....	 104
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	



DAFTAR GAMBAR

No Gambar	Keterangan	Hal
Gambar 1.1.1	Tingkat kenaikan CO ₂ di atmosfer	3
Gambar 1.1.2	Lubang Ozon bulan Nopember 2003	4
Gambar 2.1.2.1	Alur Scrubber untuk pemisahan CO ₂ metode Keener	12
Gambar 2.5.1	Proses elektrolisis dengan menggunakan IE	26
Gambar 2.6.1	Reaksi dasar Asam,Basa	27
Gambar 2.7.1	Ikatan nonolar CO ₂	29
Gambar 2.8.1	Scrubber bertipe pelat	41
Gambar 2.8.2	Pelat berlubang tampak atas	42
Gambar 2.8.3	Arah aliran fluida dalam scrubber	42
Gambar 3.1	Diagram alir proses penggerjaan Tugas Akhir	43
Gambar 3.4.1	Grafik kesetimbangan absorpsi	45
Gambar 4.1.1.2.2	Desain gambar pembagian ruangan	72
Gambar 4.1.2.1.1.1	Desain gambar prototype base generator tampak depan	74
Gambar 4.1.2.1.1.2	Desain gambar prototype base generator tampak atas	74
Gambar 4.1.2.1.1.3	Desain gambar kontruksi penguat electrode	75
Gambar 4.1.2.1.2.1	Desain gambar prototype base generator tampak atas	76
Gambar 4.1.2.1.2.2	Desain gambar prototype base generator tampak samping	76
Gambar 4.1.2.1.2.3	Siku penyekat	77
Gambar 4.1.2.1.2.4	Proyeksi orototype base generator	78
Gambar 4.1.2.1.2.5	Foto prototype base generator tampak belakang	79
Gambar 4.1.2.1.2.6	Foto prototype base generator tampak atas	80
Gambar 4.1.2.2.1.1	Desain gambar Tray tower tampak atas	80
Gambar 4.1.2.2.1.2	Desain gambar Tray tower	81
Gambar 4.1.2.2.1.3	Desain gambar pelat tahapan absorpsi	81
Gambar 4.1.2.2.2.1	Foto Tray tower tampak sisi inlet fluida gas	83
Gambar 4.1.2.2.2.2	Foto Tray tower tampak sisi inlet fluida cair	83

No Gambar	Keterangan	Hal
Gambar 4.1.3.1	Foto Set up Prototipe	84
Gambar 4.1.3.1.1	Grafik hubungan antara SFOC dengan beban	87
Gambar 4.1.3.2.4.1	Grafik %CO ₂ Engine tanpa prototype	92
Gambar 4.1.3.2.4.2	Grafik %CO ₂ Engine terpasang prototype	92
Gambar 4.1.3.2.4.3	Grafik %CO ₂ pada putaran 66%	93
Gambar 4.1.3.2.4.3	Grafik %CO ₂ pada putaran 77%	93
Gambar 4.1.3.2.4.4	Grafik %CO ₂ pada putaran 100%	94
Gambar 4.1.3.2.4.5	Grafik %CO ₂ Engine dan prototype	94
Gambar 4.1.3.2.4.6	Grafik persentase penurunan	95
Gambar 4.1.3.2.5	Grafik kadar senyawa karbonat	96

DAFTAR TABEL

No Tabel	Keterangan	Hal
Tabel 2.4.1	Reaksi pada elektrode	20
Tabel 2.4.2	Konfigurasi electron logam alkali	22
Tabel 2.7.1	Percentase (%) komposisi garam dalam samudra bebas	29
Tabel 2.8.1	Keuntungan dan kerugian penggunaan scrubber	40
Tabel 3.7.1	Dimensi Engine	56
Tabel 3.7.2	Spesifikasi Engine	56
Tabel 3.8	Data putaran yang akan digunakan	58
Tabel 3.9	Data awal kalibrasi engine	59
Tabel 4.1.1.1.1	Jumlah mol bahan bakar dan CO ₂	66
Tabel 4.1.1.1.2	Data absorpsi gas prototipe	67
Tabel 4.1.1.1.3	Karakteristik fluida	67
Tabel 4.1.1.1.4.1	Perbandingan luasan	68
Tabel 4.1.1.1.4.2	Luasan bersih tray tower	68
Tabel 4.1.1.1.5.1	Beda tekanan kering	69
Tabel 4.1.1.1.5.2	Beda tekanan hidraulis	69
Tabel 4.1.1.1.5.3	Beda tekanan sisa	69
Tabel 4.1.1.1.5.4	Beda tekanan total	69
Tabel 4.1.1.1.6.1	Spesifikasi dan dimensi tray tower yang dibutuhkan	70
Tabel 4.1.1.1.6.2	Spesifikasi dan dimensi tray tower yang dibuat	70
Tabel 4.1.1.2.1.1	Volume basa yang diperlukan	71
Tabel 4.1.1.2.1.2	Suplai listrik	71
Tabel 4.1.1.2.2	Spesifikasi dan dimensi prototype base generator	72
Tabel 4.1.2.1.2.1	Volume kompartemen base generator	79
Tabel 4.1.3.1.1	Hasil kalibrasi engine	85
Tabel 4.1.3.1.2	Tabel beban putaran 2000 rpm	87
Tabel 4.1.3.1.3	Tabel beban putaran 2330 rpm	88
Tabel 4.1.3.1.4	Tabel beban putaran 3000 rpm	88

No Tabel	Keterangan	Hal
Tabel 4.1.3.2.1	Persentase CO ₂ Engine	89
Tabel 4.1.3.2.2	Persentase CO ₂ Engine terpasang dengan prototype.....	90
Tabel 4.1.3.2.3	Persentase penurunan kadar CO ₂	91
Tabel 4.1.3.2.5	Kadar senyawa karbonat.....	95
Tabel 4.2.1	Batas emisi lingkungan laut.....	100
Tabel 4.2.2	Spesifikasi prototype tray tower.....	101
Tabel 4.2.3	Spesifikasi prototype base generator otipe.....	101
Tabel 4.2.4	Formula kemampuan prototipe.....	102
Tabel 4.2.5	Perbandingan untung rugi prototipe.....	102

Bab I

Pendahuluan



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lingkungan yang bersih merupakan dambaan setiap orang. Lingkungan yang bersih akan membuat setiap pekerjaan dan segala aktifitas manusia akan terasa nyaman dilakukan. Sebaliknya, efek lingkungan yang tidak bersih berpengaruh langsung terhadap manusia. Manusia bisa mengalami gangguan kesehatan yang diakibatkan polutan yang ada di sekitar lingkungannya.

Salah satu faktor yang banyak mengganggu lingkungan adalah faktor polusi udara. Polusi udara merupakan dampak yang sangat berbahaya bagi kelangsungan hidup manusia. Efek bahan bahan polusi (pollutant) langsung berimbang kepada manusia itu sendiri dan apabila berkepanjangan akan merusak lingkungan dan memperpendek umur bumi.

Polusi udara timbul dari berbagai macam sumber. Salah satu sumber adalah gas buang sebagai produk pembakaran suatu motor bakar dalam. Motor bakar dalam baik itu motor yang proses pembakarannya memerlukan pemantik/spark (SI Engine) ataupun motor bakar yang proses pembakarannya dilakukan dengan tekanan (CI Engine/diesel) sama-sama mengandung



berbagai macam jenis gas hasil pembakaran yang dianggap mempunyai dampak yang berbahaya terhadap lingkungan.

Polutan yang terkandung dalam gas buang mesin diesel yang selama ini ramai dibicarakan adalah: bau/odor, asap/smoke, karbon monoksida, hidrokarbon yang tidak terbakar, Oksida Nitrogen, kebisingan /noise (Wark,1981).

Pada akhir tahun 80-an salah satu senyawa produk pembakaran yang terkandung dalam gas buang motor bakar yang mulai diperhatikan penyebarannya adalah CO₂. Sedangkan efek yang berbahaya dari adanya penyebaran gas CO₂ yang berlebihan di atmosfer adalah timbulnya efek green house. Akibat yang ditimbulkan efek rumah kaca yang mengkhawatirkan kelangsungan hidup manusia adalah berlubangnya lapisan ozon .

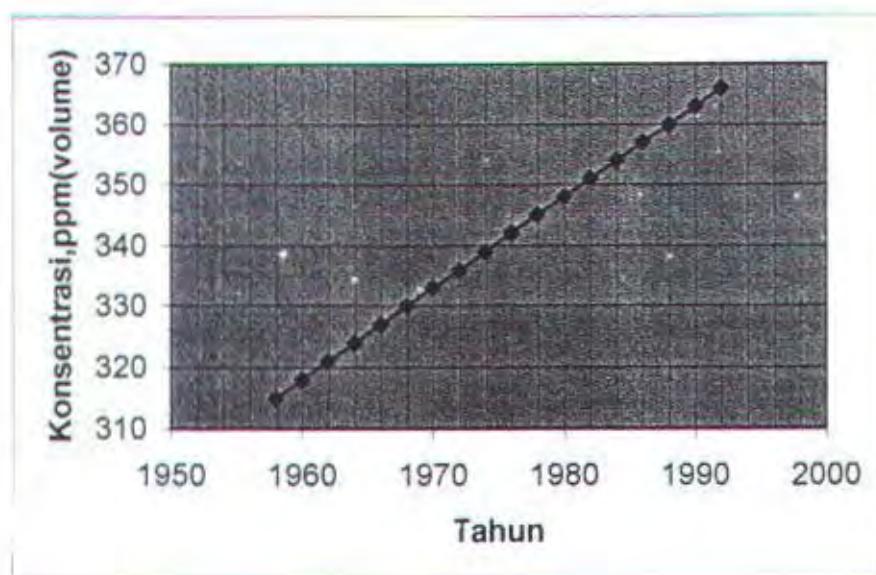
Emisi gas CO₂ merupakan hasil dari pembakaran bahan bakar yang berasal dari fosil (fossil fuel). Berdasarkan pertemuan PBB 1997 di Kyoto, Japan bahwa gas ini penyebab utama pemanasan global. Lalu Convention Climate Change (COP) mengembangkan apa yang kemudian diberi nama **Kyoto protocol**. Konferensi sepakat menargetkan bahwa pada tahun 2010 Negara berkembang harus mengurangi emisi green house sebesar 5% dari tahun 1990. Sedangkan Amerika Serikat telah memasang target 7% pada tahun tersebut (Keener,2001).

Penelitian dan strategi pengembangan produk yang dilakukan oleh pabrik pembuat mesin (engine manufacture) menunjukkan bahwa untuk saat



ini proses pengurangan emisi NOx, Sox dan partikel harus terus dilanjutkan tetapi dalam beberapa tahun mendatang emisi karbondioksida merupakan kajian yang paling penting. Diperkirakan gas CO₂ merupakan penyebab 50% terjadinya efek rumah kaca, penyebab potensial perubahan iklim dunia secara permanent (Tinsley,2003).

Sebuah studi yang dilakukan beberapa tahun lalu oleh Japan Ship & Ocean Foundation menunjukkan bahwa emisi CO₂ yang ditimbulkan oleh kapal-kapal di pelayaran samudra (Ocean Going Vessel) berjumlah 400 Mt per annum, sebuah angka yang fantastis dan diharapkan sedikitnya hanya bertambah 1% setiap tahun dalam decade ini. Sepertiga total CO₂ yang tersebar di atmosfer didapat dari sektor container, karakter yang berdaya tinggi dan kecepatan service yang cepat (Tinsley,2003). Grafik di bawah ini menunjukkan kenaikan kadar CO₂ dari tahun ke tahun (Yen,1999) :



Gbr.1.1.1 Tingkat kenaikan CO₂ di atmosfer (Yen,1999)



Seiring meningkatnya kadar CO₂ dilautan bebas maka terjadi pula peningkatan diameter lubang ozon (Tinsley,2003). Gambar di bawah ini adalah lubang ozon pada bulan November 2003 : -



Gbr 1 | 2 Lubang Ozon bulan Nopember 2003 (NASA Pers Release)

(Sumber: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selectMap?lang=e>)

Gas CO₂ di atmosfer sebenarnya sangat diperlukan tumbuhan untuk melakukan proses fotosintesis tetapi apabila jumlah gas tersebut terlalu banyak dan tumbuh – tumbuhan sudah tidak mampu menyerap gas CO₂ tersebut maka yang terjadi adalah proses terhalangnya radiasi panas dari bumi karena banyaknya gas CO₂ di atmosfer. Hal inilah yang disebut efek rumah kaca (green house effect).

Peranan tumbuhan untuk mengikat gas CO₂ sangat menguntungkan untuk bisa mengurangi penyebaran gas tersebut. Tetapi ketika kapal



beroperasi di laut mustahil kalau terlalu berharap peranan tumbuhan yang terletak jauh di daratan.

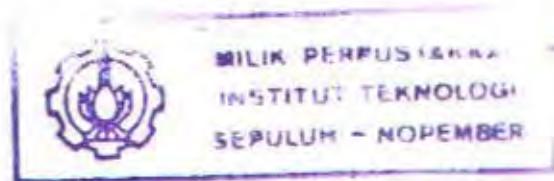
Air laut merupakan sumber daya alam terbesar di sekitar kapal. Air laut mengandung berbagai macam senyawa, mineral, unsure. Senyawa garam yang banyak terdapat adalah NaCl (Perry, 1982). Natrium yang merupakan unsure pembentuk senyawa garam ini merupakan unsure yang sangat reaktif atau mampu mengikat electron secara cepat. Pemisahan unsure Natrium dari senyawa NaCl dapat dilakukan dengan proses elektrolisis. Sehingga hasil ion Na yang terbentuk bisa mengikat elektron-elektron gas polutan.

1.2 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk membuat prototype yang bisa menurunkan kadar CO₂ dalam gas buang engine dengan memanfaatkan air laut dan mengetahui kemampuan maskimal prototype dengan cara melakukan proses kalibrasi prototype.

1.3 Perumusan masalah

Gas CO₂ secara normal banyak tersebar di udara. Gas CO₂ diperlukan tumbuhan untuk melakukan fotosintesis tetapi apabila jumlah gas CO₂ terlalu banyak maka bisa menyebabkan pemanasan global juga secara perlahan lahan lapisan ozon yang merupakan lapisan pelindung planet bumi berlubang semakin lama semakin besar.





Gas CO₂ bisa berikatan dengan golongan logam yang reaktif seperti golongan alkali. Unsur alkali yang paling umum adalah Natrium. Natrium sebagian besar banyak terkandung dalam senyawa garam NaCl. Apabila Larutan garam ini melalui proses elektrolisis maka menghasilkan senyawa NaOH. Senyawa NaOH ini apabila terjadi kontak massa dengan gas buang maka diharapkan dapat terjadi ikatan antara Natrium dengan CO₂ menjadi senyawa Natrium Carbonat (NaCO₃). Sehingga dihasilkan gas buang yang mengandung CO₂ yang rendah.

Dari penjelasan di atas dapat diambil perumusan masalah dalam tugas akhir ini , yaitu : Seberapa jauh kemampuan prototype untuk mengurangi emisi CO₂ tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian tugas akhir mempunyai batasan-batasan masalah ,yaitu :

- Tidak menganalisa proses reaksi kimia dan hasil reaksi kimia yang terjadi.
- Mengasumsikan bahwa air laut yang digunakan adalah murni suatu senyawa garam dengan kadar garam 3% sehingga air laut langsung diproses secara elektrolisis.
- Tidak menganalisa proses kerja prototype.

Bab II

Paper Review



BAB II

PAPER REVIEW

2.1. Pengurangan CO₂ sebagai target masa depan

Teknologi penurunan emisi saat ini sangat berkembang pesat. Hal ini sangat mendukung proses kelestarian lingkungan karena polusi udara per unit aktifitas transportasi di atmosfer semakin sedikit. Apabila dilihat dari sektor mesin kapal, maka emisi telah mencapai penurunan yang tajam terutama terhadap emisi gas buang yang cukup terkenal yaitu Oksida Nitrogen (Tinsley,2003).

Emisi gas buang motor diesel yang paling sering dibicarakan adalah Oksida Nitrogen (NO_x), Oksida Sulfur (SO_x). Oksida Nitrogen berperan dalam pembentukan hujan asam, ozone. Oksida Nitrogen ini terjadi karena terdapatnya kandungan Nitrogen dalam udara yang digunakan dalam proses pembakaran di dalam silinder. Oksida Sulfur juga berperan dalam pembentukan hujan asam. Oksida Sulfur ini terjadi karena terdapatnya kandungan belerang di dalam bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran. Selain kedua senyawa oksida tersebut, produk hasil pembakaran lain yang mulai dibicarakan adalah Karbondioksida (CO₂) (Tinsley,2003).



Beberapa usulan muncul untuk membuat suatu batas internasional NO_x dan SO_x. Sebagian usulan ini berada di bawah naungan badan lingkungan hidup. Badan pemerintah ini akan menyediakan suntikan dana untuk aplikasi kapal ramah lingkungan (green ship) dan mempunyai andil terhadap teknologi lingkungan. Keputusan ini sudah ditetapkan dan dinyatakan secara internasional melalui Annex VI. Keputusan ini diharapkan sudah diterapkan selama 2004 dan secara bertahap mengatur semua mesin diesel yang terpasang di dalam kapal yang sedang dibangun pada atau setelah awal Januari tahun 2000 (Tinsley,2003).

Peranan industri perkapalan dalam penyebaran CO₂ di atmosfer saat ini sedang diteliti dengan cermat. Pada tahun-tahun yang akan datang diperkirakan akan timbul suatu kriteria emisi sesuai ukuran-ukuran daya mesin penggerak masing-masing kapal. Hal – hal yang berhubungan dengan proses pengendalian CO₂ dan gas rumah kaca lain masih belum termasuk dalam peraturan Annex VI MARPOL tetapi masih dalam pertimbangan organisasi maritim internasional (IMO). Sedangkan Badan komite perlindungan lingkungan laut (MEPC) telah diberi tugas mempelajari kemungkinan struktur permasalahan ini.

Pada saat ini MEPC sedang bekerja mengidentifikasi dan mengembangkan mekanisme yang diperlukan untuk membatasi atau mengurangi emisi gas penyebab efek rumah kaca (GHG) dari dunia perkapalan internasional. Mekanisme ini meliputi penetapan suatu nilai batas



emisi GHG dan perumusan suatu metodologi berdasarkan suatu index yang menjelaskan suatu efisiensi GHG selain itu MEPC juga mulai memperkenalkan bahwa CO₂ menjadi GHG utama yang disebabkan oleh kapal.

Gas CO₂ adalah suatu produk pembakaran dari semua bahan bakar fosil dan gas ini dapat dikonversi oleh tumbuh-tumbuhan. Hasil konversinya adalah timbulnya oksigen. Apabila kadar CO₂ berlebihan di atmosfer dan tumbuh-tumbuhan sudah tidak mampu menangani, maka gas ini akan menghalangi halangi radiasi panas dari bumi, hal ini yang disebut 'efek rumah kaca' yang dihasilkan oleh aktivitas manusia sendiri.

Karakteristik timbulnya CO₂ tidak sama dengan NO_x. Jumlah CO₂ yang terkandung dalam gas buang mesin kapal merupakan fungsi kadar karbon dari bahan bakar dan kuantitas bahan bakar yang digunakan. Produksi gas ini juga ditentukan oleh kebutuhan daya mesin dan efisiensi sistem. Oleh karena itu suatu teknologi pengurangan NO_x seharusnya tidak membawa dampak terhadap kenaikan pemakaian bahanbakar (Tinsley,2003).

2.2 Penggunaan basa Mg(OH)₂ untuk reduksi CO₂

Pada tahun 2001 sampai 2005, kantor pengembangan batubara di Ohio, Kanada, melakukan suatu kegiatan untuk menentukan kelayakan digunakannya Mg(OH)₂ (yang diperoleh kembali dari suatu ME-FGD sistem) untuk memisahkan CO₂ dari stack. Kemudian ada proses regenerasi ulang



untuk memproduksi suatu CO_2 yang terkonsentrasi yang akan digunakan dalam proses pengikatan dan daur ulang Mg(OH)_2 . Apabila studi kelayakan ini sukses maka analisa terperinci proses penyerapan (absorpsi) dan daur ulang (desorpsi) akan dilakukan dalam kurun waktu 2-3 tahun dan studi berkelanjutan akan dilakukan selama 4 tahun. Pada akhir tiap tahun akan didapat data yang cukup untuk mengajak suatu mitra industri untuk mengendalikan teknologi pada suatu skala lebih besar.

Proyek penelitian akan terdiri dari 6 fase yang akan dilakukan dalam 4 tahun. Tahap-tahap ini adalah:

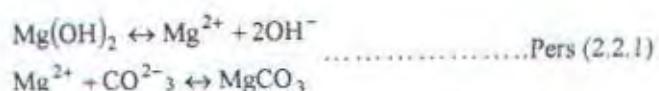
- 1) Studi konsep untuk membuktikan kelayakan proses absorpsi dan desorpsi CO_2 dari Stack dengan simulasi aliran Mg(OH)_2 (tahun pertama).
- 2) Konstruksi dan Disain dari suatu reactor perpindahan massa dan studi yang terperinci mengenai absorpsi/desorpsi dengan menggunakan Mg(OH)_2 hasil dari proses daur ulang/reclaim. Mekanisme absorpsi yang akan diselidiki seperti halnya koefisien perpindahan massa reaksi, efek laju kelarutan partikel, perbandingan fluida cair dan gas yang diperlukan, Peningkatan suhu dan efek asam organik sebagai larutan penyingga (tahun kedua).
- 3) Analisa rinci mengenai fluida yang terbentuk setelah proses absorpsi dan desorpsi (tahun ketiga).



- 4) Melakukan kesetimbangan energi dan massa di sekitar sistem untuk memperkirakan laju volumetris, konsentrasi padatan/solid concentrations, kebutuhan energi yang mampu menangani laju CO₂ (tahun keempat).
- 5) Proses terpadu/integrasi absorpsi dan desorpsi dengan menambahkan proses absorpsi CO₂ ke dalam sistem Flue Gas Desulfurization kemudian memperkirakan kebutuhan total energi per kilogram CO₂ hasil proses daur ulang.

Rencana kegiatan yang diajukan ini akan menyelidiki penggunaan magnesium hidroksida Mg(OH)₂. Senyawa basa ini merupakan produk yang dihasilkan dari penambahan perekat magnesium (ME-FGD) pada perangkat komponen penurun asam sulfur pada flue gas. Kemudian senyawa ini digunakan dalam absorber untuk memisahkan CO₂ yang terkandung dalam gas buang dari boiler (Keener,2001).

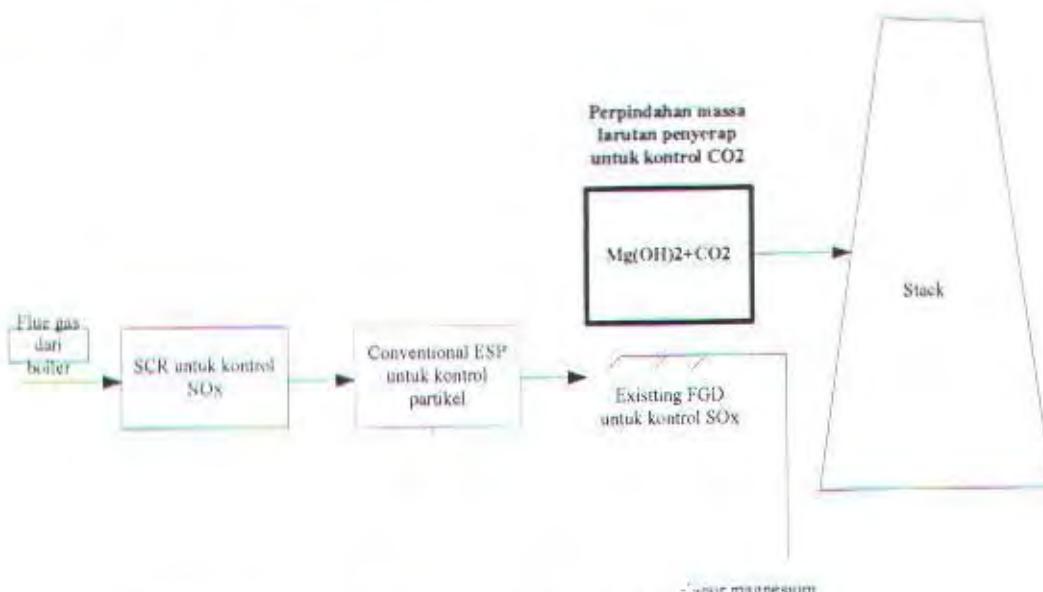
Penggunaan senyawa basa Mg(OH)₂ sebagai metode mengikat CO₂ dalam bentuk stabil sebagai senyawa carbonat (MgCO₃) atau sebagai rantai kimia untuk menyerap CO₂ pada absorber dan kemudian diregenerasi dan didaur ulang . Reaksi larutan seperti berikut :



Jumlah Magnesium hidroksida yang dibutuhkan dapat dihasilkan dari Magnesium yang mengandung kapur yang digunakan untuk tujuan ME-FGD,



dan teknologi ini sudah dipertunjukkan. Proses ini memerlukan temperatur rendah untuk memperbaharui $Mg(OH)_2$. Pada gambar di bawah ini suatu aplikasi perencanaan apabila suatu system ME-FGD diberi tahap tambahan ‘scrubbing’ untuk pemisahan CO_2 .



Gbr II.2.1 Alur scrubber untuk pemisahan CO_2 (Keener,2001)

Magnesium hidroksida dipilih sebagai larutan untuk proses scrubber dikarenakan sejumlah faktor teknis dan ekonomis. Pertama adalah sebagai produk yang dihasilkan oleh ME-FGD maka senyawa tersebut selalu siap tersedia dan produksinya tidak menambah jumlah CO_2 yang dilepas ke atmosfer (Keener,2001).

2.3 Proses pembakaran

Proses pembakaran terjadi karena terdapatnya faktor anggota segitiga api. Salah satu anggota segitiga api tersebut adalah Oksigen. Apabila suatu senyawa yang mengandung unsur Karbon terbakar dengan Oksigen maka



akan membentuk senyawa Karbondioksida seperti yang terjadi dalam persamaan reaksi pembakaran di bawah ini, (Obert,1973):



Persamaan di atas dapat dinyatakan :



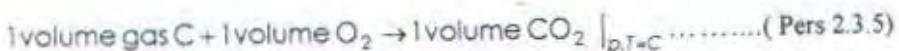
Massa relative gas yang bereaksi dengan hasil reaksi ditunjukkan dalam berat molekul:



Berdasarkan setiap massa yang ditunjukkan dalam persamaan Pers 2.3.3 di atas maka perbandingan mol adalah :



Apabila keadaan senyawa di atas merupakan keadaan gas sempurna yaitu di dalam kondisi suhu dan tekanan tetap maka persamaan bisa ditulis :

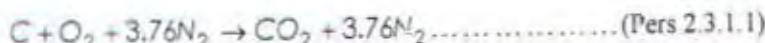


2.3.1 Proses pembakaran dengan udara

Proses pembakaran dalam silinder motor bakar adalah dengan udara atmosfer. Pada keadaan ini beda sekali dengan proses pembakaran yang hanya menggunakan Oksigen murni. Udara tidak hanya mengandung Oksigen tetapi juga banyak gas lain. Salah satu jenis gas yang terdapat dalam kuantitas besar di udara adalah Nitrogen. Terdapatnya Nitrogen dan gas – gas lain di dalam udara maka akan mengurangi konsentrasi oksigen dan seringkali muncul



sebagai produk pembakaran yang tidak bisa diubah bentuknya. Berikut contoh pembakaran udara kering yang mengandung 3.76 mol nitrogen yang mengikuti tiap mol oksigen (Obert, 1968):



Lalu mengalikan reaksi di atas masing – masing dengan berat molekul masing masing senyawa, maka :



Berikut langkah menyeimbangkan reaksi kimia pembakaran lengkap $C_8 H_{18}$ dengan udara kering :



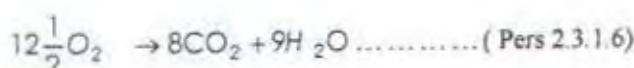
Pertama adalah menyeimbangkan jumlah atom karbon (Creaksi=Chasil reaksi) :



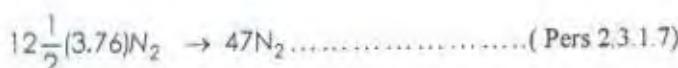
Kedua adalah menyeimbangkan jumlah atom hydrogen :



Ketiga adalah menyeimbangkan jumlah atom Oksigen :

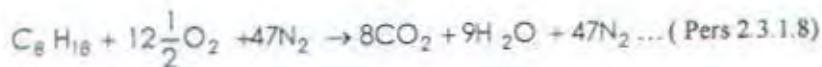


Yang terakhir adalah menyeimbangkan atom Nitrogen , diketahui bahwa $N_2 = 3.76 O_2$ maka





Sehingga persamaan lengkap proses pembakaran adalah :



2.4 Electrolysis

Reaksi elektrokimia merupakan proses kimia yang menyebabkan pemindahan ion ke atau dari suatu elektrode. Elektrode umumnya logam, karbon atau semikonduktor. Reaksi ini hanya bisa terjadi pada sebuah perangkat komponen (cell) yang mengandung elektrode dan untuk menghindari berkumpulnya menumpuknya ion positif dan negatif maka jumlah reduksi pada katode dan oksidasi pada anode harus sama. Dalam kenyataannya, pergerakan ion melalui larutan dan suatu pemisah antara elektrode harus tetap terjaga ketetralan antara larutan elektrolit, anion bergerak ke anode atau kation bergerak ke katode dalam kuantitas yang cukup. Hal ini untuk tetap menjaga keseimbangan arus listrik/charge (Hamann, 1998).

Salah satu aplikasi karbon dalam elektrokimia adalah elektrode, baik sebagai elektrokatalist atau sebagai pengantar listrik. Karbon merupakan material yang atraktif untuk elektrode karena ketersediaannya dalam berbagai variasi struktur fisik dan kurang reaktif terhadap elektrokimia. Batang grafit padat atau glassy carbon, karbon berongga dan polymer karbon hitam adalah sedikit contoh elektrode karbon yang tersedia. Dekomposisi potensial untuk



oksidasi dan reduksi larutan atau elektrolit seringkali menentukan batasan potensial yang digunakan untuk electrode karbon. Harga besar tegangan/potensial elektrode karbon dalam larutan seringkali dibatasi oleh dua latar belakang proses, yaitu: evolusi hydrogen dan reduksi oksigen. Elektrode grafit bisa diterapkan sebagai potensial positif atau negatif. Besar tegangan graphit yang bisa digunakan adalah sekitar 1,3 volt pada PH antara 1 sampai 7. Elektrode graphit bisa digunakan pada larutan pada PH serendah – rendahnya 1,6. Lalu keuntungan lain elektrode karbon adalah alasan konduktivitas listrik yang sangat tinggi, permukaan yang mampu berperan aktif dalam proses elektrolisis/reproducible yang tinggi dan biaya yang relatif rendah (Kinoshita, 1988)..

Arus listrik kita gunakan untuk ‘memaksa’ berlangsungnya reaksi reduksi-oksidasi (redoks) yang tidak spontan, yaitu penguraian elektrolit menjadi unsur-unsurnya. **Peristiwa penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik disebut elektrolisis.** Metode ini ditemukan oleh Sir Humphry Davy pada awal abad 19. Sehingga manusia bisa memperoleh unsur –unsur yang tidak dijumpai di alam dalam bentuk unsur bebasnya (Perry, 1980).

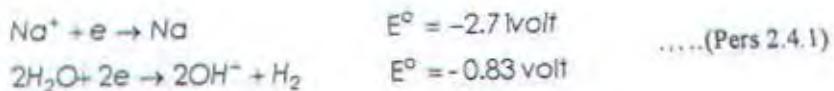
Sel elektrolisis memerlukan elektrode-elektrode. Pada sel ini yang sering dipakai adalah berupa dua batang karbon atau platina. Elektrode ini tidaklah bereaksi melainkan hanya menyediakan permukaannya sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Dua batang karbon atau platina itu dicelupkan ke dalam larutan atau cairan elektrolit. Masing-masing batang elektrode itu



bertindak sebagai katode (tempat berlangsungnya reduksi) dan anode (tempat berlangsungnya oksidasi).

Sumber arus listrik akan memompakan elektron ke katode dan elektron ini akan ditangkap oleh kation (ion positif). Jadi pada permukaan katode terjadi reduksi terhadap kation. Pada saat yang sama, anion melepaskan elektron dan elektron ini melalui anode dikembalikan ke sumber arus. Jadi pada permukaan anode terjadi oksidasi terhadap anion. Dikarenakan kation menuju katode maka katode dinamakan elektrode negatif. Sebaliknya anode merupakan elektrode positif sebab didatangi oleh anion (ion negatif) (Hamann, 1998).

Pada elektrolisis larutan, terjadi kompetisi atau persaingan antara kation dan molekul air dalam menangkap elektron di katode. Sebagai contoh apabila suatu larutan NaCl, reaksi reduksi yang berkompetisi sebagai berikut:

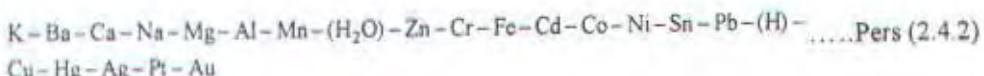


Berdasarkan persamaan di atas maka diketahui bahwa untuk proses reduksi Na memerlukan tegangan/potensial reduksi minimal -2.7 volt. Potensial reduksi dengan lambang E° didefinisikan sebagai potensial listrik yang ditimbulkan apabila suatu ion logam menangkap elektron (mengalami reduksi) menjadi logamnya. Makin mudah suatu ion logam mengalami reduksi makin besar potensial reduksi (E) yang ditimbulkan.



Setiap logam mempunyai sifat reduktor. Hal ini dikarenakan setiap logam cenderung melepaskan elektron atau mengalami oksidasi. Logam ada yang bersifat reduktor kuat (mudah teroksidasi) seperti logam-logam alkali namun ada juga yang bersifat reduktor lemah (sukar teroksidasi) seperti logam-logam mulia (Perry,1998).

Pada tahun 1825, Alessandro Giuseppe Volta (1745-1827) dari Italia menyusun urutan logam-logam yang dikenal saat itu. Logam yang baru berjumlah 20 jenis dari reduktor terkuat sampai reduktor terlemah berdasarkan eksperimen. Urutan logam-logam itu hingga kini kita sebut deret volta. Air dan hydrogen meskipun bukan logam dimasukkan juga oleh Volta sebagai anggota deret.



Makin ke kiri letak suatu logam dalam deret volta maka sifat reduktornya semakin kuat. Sehingga suatu logam dalam deret volta mampu mereduksi ion-ion di sebelah kanannya tetapi tidak mampu mereduksi ion-ion di sebelah kirinya.

Berdasarkan harga potensial reduksi (E°), H_2O lebih mudah menangkap electron daripada ion Na^+ . Akibatnya ion Na^+ tidak direduksi sehingga di katode tidak terbentuk logam natrium. Yang berlangsung di katode adalah reduksi terhadap H_2O menghasilkan gas H_2 (Perry,1980).



Reaksi pada Katode	Reaksi pada Anode
<p>1. Ion-ion logam alkali, alkali tanah, Al^{3+} dan ion-ion logam yang memiliki E° lebih kecil dari -0.83 volt tidak direduksi dari larutan. Yang direduksi larutan adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas Hidrogen (H_2).</p> $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$	<p>1. Ion-ion yang mengandung atom dengan bilangan oksidasi maksimum, misalnya SO_4^{2-} atau NO_3^- tidak dapat dioksidasi. Yang dioksidasi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas Oksigen(O_2).</p> $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4e + \text{O}_2$
<p>2. Ion-ion logam yang memiliki E° lebih besar dari -0.83 volt direduksi menjadi logam yang diendapkan pada permukaan katode.</p> $\text{M}^{n+} + ne \rightarrow \text{M}$	<p>2. Ion-ion halida (X^-), yaitu F^-, Cl^-, Br^- dan I^-. Dioksidasi menjadi halogen(X_2) yaitu F_2, Cl_2, Br dan I_2.</p> $2\text{X}^- \rightarrow \text{X}_2 + 2e$
<p>3. Ion H^+ dari asam direduksi menjadi gas hydrogen (H_2).</p> $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$	<p>3. Ion OH^- dari basa dioksidasi menjadi gas oksigen (O_2).</p> $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4e + \text{O}_2$

Tabel 2.4.1 Reaksi pada katode (1) (Anshory, 1994)



Reaksi pada Katode	Reaksi pada Anode
<p>4. Apabila yang dielektrolisis adalah leburan (elektrolit) tanpa ada air maka ion-ion pada nomor (1) di atas dapat mengalami reaksi pada nomor 2 sehingga diperoleh logam yang diendapkan pada permukaan katode.</p>	<p>4. Pada proses penyepuhan dan pemurnian logam maka yang dipakai sebagai anode adalah suatu logam sehingga anode (logam) mengalami oksidasi menjadi ion yang larut.</p> $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$

Tabel 2.4.1 Reaksi pada katode (2) (Perry, 1980)

Kemampuan suatu larutan yang bisa menghantarkan listrik (larutan elektrolit) untuk bisa melewaskan arus listrik tergantung daripada mobilitas ion-ion bermuatan yang terdapat dalam medan listrik antara kedua elektrode yang terendam di dalam larutan tersebut. Ion bermuatan ze_0 yang diatur oleh medan listrik yang kuat (E) merupakan subyek dari gaya gesekan (Kr) (Hamann, 1998). Berdasarkan formula Stokes :

$$K_F = 6\pi\eta r_1 v$$

dim ana :

η = viskositas media (Pers 2.4.3)

v = kecepatan

r_i = radius ion

Sesaat setelah terjadi induksi kecepatan mencapai batas maksimum (v_{max}), berikut merupakan keseimbangan gaya listrik:

$$ze_0E = 6\pi\eta r_1 v_{\max}$$

dan kecepatan terminal adalah : (Pers 2.4.4)

$$V_{max} = \frac{ze_0 E}{6\pi n r_i}$$



Berdasarkan persamaan di atas maka dapat dinyatakan bahwa harga η dan E yang timbul setiap ion maka akan mempunyai kecepatan pindah tergantung dari muatan dan jarak ion senyawa yang larut sedangkan arah perpindahannya tergantung dari tanda muatan (Hamann, 1998).

Apabila pada suatu larutan yang mengandung kation dan anion terdapat kecepatan terminal kation maksima(v_{max}^+) dan sejumlah muatan in ze_0 per unit volume adalah n^+ maka $An^+ v_{max}^+$ merupakan kuantitas ion positif yang lewat setiap waktu melalui permukaan A.

$$I = I^+ + I^- = \frac{dQ^+}{dt} + \frac{dQ^-}{dt} = Ae_0(n^+z^+v_{max}^+ + n^-z^-v_{max}^-) \dots \dots \dots \text{(Pers 2.4.5)}$$

Pada persamaan di atas, kecepatan v_{max}^+ dan v_{max}^- tergantung medan listrik [E]. Mobilitas (u) pada geometri elektrode yang tetap dan suatu beda potensial (ΔV) pada kedua elektrode didefinisikan:

$$U = v_{max} / |E| \dots \dots \dots \text{(Pers 2.4.6)}$$

$$I = (Ae_0(n^+z^+u^+ + n^-z^-u^-)|E|) \dots \dots \dots \text{(Pers 2.4.7)}$$

Apabila beda potensial elektrode adalah ΔV dan jarak elektrode adalah l kemudian medan listrik adalah $(E) = (\Delta V)/l$. Maka konduktansi (G):

$$I = G / \Delta V$$

$$G = (A/l)e_0(n^+z^+u^+ + n^-z^-u^-) \dots \dots \dots \text{(Pers 2.4.8)}$$

Dari persamaan di atas dapat kita lihat bahwa konduktansi tergantung dari keadaan alami ion yang terpecah(z dan r), konsentrasi ion (n^+ dan n^-), viskositas(η), suhu (T), dan dimensi cell tepatnya luasan(A) elektrode dan proses pemisahan dan jarak elektrode(l) (Hamann, 1998).

CO_2 bisa terikat dengan stabil dengan logam alkali. Logam alkali ini hanya mempunyai satu elektron di kulit terluar sehingga mudah sekali melepaskan satu electron agar mempunyai struktur elektron yang stabil.



Logam – logam alkali merupakan logam – logam yang paling reaktif di antara semua golongan logam lainnya. Tidaklah aneh jika logam logam alkali tidak ditemukan di alam dalam keadaan unsure bebas melainkan selalu kita jumpai dalam bentuk senyawa – senyawanya (Perry,1982).

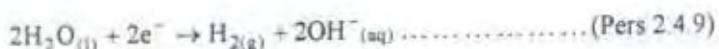
Nama unsur	Lambang	Nomor atom	Konfigurasi elektron
Lithium	Li	3	$1s^2 2s^1$
Natrium	Na	11	$(Ne)3s^1$
Kalium	K	19	$(Ar)4s^1$
Rubidium	Rb	37	$(Kr)5s^1$
Sesium	Cs	55	$(Xe)6s^1$
Fransium	Fr	87	$(Rn)7s^1$

Tabel 2.4.2 Anggota unsure alkali (1) (Anshory,1994)

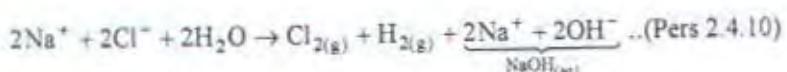
Air laut mengandung senyawa alkali yang terkenal yaitu NaCl dalam bentuk garam yang terlarut. Konsentrasi ion Na^+ pada air laut adalah 0.47 molar. Larutan garam NaCl apabila mengalami proses elektrolisis maka akan menghasilkan senyawa basa NaOH (Caustic Soda). NaOH bisa mengikat CO_2 dalam bentuk $NaCO_3$ (Nemerow,1971) .

Proses elektrolisis NaCl adalah sebagai berikut :

- Ketika larutan garam(brine) digunakan,reaksi I, pada katode terjadi reduksi air :



- Ketika reaksi anode dan katode digabung dan terdapat ion Na^+ , maka reaksi menjadi :



Proses di atas selalu membawa kontaminasi dari NaOH oleh NaCl yang tidak bereaksi dan juga terbentuknya ion hypoklorit. Ion hypoklorit ini terbentuk karena reaksi antara OH^- dan Cl yang dihasilkan di anode. Maka dari itu seharusnya produk yang terbentuk pada katode harus dilindungi dari sentuhan produk yang terbentuk di anode. Salah satu caranya yaitu dengan menggunakan diaphragm atau dengan menggunakan membran (Hamann, 1998).

Membran pemisah yang digunakan harus mampu mengalirkan ion Na^+ tetapi mampu menahan ion Cl^- dan ion OH^- . Membran ini harus bisa stabil untuk waktu yang lama, mempunyai daya selektifitas tinggi dan tahanan listrik kecil dan kuat secara mekanis (Hamann, 1998).

Orang yang sangat berjasa dalam bidang elektrolisis adalah Michael Faraday (1791-1867). Beliau selain mengembangkan metode elektrolisis juga menerangkan hubungan kuantitatif antara jumlah arus listrik yang dilewatkan pada sel elektrolisis dengan jumlah zat yang dihasilkan pada elektrode (Anshory, 1994).



Pada saat beliau masih hidup, para ahli kimia memakai konsep berat ekivalen dalam perhitungan stoikiometri. Berdasarkan kenyataan bahwa dalam pembentukan air setiap 1 gram hidrogen selalu bereaksi dengan 8 gram oksigen maka berat ekivalen (e) suatu unsur didefinisikan sebagai jumlah gram unsur tersebut yang tepat habis bereaksi dengan 1 gram hydrogen atau dengan 8 gram oksigen. Dengan sendirinya hydrogen memiliki harga $e=1$ dan oksigen memiliki harga $e=8$. Harga e dari unsur-unsur lain dapat ditentukan. Misalnya , Aluminium sebanyak 9 gram tepat habis bereaksi dengan 8 gram oksigen untuk membentuk aluminium oksida, sehingga aluminium memiliki $e=9$. Demikian pula, 35.5 gram klorin tepat bereaksi dengan 1 gram hidrogen klorida sehingga klorin memiliki $e=35.5$.

Melalui eksperimen beliau merumuskan beberapa kaidah perhitungan elektrolisis yang dikenal dengan hukum faraday sebagai berikut:

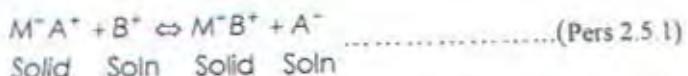
1. Jumlah zat yang dihasilkan pada elektrode berbanding lurus dengan jumlah arus listrik yang melalui sel elektrolisis.
2. Apabila suatu arus listrik yang sama dilewatkan pada beberapa sel elektrolisis maka berat zat yang dihasilkan masing-masing sel berbanding lurus dengan berat ekivalen zat-zat tersebut.

2.5 Penukar ion (ion exchanger)

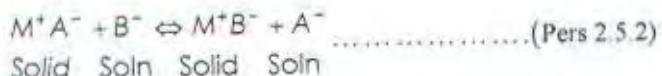
Sebuah reaksi ion exchange bisa diartikan sebagai pertukaran ion yang mampu balik/reversible antara fase padat (ion exchanger/IE) dan suatu fase larutan. IE seringkali bersifat insoluble pada suatu medium dimana terjadi



proses pertukaran. Apabila suatu IE diberi lambang M^-A^+ maka IE ini membawa kation A^+ sebagai ion penukarannya. Pada saat IE ini diletakkan pada suatu larutan yang mengandung B^+ maka akan terjadi reaksi pertukaran ion dalam persamaan di bawah ini (Helfferich,1962):



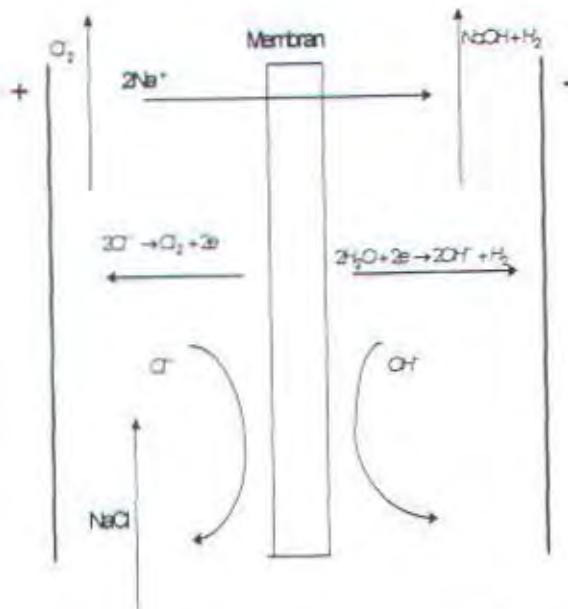
Reaksi keseimbangan yang tertulis di atas adalah suatu contoh pertukaran ion positif. M^- adalah komplement anion tetap yang bersifat insoluble yang terkandung dalam IE M^-A^+ . Unsur M seringkali disebut anion tetap/fixed anion. Kation A^+ dan B^+ diartikan sebagai counter ions, sedang ion suatu unsur dalam larutan yang mana mengandung charge yang sama dengan anion tetap pada media penukar ion disebut co-ions. Dengan cara yang sama, anion bisa diperlakukan seperti itu apabila digunakan media penerima anion. Analogi suatu reaksi pertukaran anion bisa dituliskan:



Karakteristik penting sebuah IE yang ideal adalah (Grimshaw,1975):

- Bentuk yang bisa direproduksi lagi
- Kapasitas pertukaran ion efektif dan pengontrolan
- Pertukaran cepat
- Stabilitas kimia
- Stabilitas fisik dalam artian kekuatan mekanis
- Stabilitas thermal

Gambar berikut ini merupakan aplikasi suatu media penukar ion yang berbentuk membran. Membran ini berfungsi untuk mencegah kontaminasi antara dua fluida dalam dua kompartemen tersebut.

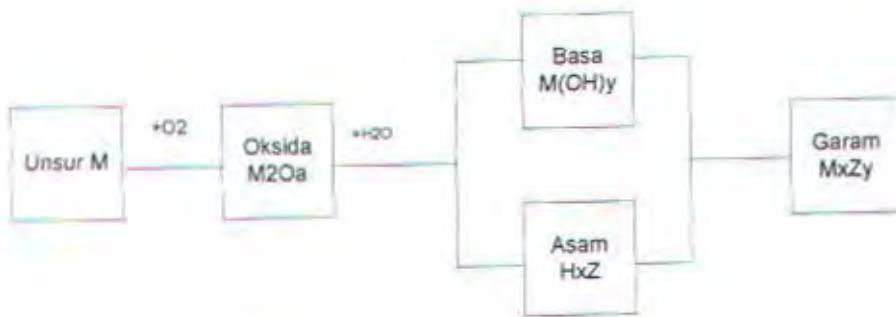


Gambar 2.5.1 Proses elektrolisis menggunakan IE

Senyawa garam masuk pada kompartemen di sebelah kiri kemudian dengan proses elektrolisis maka ion positif akan terurai dari senyawa. Natrium sebagai ion positif akan melewati membran sedangkan ion negatif (Cl^-) dihambat oleh membran. Pada kompartemen di sebelah kanan merupakan kompartemen pemproduksi basa. Larutan basa diharapkan tidak terkontaminasi dengan air yang mengandung klorin sehingga diharapkan konsentrasi basa benar-benar sangat baik.

2.6 Reaksi dasar senyawa garam

Suatu senyawa garam bisa terbentuk dengan reaksi antara senyawa basa dan senyawa asam. Reaksi dasar dari Oksida asam, basa dan garam dapat dijelaskan pada gambar di berikut ini (Perry,1980):



Gambar 2.6.1 Reaksi dasar asam-basa

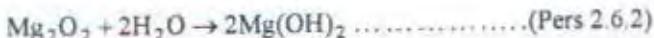
Keterangan : a= valensi unsure M (logam/nonlogam/semilogam)

Y= valensi basa

X= valensi asam

Apabila M adalah logam maka a=y

Suatu rumus basa diperoleh dengan memulai lambang atom logam lalu diakhiri dengan gugus OH yang banyaknya sama dengan valensi atom logam dalam basa tersebut. Jadi apabila basa caustik soda maka unsur Na⁺ mempunyai elektron valensi satu. Sehingga rumus reaksi basa adalah seperti persamaan (a) di bawah. Sedangkan apabila suatu basa magnesium hidroksida maka unsur Mg mempunyai elektron valensi 2. Sehingga rumus reaksi basa adalah seperti persamaan (2).



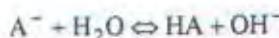
2.7 Kandungan garam di laut

Produk yang diharapkan dari eksperimen ini adalah terbentuknya senyawa kimia yang memang biasa terdapat di lautan sehingga hasil

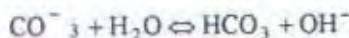


ekperimen tidak menghasilkan suatu polutan lagi yang bisa membahayakan lingkungan laut. Apabila senyawa basa terbentuk dari senyawa basa kuat seperti NaOH, Mg(OH)₂, KOH yang mengandung unsur kation Na⁺, Mg²⁺, K⁺ dan beberapa unsur basa kuat lain maka diharapkan terbentuk senyawa Karbonat (XCO₃). X melambangkan unsur kation garam yang berasal dari unsure – unsur basa kuat tersebut.

Natrium Karbonat (Na₂CO₃) merupakan jenis senyawa garam yang terbentuk dari kation basa kuat dan anion dari asam lemah. Apabila suatu jenis garam seperti ini dilarutkan dalam air maka kation yang berasala dari basa kuat tidak terhidrolisis tetapi anion yang berasal dari asam lemah akan mengalami proses hidrolisis. Dapat dikatakan senyawa ini akan mengalami hidrolisis sebagian, yaitu anionnya saja.



JADI: (Pers 2.7.1)



Hidrolisis anion akan menghasilkan molekul **HCO₃** serta ion OH⁻. Sehingga larutan akan bersifat basa karena adanya tambahan ion OH⁻ ini.

Air laut (khususnya di daerah samudra) mengandung berbagai jenis garam. Kandungan garam di air laut khususnya lautan bebas yang mana tidak terpengaruhi oleh aliran dari daratan, mempunyai komposisi yang hampir tetap. Analisis **Dittmar** dari 77 sampel air yang dikumpulkan oleh HMS Challenger pada tahun 1873-1876 dari seluruh samudra menunjukkan suatu keadaan yang konstan. Berikut tabel komposisi garam di lautan bebas :



Na^+	30.4	Cl^-	55.2
Mg^{2+}	3.7	SO_4^{2-}	7.7
Ca^{2+}	1.16	Br^-	0.19
K^+	1.1	H_3BO_3	0.07
Sr^{++}	0.04	HCO_3^- dan	0.35
		CO_3^{2-}	

Tabel 2.7.1 Persentase (%) komposisi garam dalam samudra bebas

Tabel di atas adalah anggota senyawa garam utama (major constituents) yang terkandung di air laut. Senyawa garam yang dibentuk oleh Na^+ dan Cl^- mempunyai persentase yang paling besar.

Air laut mengandung Karbondioksida. Karbondioksida terdapat dalam ion Bicarbonate dan karbonat, molekul CO_2 , dan juga sebagai Carbonic Acid (HCO_3^-). Maka berdasarkan tabel di atas, produk eksperimen berbentuk senyawa HCO_3^- memang biasa terdapat di air laut dan tidak bersifat racun.

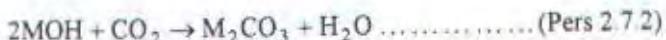
Senyawa karbondioksida (CO_2) yang terkandung dalam gas buang mesin diesel adalah berasal dari senyawa pembentuk bahan bakar yang mengandung atom-atom karbon. Apabila atom-atom karbon ini bereaksi dengan oksigen pada saat proses pembakaran di dalam silinder maka akan terjadi ikatan kimia yang disebut ikatan nonpolar.

Gambar 2.7.1 Ikatan nonpolar CO_2



Gambar di atas adalah gambar ikatan nonpolar senyawa karbondioksida. Pasangan elektron terdistribusi secara simetris diantara atom-atom penyusun senyawa sehingga pasangan elektron tertarik sama kuat ke semua atom.

Karbondioksida bisa melakukan mekanisme transfer oksigen. Dalam mekanisme ini oksigen dalam gas ini diekstrak oleh sebuah katalis. Katalis beroperasi dalam reaksi reduksi-oksidasi dimana akan terjadi reduksi oleh karbon dan oksidasi oleh gas pereaksi. Seperti reaksi kimia di bawah ini :



M merupakan lambang unsur logam. Apabila M ini merupakan suatu unsur logam reaktif seperti Natrium maka senyawa MOH menjadi NaOH yang merupakan caustic soda atau sodium hidroksida.

2.8 Absorpsi

Absorpsi dapat diartikan sebagai suatu operasi yang menyebabkan timbulnya perpindahan/transfer suatu material/massa dari satu fase ke fase lain. Salah satu contoh adalah proses pengeringan udara dari suatu benda padat yang basah, memerlukan perpindahan air dari fluida cair ke fase gas dalam suatu kondisi yang mana air seakan akan ‘hilang’ menjadi udara oleh suatu proses difusi yang rumit. Pada hampir semua kasus hal merupakan perpindahan antar fase. Prinsip utama dari proses ini adalah transfer massa secara molekul dan difusi eddy dalam fase tunggal (Sherwood,1952).



Absorpsi gas merupakan suatu operasi dimana suatu campuran gas bersentuhan dengan suatu fluida cair yang ditujukan molarutkan satu atau lebih komponen gas. Operasi memerlukan transfer massa suatu substansi dari aliran gas ke fluida cair (Treybal, 1980).

Laju dimana komponen gas akan larut pada fluida cair tergantung kesetimbangan (equilibrium) yang terjadi maka dari itu perlu untuk mempertimbangkan karakteristik kesetimbangan sistem gas-fluida cair. Apabila sejumlah gas tunggal dan fluida cair yang tidak mudah menguap terjadi pada suatu kesetimbangan. Konsentrasi yang terjadi dari suatu gas yang larut pada fluida cair disebut sebagai daya larut gas pada suatu tekanan dan temperatur tertentu (Treybal,1980).

Apabila suatu fase fluida cair dikatakan ideal maka kita bisa mengetahui kesetimbangan tekanan parsial suatu gas dari suatu larutan. Ketika campuran gas pada kesetimbangan dengan larutan fluida cair ideal juga mengikuti hukum ideal gas, tekanan parsial p^* suatu larutan gas A sama dengan tekanan uap p pada temperatur sama dan fraksi mol larutan x . Ini merupakan hukum Raoult's law:

$p^* = p_x \dots \dots \dots \text{Pers (2.8.1)}$

Tanda asterisk (*) merupakan keadaan kesetimbangan.

Apabila tujuan utama operasi serapan (absorpsi) adalah untuk membuat suatu larutan khusus misalnya pada pabrik hydrochloric acid maka pemilihan senyawa pelarut harus dispesifikasikan oleh sifat alami produk. Apabila



tujuannya adalah untuk membawa suatu komponen yang terkandung pada suatu gas maka ada pertimbangan-pertimbangan tersendiri misalnya dengan menggunakan air karena merupakan senyawa pelarut yang paling melimpah jumlahnya dan murah. Hal-hal berikut di bawah ini perlu dijadikan pertimbangan dalam memilih senyawa pelarut untuk proses absorpsi :

➤ Solubilitas gas

Daya larut (solubility) gas haruslah tinggi, hal ini menyebabkan laju absorpsi meningkat dan menurunkan sejumlah larutan yang diperlukan. Minyak hidrokarbon digunakan untuk menghilangkan benzene dari coke oven gas. Pada suatu hal dimana larutan yang terbentuk adalah ideal, kelarutan gas adalah sebanding dengan fraksi mol untuk semua zat pelarut. Reaksi kimia dari suatu zat pelarut dengan zat yang akan terlarut akan lebih sering berhasil dalam gas yang mempunyai solubilitas tinggi. Sebagai contoh, hidrogen sulfide bisa dihilangkan dari campuran gas dengan menggunakan larutan ethanolamine dengan syarat sulfide harus bisa siap menerima pada temperatur rendah dan secara mudah dilepaskan pada temperatur tinggi.

➤ Tekanan uap (volatilitas)

Zat pelarut harus mempunyai tekanan uap yang rendah apabila gas yang keluar pada suatu proses absorpsi biasanya sering dalam keadaan jenuh dengan zat pelarut dan kebanyakan bisa terjadi kegagalan. Apabila diperlukan, cairan kedua yang mempunyai sifat volatilitas rendah bisa digunakan untuk mendapatkan kembali/recover beberapa bagian yang menguap pada tahap



pertama. Contohnya adalah proses absorpsi hydrogen sulfide dengan larutan air mengandung sodium phenolate tetapi gas yang telah berkurang sulfurnya akan mengalami pencucian (Washed) dengan air untuk mendapatkan lagi phenol yang menguap tadi.

➤ Faktor korosi

Bahan konstruksi yang diperlukan harus tahan korosi

➤ Biaya

Larutan yang digunakan harusnya murah, sehingga kerugian itu tidak membuang banyak biaya dan harus siap tersedia.

➤ Viskositas

Viskositas rendah adalah diperlukan apabila diperlukan proses absorpsi secara cepat, karakteristik perangkat absorpsi yang selalu dalam keadaan basah (flooding), pressure drop yang rendah dan karakteristik perpindahan panas yang baik.

➤ Beberapa hal lain

Zat pelarut haruslah tidak beracun, tidak mudah terbakar dan secara kimia adalah stabil dan haruslah mempunyai titik beku rendah.

Salah satu perangkat yang digunakan sebagai proses transfer massa antara fluida yang berbeda fase adalah scrubber (Kate,2000). Scrubber mempunyai 2 tipe yaitu energi rendah dan energi tinggi. Pada jenis scrubber energi rendah pemindahan gas lebih efisien apabila dibandingkan daripada pemindahan partikel. Hal ini dikarenakan waktu kontak atau transfer massa



antara larutan dengan gas lebih lama. Scrubber energi rendah tergantung panjang permukaan kontak atau interfase antara gas dan aliran larutan untuk mengumpulkan partikel/kontaminan. Sedangkan scrubber energi tinggi memanfaatkan kecepatan gas yang tinggi untuk memindahkan partikel ke bawah sampai ukuran sub-mikron. Efisiensi penyerapan gas tidak terlalu baik dikarenakan gerakan gas dan larutan yang searah/co-current dan menghasilkan gas yang terbatas atau waktu kontak yang sedikit (Snyder,2000).

2.8.1 Perangkat operasi gas dan fluida cair (liquid)

Tujuan beberapa perlengkapan yang diperlukan untuk operasi gas-liquid adalah untuk membuat kontak massa dari 2 fluida sehingga diharapkan terjadinya difusi interfase dari beberapa zat-zat yang terkandung. Laju daripada transfer massa secara langsung tergantung terhadap permukaan interfasial antar fase,sifat alamiah dan derajat penyebaran/disperse dari suatu fluida ke fluida yang lain merupakan hal yang sangat penting. Jenis perangkat yang digunakan secara prinsip dapat dibedakan apakah fluida yang akan disebarluaskan adalah fluida cair atau gas (Treybal,2003)..

2.8.1.1 Gas tersebar

Prinsip kerja absorpsi untuk tipe gas tersebar adalah menyebarkan gas ke suatu gelembung fluida cair yang terdapat di dalam perangkat absorpsi. Pada tipe ini terdiri dari beberapa perangkat bejana sebar, bejana aduk dan berbagai macam tipe tray tower. Tray tower merupakan tipe perangkat



absorpsi yang paling penting dan diperhatikan apabila untuk aplikasi dua fluida yang berlawanan dan kontak banyak tahap (Treybal, 1980).

Susunan banyak tahap dengan arah fluida gas dan cair berlawanan bisa dibuat dengan bejana bertingkat dan pipa pengaduk untuk membawa gas dari bagian atas satu tangki menuju bagian dasar begitu seterusnya dan fluida cair (liquid) bergerak dengan arah yang berlawanan.

Tray tower merupakan silinder vertikal dimana fluida cair dan gas mempunyai kontak massa pada setiap tahapan pelat (tray). Fluida cair (liquid) masuk pada bagian atas dan mengalir turun secara gravitasi. Kemudian mengalir sepanjang tiap tray. Gas menuju ke atas melalui lubang-lubang pada tray kemudian menggelembung melalui liquid lalu menjadi buih, buih meletus dan menuju ke tray selanjutnya yang ada di atas. Efek keseluruhan adalah terjadinya banyak sentuhan berlawanan arah dari gas dan liquid. Tiap tray adalah merupakan tiap tahapan itu sendiri. Apabila fluida bersentuhan pada tray ini maka muncul difusi interfase dan fluida akan terpisah.

Jumlah tahapan kesetimbangan (tray teoritis) pada suatu kolom atau tower bergantung terhadap kesulitan yang harus dilakukan dan ditentukan dari kesesuaian material dan pertimbangan kesetimbangan. Tahapan atau efisiensi tray serta jumlah tray ditentukan dengan desain mekanis yang digunakan dan kondisi operasi. Diameter tower tergantung terhadap jumlah fluida cair dan gas yang mengalir melalui tower per unit waktu. Apabila jumlah tahap keseimbangan atau tray teoritis yang diperlukan sudah ditentukan, masalah



yang utama pada desain tower adalah memilih dimensi dan susunan yang mana akan terjadi suatu kompromi desain yang terbaik. Hal ini dikarenakan pada kondisi-kondisi yang mendorong ke arah efisiensi tinggi biasanya menyebabkan berbagai kesulitan operasional.

Untuk tahap atau efisiensi tray yang tinggi maka waktu kontak haruslah panjang dan harus bisa menimbulkan terjadinya difusi, permukaan yang terhubung antar fase haruslah besar dan intensitas turbulen tinggi diperlukan untuk mencapai koefisien transfer massa yang tinggi. Pada saat kecepatan gas tinggi maka fluida ini akan disebarluaskan sepenuhnya ke fluida cair yang mana berubah menjadi buih. Kejadian ini akan menyediakan permukaan sentuh yang besar. Untuk efisiensi tray tinggi maka diperlukan genangan air yang banyak dan kecepatan gas yang sangat tinggi.

Kondisi kejadian seperti di atas mempunyai sisi kerugian. Yang pertama adalah terperangkapnya butiran fluida cair pada aliran gas yang naik. Pada saat kecepatan gas yang tinggi dan ketika gas lepas dari buih maka butiran-butiran kecil fluida cair akan terbawa oleh gas menuju tray di atasnya. Fluida cair yang terbawa ke atas tower dengan cara ini mengurangi perubahan konsentrasi komponen gas yang dibawa sehingga mempengaruhi efisiensi tray. Selain itu kecepatan gas menjadi terbatas disebabkan menurunnya efisiensi tray. Kecepatan gas yang tinggi akan menyebabkan beda tekanan tinggi untuk gas mengalir melalui tray.



Semakin banyak fluida cair yang terdapat dalam tray maka akan meningkatkan efisiensi tray melalui waktu kontak yang lebih lama tetapi juga meningkatkan beda tekanan tray yang tinggi. Kecepatan gas yang tinggi menyebabkan kontak uap dan fluida cair melalui proses penyebaran yang sangat baik tetapi menimbulkan banyaknya fluida yang ikut terbawa dan beda tekanan tinggi. Begitu juga ada beberapa keadaan yang tidak diinginkan yaitu apabila laju fluida cair terlalu lambat sedangkan gas yang naik dan masuk melalui lubang-lubang tray mendorong fluida cair ke atas sehingga kontak fluida sangat sedikit.

Karakteristik umum

Tower bisa dibuat dari sejumlah material tergantung terhadap kondisi ketahanan terhadap korosi. Tower bisa terbuat dari kaca, glass-lined metal, karbon kedap air, plastic, bahkan kayu tetapi sebagian besar yang digunakan adalah logam. Tray seringkali dibuat dari lembaran logam dan apabila diperlukan maka bisa dibuat dari tembaga, ketebalannya diatur dengan pertimbangan korosi. Kontruksi tray harus mempunyai penguat.

Jarak tray harus dipilih berdasarkan kegunaan dalam konstruksi, perawatan dan biaya. Apabila diperlukan suatu kekhususan dimana tinggi tower merupakan pertimbangan penting maka jarak 15 cm (6 in) telah banyak digunakan (Tryebal, 1980)..

Diameter dan tentu saja luasan melintang harus cukup untuk menampung laju gas dan fluida cair. Pada suatu tray pada kondisi limpah,



kecepatan gas V_f (laju volumetris aliran gas Q per luasan melintang bersih untuk aliran A_n) berhubungan dengan rapat jenis fluida.

Luasan melintang bersih A_n merupakan luasan melintang tower A_t dikurangi luasan jalan turun (A_d). C_f merupakan konstanta empiris, nilainya tergantung desain tray. Nilai V pada kondisi actual berada pada 80-85% V_f . Hal ini sebagai pertimbangan adanya fluida cair yang terbawa dan karakteristik beda tekanan.

Bagian utama dari tray ini adalah lembaran mendatar dari logam yang berlubang-lubang, melintang terhadap arah aliran dan gas menuju ke atas melalui lubang-lubang. Gas mengalami penyebaran/disperse akibar lubang-lubang tersebut lalu mengembang setelah bertemu dengan fluida cair membentuk buih-buih turbulen.

Pressure drop untuk gas

Semua beda tekanan gas akan dinyatakan sebagai ketinggian bersih fluida cair dengan rapat jenis ρ_L pada tray. Beda tekanan gas merupakan penjumlahan efek aliran gas melalui pelat kering yang disebabkan oleh adanya fluida cair.

➤ Beda tekanan kering

Beda tekanan ini dihitung berdasarkan adanya rugi tekanan pada lubang – lubang masuk, gesekan pada lubang-lubang tersebut:



➤ Head hidraulis

Pada daerah berlubang-lubang tray, fluida cair membentuk buih. Kedalaman bersih fluida cair h_L merupakan perkiraan bahwa akan dicapai apabila buih pecah.

➤ Beda tekanan sisa

Beda tekanan ini diyakini merupakan hasil yang disebabkan adanya tegangan permukaan gas yang keluar dari lubang-lubang. Apabila gelembung-gelembung tidak terjadi satu persatu dari lubang-lubang maka nilai ini bisa didapat dengan perkiraan diameter lubang-lubang (d_o) (Treybal,1980).

Salah satu tipe scrubber energi rendah yaitu *performed spray scrubber*. Scrubber ini biasanya disebut spray tower karena cara kerjanya adalah menggunakan nozzle untuk menyebarkan cairan/larutan scrubber dalam bentuk droplet. Proses spray diarahkan langsung ke ruangan. Spray didesain untuk pressure drop yang rendah dan konsumsi larutan yang banyak. Metode ini tidak begitu mahal untuk mendapatkan proses penyerapan gas dikarenakan konstruksi yang sederhana (Tim,2000).

Pada suatu operasi menara serapan (absorption tower), gas yang mengandung polutan masuk dari bawah kemudian naik ke atas bersentuhan dengan fluida penyerap yang turun Iwat suatu kolom. Apabila konsentrasi polutan menurun pada saat gas naik maka terdapat larutan penyerap konstan untuk kontak massa sehingga menghasilkan suatu penurunan yang efisien daripada kontaminan (Mikropul,2003).



Pemilihan scrubber sebagai alat perangkat operasi absorpsi antara gas dengan fluida cair memiliki keuntungan dan kerugian (Tim,2000). Keuntungan dan kerugian tersebut dapat dilihat pada table berikut :

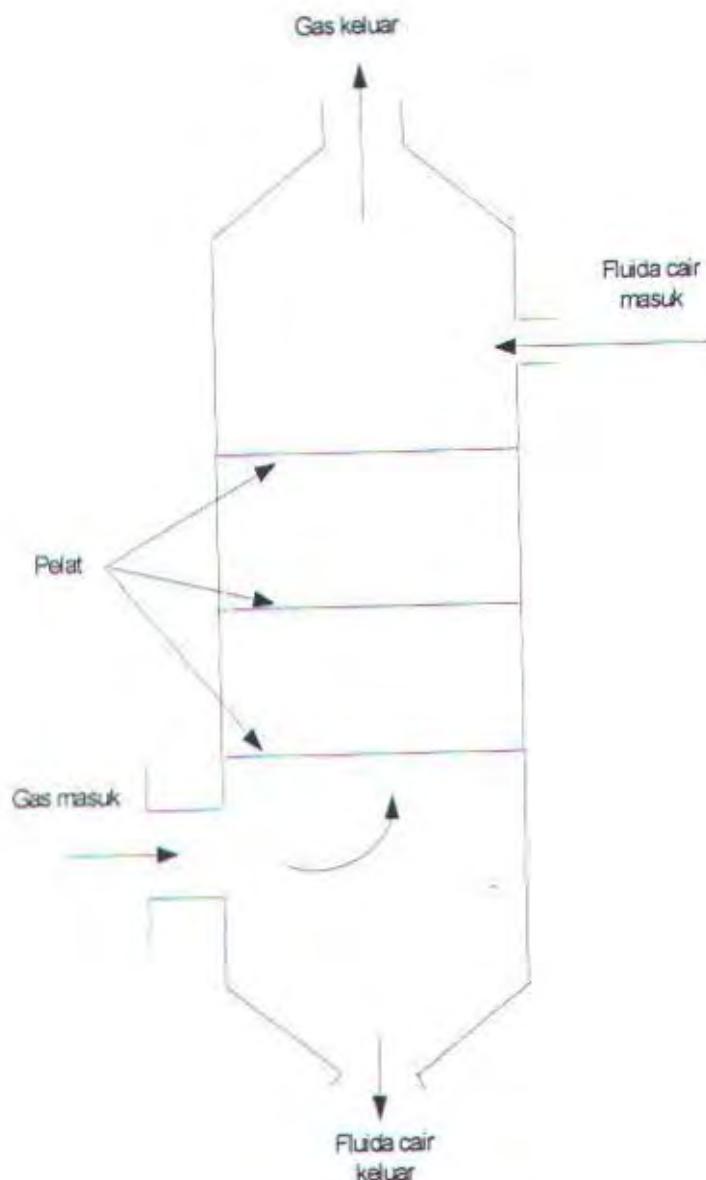
No	Keuntungan	Kerugian
1	Kemampuan absorpsi gas untuk membawa gas-gas yang berbahaya	Membutuhkan energi besar untuk efisiensi tinggi
2	Pemindahan partikel dengan efisiensi tinggi	Biaya perawatan tinggi
3	Kemampuan untuk meredam suhu gas buang yang tinggi	Kebutuhan suplai air
4	Kemampuan mengontrol partikel berat	

Tabel 2.8.1 Keuntungan dan kerugian penggunaan scrubber

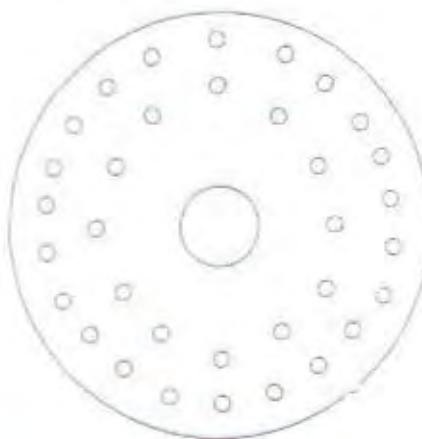
Air yang keluar dari scrubber seharusnya diproses untuk menghilangkan kandungan beberapa butiran-butiran padat dan harus diatur harga derajat keasaman (PH) aliran tersebut. Penghilangan butiran padat bisa dilakukan dengan menggunakan separator. Kemudian juga ada pengaturan PH dengan diproses secara kimia. Air laut mempunyai PH sekitar 6-9 sehingga air yang keluar dari scrubber harus mempunyai PH sebesar itu.



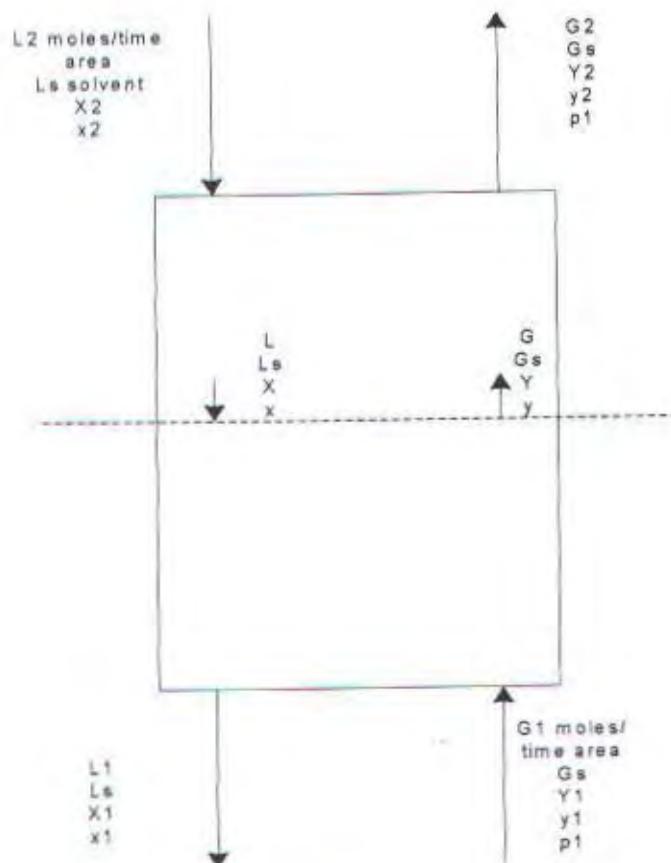
Pada gambar di bawah ini adalah bentuk scrubber (tray tower) energi rendah dengan menggunakan pelat bertingkat sebagai kontak massanya :



Gambar 2.8.1 Scrubber bertipe pelat



Gambar 2.8.2 Pelat berlubang tampak atas



Gambar 2.8.3 Arah aliran fluida dalam scrubber

Bab III

Metodologi

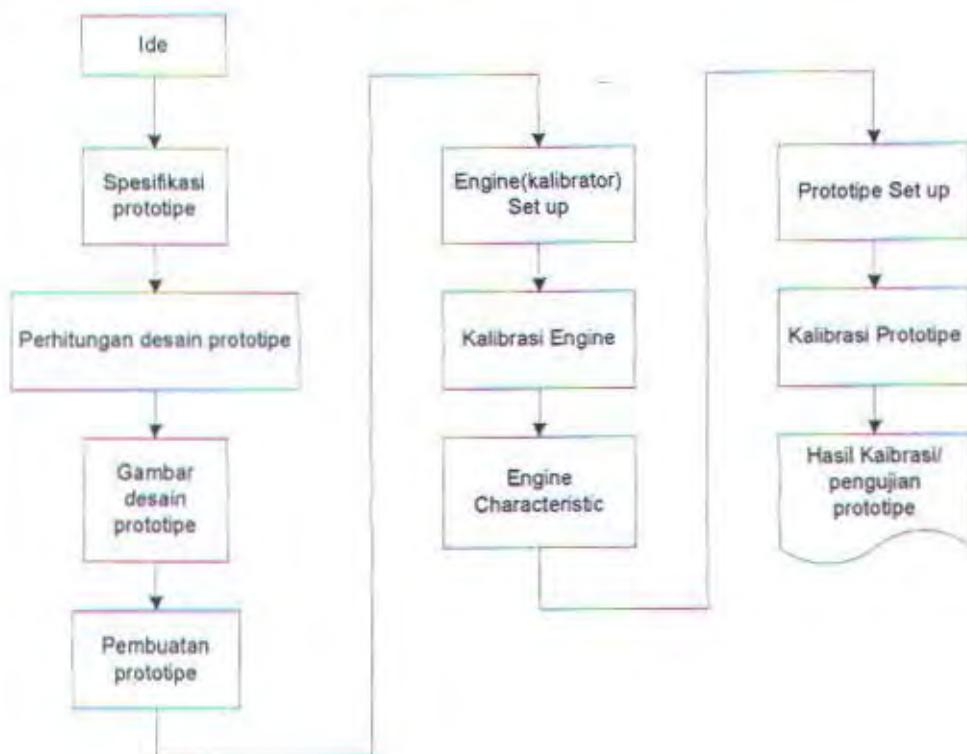


BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Diagram Alir Proses Penggerjaan

Diagram alir di bawah ini akan menjelaskan langkah-langkah proses penggerjaan tugas akhir. Dimulai dari munculnya ide sampai kemudian tahap pembuatan prototype serta pengujian prototype.



Gambar 3.1 Diagram alir proses penggerjaan



3.2 Ide

Ide didapat dari referensi dan paper review sebelumnya.

3.3 Spesifikasi prototype

Sebelum prototype dibuat maka akan dibuat terlebih dahulu perencanaan awal ukuran /dimensi prototype sesuai kebutuhan.

3.4 Perhitungan desain prototype

Perhitungan terhadap dimensi prototype yang akan dibuat serta kebutuhan lain supaya prototype bisa berfungsi sesuai tujuan. Desain perhitungan untuk merencanakan pembuatan scrubber (Treybal,1981) adalah sebagai berikut :

❖ Kecepatan mol gas buang :

$$G_1 = Q \times \frac{T}{T+t} \times \frac{1.07 \times 10^5}{1.0133 \times 10^5} \times \frac{1}{22.41}$$

dimana :

Q : Kapasitas gas(Pers 3.4.1)

T : Suhu mutlak (K)

t : Suhu (C)

❖ Konsentrasi pada gas (Y) sebelum absorpsi

$$Y_1 = \frac{y}{1-y}$$

Dimana(Pers 3.4.2)

Y₁ : Konsentrasi pada gas(mol/mol fluida pembawa)

y : Konsentrasi pada gas fraksimol...(mol/mol)



- ❖ Kecepatan gas kering yang tidak ikut larut:

$$G_s = G_1 x (1 - y)$$

Dimana :

G_s : Laju gas yang insoluble (mol/area.waktu) (Pers 3.4.3)

G_1 : Laju gas (mol/area.waktu)

- ❖ Konsentrasi pada gas buang setelah absorpsi :

$$Y_2 = 0.05x(Y_1) \quad \text{.....(Pers 3.4.4)}$$

- ❖ Konsentrasi pada fluida cair

$$X_2 = \frac{Y_2}{1 - Y_2}$$

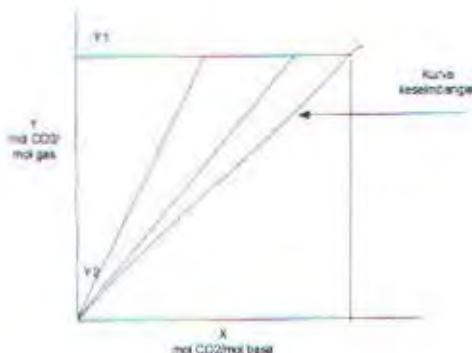
Dimana :

X_2 Konsentrasi pada fluida cair (mol/mol pelarut)

y_2 : Konsentrasi pada fluida cair, fraksimol (mol/mol)

- ❖ Konsentrasi(X_2) pada larutan penyerap

Sebelum konsentrasi (X_2) ditentukan maka harus terlebih dahulu dibuat grafik kesetimbangan operasi antara gas dan fluida cair. Apabila nilai dari Y_1 , Y_2 , X_2 diketahui maka nilai tersebut diplotkan pada grafik keseimbangan absorpsi maka didapat nilai X_1 (kmol CO₂/kmol basa).



Gambar 3.4.1 Grafik kesetimbangan



❖ Rapat jenis gas

Pada keadaan standar, 1mol gas mengandung 22.41liter.

$$\rho_g = \frac{Av}{22.41} \times \frac{T}{T-t}$$

Dimana :

ρ_g : Rapat jenis gas (kg/m^3)(Pers 3.4.6)

T : Suhu mutlak (K)

t : Suhu (C)

Av Berat mol

❖ Kapasitas uap air

$$Q = (8.32567 \times 10^{-5}) \times 22.4 \times \frac{T-t}{T} \quad \dots \dots \dots \text{(Pers 3.4.7)}$$

❖ Kapasitas fluida cair

$$q = \frac{0.0001785 \times Av_2}{\rho_L}$$

Dimana :(Pers 3.4.8)

q : Kapasitas fluida cair (m^3/s)

ρ_L : Rapat jenis fluida cair (kg/m^3)

❖ Selanjutnya akan dihitung perbandingan antara luasan lubang-lubang dengan luasan aktif. Lubang pada pelat (do).

$$\frac{A_o}{A_s} = \frac{0.907 \times (do)^2}{\text{pitch}} \quad \dots \dots \dots \text{(Pers 3.4.9)}$$



❖ Diameter tower

Jarak antar tray (t) direncanakan maka diameter tower yang diperlukan dapat dihitung :

$$\frac{L}{G} \left(\frac{\rho_g}{\rho_L} \right)^{0.5} = \frac{q \rho_L}{Q \rho_g} \left(\frac{\rho_g}{\rho_L} \right)^{0.5} = \frac{q}{Q} \left(\frac{\rho_L}{\rho_g} \right)^{0.5} \quad \dots \dots \text{(Pers 3.4.10)}$$

Nilai di atas sebagai pedoman untuk mencari tetapan limpah (flooding constant, C_f). Berdasarkan tabel 6.2 buku Mass Transfer Operation hal.169 maka akan dihitung nilai α dan β :

$$\alpha = 0.0744t + 0.01173 \quad \dots \dots \text{(Pers 3.4.11)}$$

$$\beta = 0.0304t + 0.015 \quad \dots \dots \text{(Pers 3.4.12)}$$

Tetapan limpah (C_f) dapat dihitung dengan rumus pada buku Mass Transfer Operation pada halaman 167 . Apabila nilai $\frac{L}{G} \left(\frac{\rho_g}{\rho_L} \right)^{0.5}$ lebih kecil dari 0,1 maka nilai yang digunakan adalah 0,1 tersebut. Tegangan permukaan (σ) adalah 0,040 N/m. Maka Tetapan limpah :

$$C_f = \left[\alpha \log \frac{1}{\frac{L}{G} \left(\frac{\rho_g}{\rho_L} \right)^{0.5}} + \beta \right] \times \left(\frac{\sigma}{0.02} \right)^{0.2} \quad \dots \dots \text{(Pers 3.4.13)}$$



- ❖ Laju volumetric(Vf) aliran gas Q tiap permukaan alir

$$V_f = C_f \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2}$$

Dimana :

V_f : Laju volumetis (Pers 3.4.14)

C_f : Tetapan limpah

ρ_L : Rapat jenis fluida cair

ρ_G : Rapat jenis fluida gas

Pada desain sesungguhnya mempunyai nilai yang lebih kecil, untuk fluida yang tak berbusa(non foaming liquid) berkisar antara 80% sampai 85% V_f , diambil 80% V_f . Sehingga :

- ❖ Luasan bersih /net cross section (A_n)

$$A_n = \frac{Q}{V_f}$$

Dimana (Pers 3.4.15)

Q : Laju Uap

V_f : Laju volumetris

Sehingga diameter tower :

$$D = \left(\frac{A_n \times 4}{3.14} \right)^{0.5}$$

Dimana: (Pers 3.4.16)

A_n : Luasan bersih

D : Diameter

- ❖ Luasan aktif

Luasan aktif(A_a) merupakan luasan penampang melintang(A_n) tower dikurangi dengan luasan-luasan penegak/pendukung tray (At).



$$A_u = A_v - A_s \quad (\text{Pars 3, 4, 17})$$

Dari perhitungan sebelumnya didapat nilai perbandingan antara A_0/A_a sehingga luasan A_0 dapat diketahui.

- ❖ Beda tekanan kering (dry pressure drop)

Beda tekanan kering dihitung karena adanya suatu tekanan yang hilang (loss pressure) pada sisi masuk lubang pelat terjadi gesekan fluida dengan pelat.

Kecepatan uap air

Koefisien orifice

Koefisien ini tergantung daripada perbandingan ketebalan pelat dengan diameter lubang.

$$C_o = 1.09 \times \left(\frac{d_o}{l} \right)^{0.25}$$

Faktor gesekan Fanning (f)

Harga faktor gesekan fanning (f) didapat dari buku ‘The Chemical Engineers’ Handbook. Yaitu sebesar 0,008.

Maka beda tekanan dapat dihitung dengan rumus pada buku Mass Transfer Operation halaman 173 :



$$h_D = \frac{V_o^2 \rho_G C_o \left[0.4 \left(1.25 - \frac{A_o}{A_n} \right) + \frac{4f}{d_o} + \left(1 - \frac{A_o}{A_n} \right)^2 \right]}{2g\rho_L} \dots \dots \text{(Pers 3.4.20)}$$

❖ Beda tekanan hidraulik

Fluida cair akan membentuk buih pada saat bertemu dengan gas di sebuah tray. Nilai kedalaman fluida h_L harus diperkirakan sebagai pertimbangan apabila terbentuk buih yang terlalu banyak.

Kecepatan uap air

$$V_a = \frac{Q_a}{A_a}$$

Dimana :

Q_a : Kapasitas aliran (Pers 3.4.21)

A_a : Luasan aktif

Lebar aliran rata-rata (z)

$$z = \frac{T}{2} \dots \dots \text{(Pers 3.4.22)}$$

Maka beda tekanan hidrolik (h_L) dihitung dengan memakai rumus pada buku Mass Transfer Operation halaman 172:

$$h_L = 6.1 \times 10^{-3} + 1.225 \frac{q}{z} \dots \dots \text{(Pers 3.4.23)}$$

dim ana :

q : kapasitas fluida cair

z : Lebar aliran rata - rata



❖ Beda tekanan sisa

Beda tekanan ini sebagian besar disebabkan karena adanya tegangan permukaan ketika gas masuk ke lubang-lubang tray. Maka beda tekanan hidrolis (h_t) dihitung dengan memakai rumus pada buku Mass Transfer Operation halaman 172.

$$h_R = \frac{6\sigma}{\rho_1 d_{\text{avg}} g}$$

dim ana.

g. Tegangan permukaan bahan (Pers 3.4.24)

o Ranat jenis fluida cair

do Diameter lubang pelat

a. Percepatan gravitasi

S. crepitans Grav.

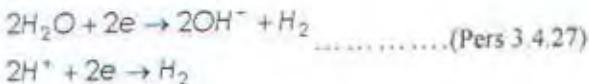
❖ Beda tekanan total

Merupakan penjumlahan seluruh faktor/macam beda tekanan :

Apabila jumlah larutan basa yang dibutuhkan telah diketahui maka akan dihitung kebutuhan arus listrik untuk prototipe base generator. Perhitungan dengan memakai persamaan

$$e = \frac{A_r \text{ atau } M_r}{\text{jumlah elektron}} \dots \dots \dots \text{(Pers 3.4.26)}$$

1. Gas H₂ dihasilkan melalui reaksi :



Pembentukan 1 molekul H_2 melibatkan dua electron

Berat ekivalen (e) gas $H_2 = 2 \cdot (1)/2 = 2/2 = 1$



2. Halogen (Cl_2) dihasilkan melalui reaksi :



Pembentukan 1molekul Cl_2 melibatkan dua electron.

Berat ekivalen (e) $X_2 = M_r \text{Cl}_2 / 2 = \text{Ar Cl} = 35.5$

Harga satu faraday (1 F) adalah jumlah listrik yang terdiri dari 1mol elektron atau $6,0221367 \times 10^{23}$ butir listrik. Muatan listrik satu butir elektron adalah $1,6021733 \times 10^{-19}$ Coulomb maka listrik satu Faraday setara dengan muatan sebesar :

$$= 9.64853 \times 10^4 \text{ Coulomb} \approx 9.65 \times 10^4 \quad \dots \dots \text{(Pers 3.4.29)}$$

3. Massa larutan basa dapat dicari dengan persamaan berikut ini

$$m = \rho \times V$$

Dimana:

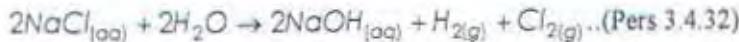
- m = Massa larutan basa (kg) (Pers 3.4.30)
- ρ = Massa jenis basa (1700 kg/m^3)
- V = Volumelarutan basa (m^3)

4. Jumlah mol basa (caustic soda)

$$mol = \frac{gram}{Mr} = \frac{gram}{2(ArNa + ArO + ArH)} \dots \dots \text{(Pers 3.4.31)}$$

Perbandingan mol=perbandingan koefisien reaksi

Diketahui persamaan reaksi:





maka perbandingan :

$$\frac{\text{mol NaOH}}{\text{koefisien NaOH}} = \frac{\text{mol H}_2}{\text{koefisien H}_2} \dots\dots\dots \text{(Pers 3.4.33)}$$

5. Kebutuhan jumlah listrik

Sebelum menghitung besar arus yang dibutuhkan maka harus dicari terlebih dahulu jumlah muatan listrik dalam satuan faraday.

$$F = \frac{W}{e}$$

Dimana:

F = Jumlah listrik (Faraday)(Pers 3.4.34)

W = Massa (gram)

e = Berat ekivalen

$$F = \frac{It}{96500}$$

Dimana:(Pers 3.4.35)

F = Jumlah listrik (Faraday)

t = Waktu (s)

i = Arus (A)

6. Perhitungan tahanan

Perhitungan tahanan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$R = \rho (l/A)$$

Dimana:

ρ = Electrical resistivity elektrode(Pers 3.4.36)

l = Panjang Elektrode (cm)

A = Luas Elektrode (cm^2)

3.5 Gambar desain prototipe

Apabila kebutuhan dimensi didapat maka dilakukan proses gambar untuk memudahkan proses penggerjaannya. Penggerjaan desain gambar dibuat dengan bantuan computer (CAD).



3.6 Pembuatan prototype

3.6.1 Prototipe base generator

Prototipe *base generator* ini mempunyai fungsi untuk menghasilkan larutan basa yang diproses dari air laut. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan prototype ini adalah :

- Pelat steel
- Mesin potong pelat
- Pipa steel $\frac{1}{2}$ inchi
- T joint
- Elbow
- Stop valve
- Valve
- Reducer
- TBA
- Siku aluminium
- Pelat siku
- Mesin las
- Kawat nyamuk
- Bor
- Baut dan mur
- Ring
- Gergaji besi

3.6.1.1 Pemotongan pelat

Kegiatan pertama yang dilakukan adalah pemotongan pelat dengan menggunakan mesin potong. Pelat steel tersebut dipotong dengan ukuran – ukuran seperti di bawah ini :

- Pelat 1 : 60cm x 30 cm (4 buah)
- Pelat 2 : 30cm x 30 cm (2 buah).



Kemudian dilakukan pengelasan sesuai desain gambar yang telah dibuat, pengeboran untuk lubang-lubang fitting.

3.6.1.2 Pembuatan siku penyekat

Siku penyekat ini berfungsi untuk sebagai tempat sandaran media penukar ion. Ada dua jenis media penukar ion sehingga perlu adanya 2 bidang siku sebagai tempat sandaran. Siku penyekat untuk sandaran media penukar ion positif dibuat dengan ukuran 30cm x 30 cm sebanyak 4 buah. Dua siku dari keempat siku itu dibor dengan lubang berdiameter 2 cm.

3.6.2 Prototipe Low energy scrubber(Tray tower)

Persiapan alat-alat /bahan-bahan yang diperlukan :

- Pelat steel = 120 x 240 (cm)
- Elbow = 4 buah
- Shower
- Pipa 2"
- Pipa $\frac{1}{2}$ "
- Alat-alat pemotong
- Reducer
- TBA

Kegiatan pertama yang dilakukan adalah pemotongan pelat dengan menggunakan mesin potong. Pelat steel tersebut dipotong dengan ukuran – ukuran seperti di bawah ini :

- Pelat melingkar (atas& bawah) : Diameter 40 cm (2 buah)
- Pelat dinding : 200cmx 60 cm

Proses pembuatan dilanjutkan dengan melakukan penggerolan pelat supaya pelat bisa berbentuk tabung (untuk dinding) dan berbentuk kerucut (untuk bagian atas dan bawah prototype). Kemudian dilakukan proses pengeboran untuk pemasangan fitting- fitting sebesar 2" untuk jalan masuk



gas buang dan jalan keluar gas buang dan air, sebesar 2" untuk jalan masuk larutan basa. Proses pengecatan juga dilakukan 2 lapis dengan menggunakan cat anti korosif.

3.7 Engine Setup

Engine sebagai media kalibrasi (kalibrator) prototype harus terlebih dahulu dilakukan persiapan (Sett up). Engine yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Dimensi homelight

No	Dimensi	mm	in
1	Length	715	28.2
2	Width	504	19.8
3	Height	693	27.3

Tabel 3.7.1 Dimensi engine

- Spesifikasi engine

No	Item	Spec
1	Model	Honda G400 K1
2	Engine type	4 Stroke, side valve, 1 cylinder
3	Displacement (BorexStroke)	406 cm ³ (24.7 cu in) (86x 70 mm (3.4 x.8 in))
4	Compression ratio	6.5:1
5	Power	1.8kW
6	Cooling	Forced air

Tabel 3.7.2 Spesifikasi Engine(1)



No	Item	Spec
7	Ignition	CDI
8	Oil capacity	1.21
9	Fuel tank capacity	17.5 l (4.6 US gal)
10	Sparkplug	BPR4SH-10(NGK), W14FPR-UL10(ND)

Tabel. 3.7. 2 Spesifikasi Engine(2)

Persiapan yang dilakukan:

- Pemeriksaan instalasi engine (engine test bed)
- Persiapan kebutuhan bahan bakar yang digunakan

3.8 Kalibrasi Engine

Engine sebagai media kalibrasi (kalibrator) prototype harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Hasil kalibrasi akan menghasilkan data karakteristik engine yang mendukung dan menyatakan unjuk kerja (performance engine tersebut).

Pengetesan dengan variasi putaran engine maka dibutuhkan diameter roda poli yang bervariasi dan putaran generator tetap sebesar 2500 rpm maka rpm mesin yang akan divariasikan :



Putaran dynamo (2500 rpm)	Putaran motor (3000 rpm)
2500	3000 (100%)
2500	2333(77%)
2500	2000(66%)

Tabel 3.8 Data putaran yang akan digunakan

3.8.1 Langkah – langkah melakukan kalibrasi

Tahap persiapan

1. Memeriksa Instalasi engine test bed
2. Memasang roda poli generator dan engine
3. Menstart engine kira-kira 15 menit pada putaran idle speed tanpa beban

Tahap Pengukuran/Pencarian daya maksimal

1. Menyiapkan bahan bakar ke dalam gelas ukur sehingga dapat diamati laju penggunaan bahan bakar.
2. Putaran generator dijaga konstan 2500 Rpm dengan cara meningkatkan putaran/gas mesin ditingkatkan. Mesin menggunakan roda poli 12,5 cm dengan putaran 3000 rpm.
3. Beban diatur pada beban pertama sebesar 300 W.
4. Melakukan pengukuran terhadap besar tegangan yang terdapat di voltmeter generator), besar arus , laju konsumsi bahan bakar di gelas ukur.



5. Memberi penambahan beban secara perlahan-lahan. 600 W...900 W...1200 W...1500 W... sampai pada kondisi mesin tidak mampu lagi menerima pembebatan (suara mesin terdengar hampir mati).
6. Tahap pengukuran dilakukan 3 kali supaya data yang didapat dianggap valid.

3.9 Karakteristik Engine

Karakteristik / performance engine akan didapat setelah kalibrasi selesai dilakukan. Karakteristik engine didapat secara lengkap, SFOC, MEP, Effisiensi thermal. Dari kalibrasi akan diketahui beban dan putaran pada keadaan 100%, 75%, 50%. Pada keadaan inilah yang akan digunakan untuk proses kalibrasi prototype.

Data awal kalibrasi engine adalah sebagai berikut :

Putaran Motor (rpm)	Beban (Watt)	V Volt	I A	Volume bahan bakar(ml)			Detik (s)
				Awal	Akhir	Selisih	
3000 (putaran 100%)	300	220	0.9	980	960	20	65
	600	210	2.6	920	900	20	47
	900	190	3	860	840	20	46
	1200	190	4.4	820	800	20	48
	1500	185	5	780	760	20	50

Tabel 3.9.1 Data awal kalibrasi engine (1)



Putaran Motor (rpm)	Beban (Watt)	V Volt	I A	Volume bahan bakar(ml)			Detik (s)
				Awal	Akhir	Selisih	
3000 (putaran 100%)	1800	129	6.8	805	785	20	67
	2000	120	7.5	780	775	20	65
	300	220	1	880	860	20	76
	600	218	2.2	840	820	20	59
2333 (putaran 77%)	900	216	3.5	800	780	20	56
	1200	200	4	760	740	20	53
	1500	190	5.2	720	700	20	51
	1800	180	7	675	655	20	42
	2000	175	7.7	620	600	20	31
2000 (putaran 66%)	300	220	1	525	505	20	100
	600	200	2.2	925	905	20	85
	900	185	3.2	900	880	20	72
	1200	175	4	880	860	20	71
	1500	145	6	840	820	20	71
	1800	129	6.8	805	785	20	67
	2000	120	7.5	780	775	20	65

Tabel 3.9.1 Data awal kalibrasi engine (2)



Dari data di atas akan dilakukan perhitungan untuk menentukan POWER,SFOC,BMEP,TORQUE. Proses penghitungan dengan memakai persamaan-persamaan di bawah ini:

❖ Menghitung daya efektif

$$Pe = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\eta_g \times \eta_b}$$

Dimana :

Pe = Daya efektif.....(Watt)(Pers 3.9.1)

V = Tegangan.....(Volt)

I = Arus.....(A)

$\cos \phi = 1$

$\eta_g = 0.8$

$\eta_b = 0.85$

❖ Menghitung SFOC

$$FCR = \frac{Mbb}{tbb}$$

Dimana :

FCR = Factor Consumption Rate(kg/s)(Pers 3.9.2)

Mbb = Massa bahan bakar.....(kg)

tbb = Waktu.....(s)

Bahan bakar bensin mempunyai massa jenis $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$. Sehingga massa bahan bakar dapat dihitung :

$$Mbb = \rho bbb \times \text{Volume}$$

Dimana :

Mbb = Massa bahan bakar.....(kg)(Pers 3.9.3)

ρbbb = massa jenis bahan bakar.....(kg/m³)

Volume = Volume bahan bakar.....(m³)



Setelah itu akan dihitung Factor Consumption Rate (FCR).

Konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) dapat dihitung :

$$SFOC = \frac{FCR}{Pe} \times 3600$$

Dimana:

SFOC = Spesific Fuel Consumption (kg/kW h) (pers.3.9.4)

FCR = Factor Consumption Rate (kg/s)

Pe = Daya efektif (kW)

❖ Menghitung tekanan efektif rata-rata (MEP)

$$BMEP = \frac{60 \times Pe \times z}{A \times L \times n \times i}$$

Dimana:

BMEP = Brake Mean Efektif Pressure (kPa)

Pe = Daya efektif (kW) (Pers.3.9.5)

z = 2 (untuk motor bakar 4 langkah)

AxL = Volume displacement (m³)

n = Putaran (Rpm)

i = Jumlah silinder

❖ Menghitung Torsi (Torque)

$$Torsi = \frac{71620 \times Pe \times 1,34}{n}$$

Dimana: (Pers 3.9.6)

Torsi dalam kg/cm

Pe dalam kW

3.10 Prototipe Setup

Mempersiapkan prototype dengan baik sebelum dikalibrasi. Persiapan meliputi pemasangan fitting-fitting yang menghubungkan engine dengan prototype. Selain itu juga memeriksa instalasi prototype itu sendiri.



3.11 Kalibrasi Prototipe

Proses kalibrasi prototype dilakukan sesuai dengan beban dan putaran engine 100%, 75%, 50%, yang telah didapat dari proses kalibrasi engine sebelumnya.

Kemudian dilakukan proses pengukuran kadar CO₂ pada gas buang dari pipa gas buang engine pada saat prototype tidak terpasang dan pengukuran kadar CO₂ pada sisi keluar gas pada prototype tray tower pada saat prototype dipasang dengan engine. Kegiatan pengukutan dilakukan oleh Balai Teknis Kesehatan Lingkungan Surabaya.

Langkah-langkah Pengukuran CO₂ Engine

- ❖ Memeriksa Instalasi engine test bed
- ❖ Memasang roda poli generator dan engine
- ❖ Menstart engine kira-kira 15 menit pada putaran idle speed tanpa beban
- ❖ Mengukur CO₂ pada gas buang engine

Langkah-langkah Pengukuran CO₂ Prototipe terpasang pada engine

- ❖ Memeriksa Instalasi engine test bed
- ❖ Memasang roda poli generator dan engine
- ❖ Menghubungkan prototype base generator dengan sumber arus DC
- ❖ Setting kedua prototype ke engine termasuk memasang fitting-fitting.
- ❖ Mempersiapkan drum air dengan kandungan garam 3%.



- ❖ Menstart engine kira-kira 15 menit pada putaran idle speed tanpa beban.
- ❖ Mengukur CO₂ pada gas buang keluar pada tray tower
- ❖ Mengukur kadar karbonat yang terkandung dalam air yang keluar dari tray tower.

3.12 Hasil Kalibrasi

Dari proses kalibrasi prototype akan diketahui suatu hasil penurunan kadar CO₂ setelah prototype terpasang dengan engine dibandingkan dengan pada saat prototype tidak terpasang dengan engine.

Bab IV

Analisa data dan Pembahasan



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab analisa data dan pembahasan ini akan dipaparkan mengenai proses mulai dari perencanaan perhitungan awal, pembuatan gambar perancangan perencanaan awal, pembuatan prototype sampai tahap pengujian / kalibrasi. Sebelum prototype akan dilakukan pengujian maka engine sebagai media kalibrasi (kalibrator) harus dikalibrasi terlebih dahulu. Setelah didapat hasil pengujian/kalibrasi kadar CO₂ maka akan dibahas mengenai persentase kemampuan penurunan prototype dan akan didapatkan formula kemampuan prototype.

3. 1 Analisa Data

3.1.1 Perhitungan desain prototype

Perhitungan perencanaan desain prototype dilakukan sebelum prototype dibuat. Hal ini dilakukan sebagai perencanaan dimensi prototype.

3.1.1.1 Prototipe scrubber (Tray tower)

Scrubber direncanakan terdapat dua tahap pelat(tray) di dalamnya. Pelat ini merupakan fungsi kontak dua fluida, yaitu gas dan cair. Prototipe ini bisa



disebut juga sebagai tray tower. Fluida cair masuk dari atas dan mengalir secara gravitasi. Kemudian mengalir sepanjang tray dan turun lagi ke tray selanjutnya. Gas lewat ke atas melalui lubang-lubang tray kemudian menggelembung melalui fluida cair dan membentuk buih-buih. Begitu seterusnya sampai menuju ke tray yang lebih atas. Pada proses perhitungan digunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan di bab III.

- ❖ Suhu adalah 40°C
- ❖ Tekanan adalah pada keadaan standart 1 atm ($1,0133 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)

4.1.1.1.1 Mol CO₂ yang diserap

Perencanaan jumlah mol CO₂ yang akan diserap dari gas buang engine berdasarkan asumsi :

- ❖ SFOC engine diasumsikan sebesar 0.78 kg/kWh dan daya engine yang digunakan adalah 4 kW.
 - ❖ Bahan bakar yang digunakan mempunyai rumus empiris C₈H₁₈
- SFOC di atas sehingga akan didapat massa bahan bakar, jumlah mol bahan bakar, jumlah mol gas CO₂ yang akan terkandung :

1	Factor Consumption Rate	FCR	3120	gram/jam
2	Mol bahan bakar	mol/bb	27,320	mol/jam
3	Mol CO ₂	mol/CO ₂	218,563	mol/jam

Tabel 4.1.1.1.1 Jumlah mol bahan bakar dan CO₂

Jumlah mol CO₂ yang akan diserap adalah 218,563 mol. Maka dibutuhkan fluida serap (absorpsi liquid) yang mampu menyerap jumlah mol ini.



4.1.1.1.2 Kebutuhan volume basa

Kebutuhan volume basa dihitung setelah mendapatkan jumlah mol basa yang diperlukan dan rate absorpsi yang didapat.

1	Diameter pipa gas buang	d	0,0508	m
2	Luas permukaan pipa gas buang	Aeg	0,00202	m ²
3	Kecepatan gas buang	veg	100	m/s
4	Kapasitas gas buang	Qeg	0,20258	m ³ /s
5	Kecepatan mol gas buang	G ₁	0,008325	kmol/s
6	Konsentrasi gas sebelum absorpsi	Y ₁	0,1904	kmol CO ₂ /kmol dry gas
7	Kecepatan gas kering yang tidak ikut larut	G _s	0,00699	kmol/s
8	Konsentrasi gas setelah absorpsi	Y ₂	0,00952	kmol CO ₂ /kmol dry gas
9	Konsentrasi fluida cair sebelum absorpsi	X ₂	0	kmol CO ₂ /kmol basa
10	Konsentrasi fluida cair setelah absorpsi	X ₁	0,17	kmol CO ₂ /kmol basa

Tabel 4.1.1.1.2 Data absorpsi gas prototipe

Dari tabel di atas didapat data bahwa rate absorpsi prototype adalah 0,17 kmol CO₂/kmol basa. Dari table sebelumnya di dapat hasil bahwa jumlah mol CO₂ keluaran dari gas buang adalah 218,563 mol sehingga akan didapat jumlah mol basa yang diperlukan adalah 1285,67 mol/jam.

4.1.1.1.3 Karakteristik fluida

Fluida gas dan liquid yang akan terjadi kontak massa mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1	Berat mol rata-rata gas	Av1	21,3	kg/mol
2	Rapat jenis gas	ρ _g	1,1141	kg/m ³
3	Kapasitas uap air	Q	0,159	m ³ /s
4	Rapat jenis fluida cair yang mengandung NaOH	ρ _l	1700	kg/m ³
5	Berat mol rata-rata fluida cair	Av2	18,3019	kg/kmol
6	Kapasitas fluida cair	q	8,0142x10 ⁻⁵	m ³ /s

Tabel 4.1.1.1.3 Karakteristik fluida



Pada tabel di atas maka dapat diketahui bahwa kapasitas uap air yang terjadi adalah $0,159 \text{ m}^3/\text{s}$ dan kapasitas fluida cair yang terjadi adalah $8,0142 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

4.1.1.1.4 Mencari luasan bersih

Luasan bersih merupakan luasan diameter tray tower. Diketahui bahwa diameter lubang perforasi adalah 0,02 m. Maka dari perhitungan didapat :

1	Diameter lubang pada tray	do	0,02	m
2	Perbandingan luasan lubang dengan luasan aktif	Ao/Aa	0,1452	

Tabel 4.1.1.1.4.1 Perbandingan luasan

Dari nilai perbandingan Ao/Aa di atas maka akan dihitung tetapan limpah, nilai alfa, beta, sampai mendapatkan luasan bersih, seperti tabel di bawah ini:

1	Pedoman untuk mencari tetapan limpah		0,01966	
2	Alfa	α	0,02289	
3	Beta	β	0,01956	
4	Koefisien flooding	Cf	0,04876	
5	Kecepatan flooding	Vf	1,90413	m/s
6	Kecepatan flooding aktual	Vf	1,523	m/s
7	Luasan bersih	An	0,0835	m ²
8	Diameter	D	0,326	m

Tabel 4.1.1.1.4.2 Luasan bersih tray tower

Luasan bersih yang didapat merupakan luasan melintang tray tower sehingga dari nilai tersebut didapat diameter tray tower yang dibutuhkan yaitu sebesar 0,326m .



4.1.1.1.5 Menghitung beda tekanan

- ❖ Beda tekanan kering

1	Luasan aktif	Aa	0,08349	m ²
2	Luasan lubang	Ao	0,01211	m ²
3	Kecepatan uap air	Vo	13,136	m/s
4	Koefisien orifice	Co	1,9383	
5	Beda tekanan kering	hD	0,0157	m

Tabel 4.1.1.1.5.1 Beda tekanan kering

Jumlah beda tekanan kering yang didapat adalah sebesar 0,0157 m.

- ❖ Beda tekanan hidraulis

1	Kecepatan uap air	Va	1,906	m/s
2	Lebar aliran rata-rata	z	0,19	m
3	Beda tekanan hidraulis	hL	0,0066	m

Tabel 4.1.1.1.5.2 Beda tekanan hidraulis

Jumlah beda tekanan hidraulis yang terjadi adalah sebesar 0,0066 m.

- ❖ Beda tekanan sisa

1	Beda tekanan sisa	hR	0,0007202	m

Tabel 4.1.1.1.5.3 Beda tekanan sisa

Jumlah beda tekanan sisa yang terjadi adalah 0,0007202 m.

- ❖ Beda tekanan total

1	Beda tekanan total	hG	0,02307	m

Tabel 4.1.1.1.5.4 Beda tekanan total

Beda tekanan total yang didapat adalah merupakan penjumlahan beda tekanan kering, beda tekanan hidraulis, beda tekanan sisa dan mempunyai nilai 0,02307 m.



4.1.1.6 Spesifikasi dan dimensi prototype tray tower

Dari hasil perhitungan di atas diketahui spesifikasi dan dimensi prototype yang dibutuhkan :

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Diameter inlet gas	0,0508	m
2	Diameter outlet fluida	0,0508	m
3	Diameter inlet fluida cair	0,0127	m
4	Diameter outlet gas	0,0508	m
5	Rate absorpsi	0,17	kmol CO ₂ /kmol gas
6	Diameter tray tower	0,326	m
7	Tinggi	0,55	m

Tabel 4.1.1.6.1 Spesifikasi dan dimensi tray tower yang dibutuhkan

Untuk lebih memudahkan dalam proses pembuatannya maka spesifikasi dan dimensi yang direncanakan adalah sebagai berikut:

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Diameter inlet gas	0,0508	m
2	Diameter outlet fluida	0,0508	m
3	Diameter inlet fluida cair	0,0127	m
4	Diameter outlet gas	0,0508	m
5	Rate absorpsi	0,17	kmol CO ₂ /kmol gas
6	Diameter tray tower	0,4	m
7	Tinggi	0,6	m

Tabel 4.1.1.6.2 Spesifikasi dan dimensi tray tower yang dibuat

Dimensi tray tower dibuat lebih besar dari dimensi yang dibutuhkan maka hal ini akan berpengaruh terhadap nilai absorpsi dan beda tekanan. Nilai absorpsi akan semakin besar karena semakin banyaknya kontak massa yang disebabkan luas permukaan luasan melintang pelat lebih besar. Sedangkan beda tekanan akan semakin kecil karena luas permukaan luasan melintang semakin besar.



4.1.1.2 Prototipe penghasil basa (Base Generator Prototype)

4.1.1.2.1 Kebutuhan arus

Pada hasil perhitungan pada tabel 4.1.1.1.2 diketahui bahwa rate absorpsi prototype adalah 0,17 kmol CO₂/kmol basa. Pada tabel 4.1.1.1.1 diketahui jumlah mol CO₂ adalah sebesar 218,563 mol maka mol basa yang dibutuhkan :

	Konsentrasi fluida cair setelah absorpsi	X1	0,17	kmol CO ₂ /kmol basa
1	Mol basa yang diperlukan	mol	1285,67	mol/jam
2	Massa basa yang diperlukan	Mbs	102853,6	gram
3	Volume basa yang diperlukan	Vbs	0,060502118	m ³
4	Volume basa yang diperlukan	Vbs	60,50211765	liter

Tabel 4.1.1.2.1.1 Volume basa yang diperlukan

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas maka akan didapat kebutuhan suplai listrik , yaitu sebagai berikut :

1	Volume basa	Vbs	0,060502118	m ³
2	Massa	Mbs	102,8536	kg
3	Mol basa	mol	1285,67	mol/jam
4	Mol gas H ₂	mol	642,835	mol/jam
5	Massa	m	1285,67	gram
6	Jumlah listrik	F	1285,67	Faraday
7	Arus listrik	I	9,573082948	Ampere/h
8	Tahanan	R	0,00081	ohm
9	Beda potensial	V	0,007754197	volt

Tabel 4.1.1.2.1.2 Suplai listrik

Dari tabel di atas maka diketahui bahwa arus yang dibutuhkan untuk menghasilkan 0,0605 m³ per jam larutan basa adalah sebesar 9,57 A sedangkan tegangan yang dibutuhkan adalah 0,00775 Volt.



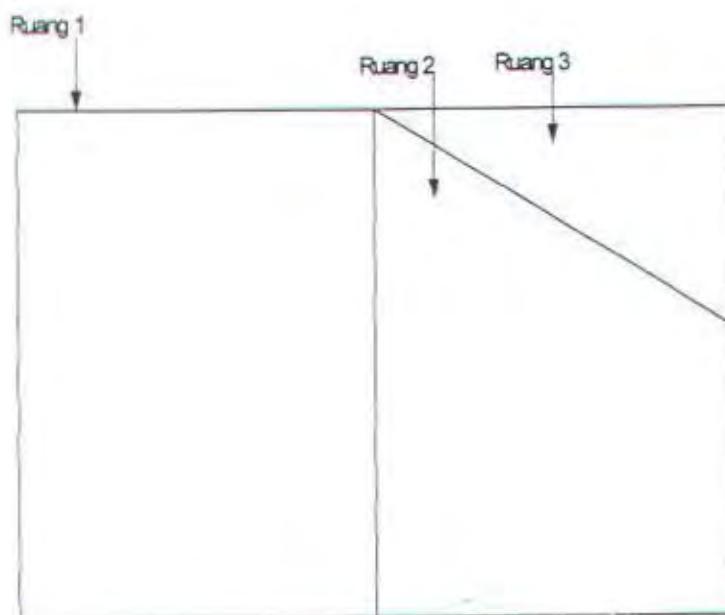


4.1.1.2.2 Spesifikasi dan dimensi prototype base generator

1	Panjang	0.6	m
2	Lebar prototipe	0.3	m
3	Tinggi prototipe	0.3	m
4	Volume kompartmen basa	0.033	m ³
5	Volume resin kation exchange	0.001	m ³
6	Volume resin anion exchange	0.001	m ³
7	Arus (I)	100	A
8	Tahanan (R)	0,00081	Ohm
9	Tegangan(V)	0,081	Volt

Tabel 4.1.1.2.2 Spesifikasi dan dimensi prototype base generator

Base generator merupakan prototype pertama yang berfungsi sebagai produksi basa yang dihasilkan dari air laut. Pada prototipe ini dibuat 3 kompartment yang masing-masing compartment dipisahkan oleh suatu resin penukar ion.



Gambar 4.1.1.2.2. Pembagian ruangan



4.1.1.2.2 Perencanaan resin

Resin yang digunakan adalah menggunakan 2 jenis. Jenis yang pertama adalah resin penukar ion positif (Kation exchanger resin) dan resin penukar ion negatif (Anion exchanger resin). Masing – masing mempunyai volume 1 liter.

IV.1.2 Pembuatan Prototype

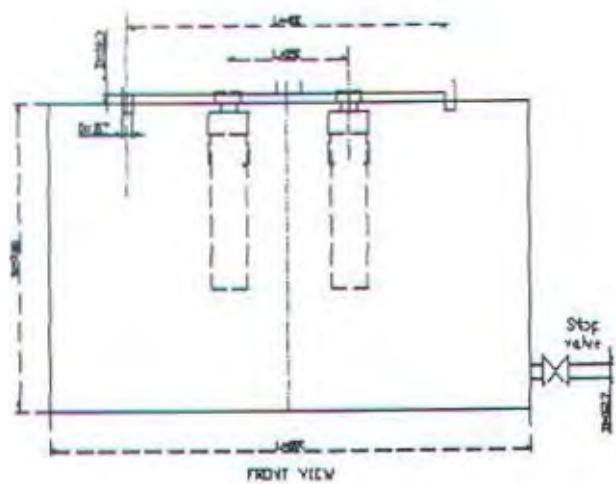
Setelah melakukan perhitungan untuk dimensi yang dibutuhkan maka akan direncanakan gambar-gambar desain prototype dan untuk kemudian masuk ke tahap pembuatan prototype.

Prototipe yang dibuat adalah dua buah. Prototipe pertama adalah suatu alat yang bisa menghasilkan basa dari air laut dan dinamakan *Base Generator* sedangkan prototype yang kedua adalah suatu alat kontak massa cairan basa yang dihasilkan oleh prototype pertama dengan gas buang mesin (*Tray tower /spray scrubber*).

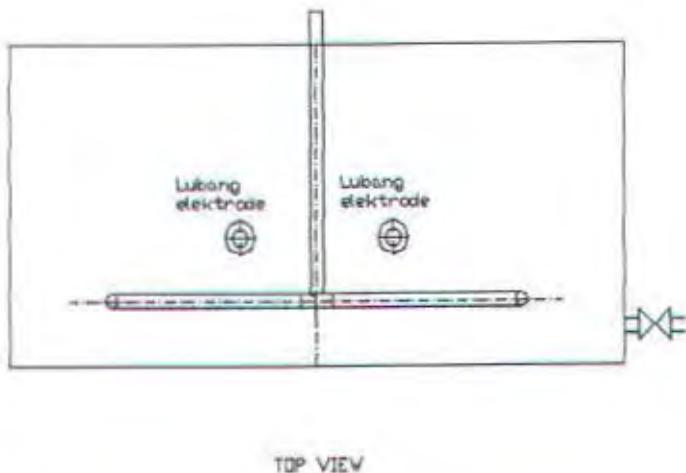
4.1.2.1 Prototipe Base generator

4.1.2.1.1 Perencanaan desain awal

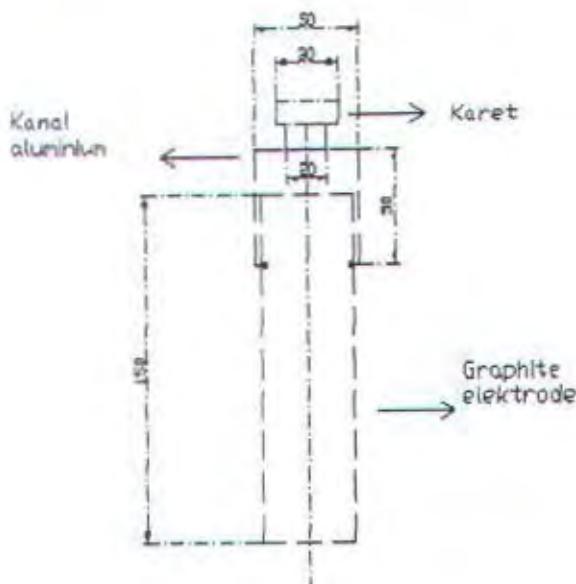
Perencanaan desain awal berupa gambar – gambar CAD yang akan dibuat. (Gambar CAD selengkapnya lihat di lampiran).



Gambar 4.1.2.1.1.1 Prototipe base generator tampak depan



Gambar 4.1.2.1.1.2 Prototipe base generator tampak atas



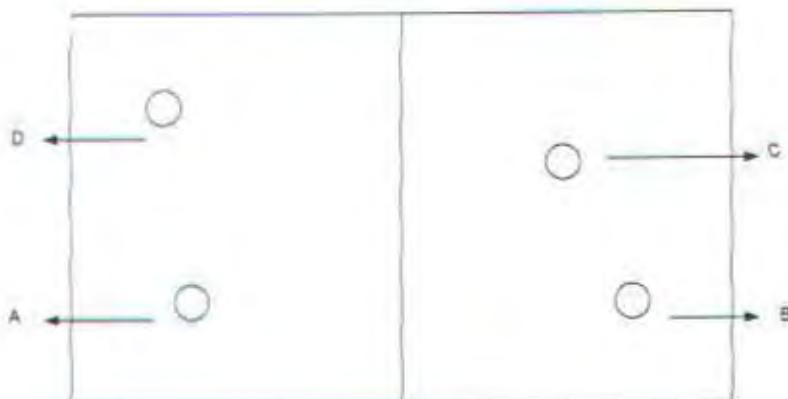
Gambar 4.1.2.1.1.3 Gambar kontruksi elektrode

4.1.2.1.2 Proses pembuatan

Kegiatan pertama yang dilakukan adalah pemotongan pelat dengan menggunakan mesin potong. Pelat steel tersebut dipotong dengan ukuran - ukuran seperti di bawah ini :

- Pelat 1 : 60cm x 30 cm (4 buah)
- Pelat 2 : 30cm x 30 cm (2 buah)

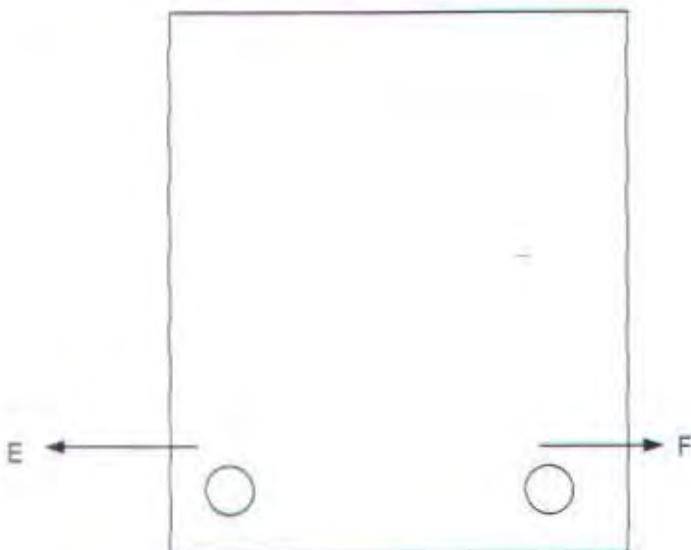
Kemudian salah satu pelat yang berukuran 60 cm x 30 cm dilakukan pengeboran untuk pemasangan fitting-fitting. Fitting-fitting yang dimaksud adalah pipa masuk air laut, stop valve, T joint, Elbow, reducer.



Gambar 4.1.2.1.2.1 Prototipe Base Generator tampak atas

Lubang A dan B merupakan lubang untuk masuknya elbow. Sedangkan lubang C dan D sebagai fungsi ventilasi. Kemudian salah satu pelat berukuran 30 cm x 30 cm juga diberi lubang seperti gambar di bawah ini :

Pada prototype ini dibuat 3 ruang yang masing-masing dipisahkan oleh suatu sekat seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4.1.2.1.2.2 Prototipe Base Generator tampak samping

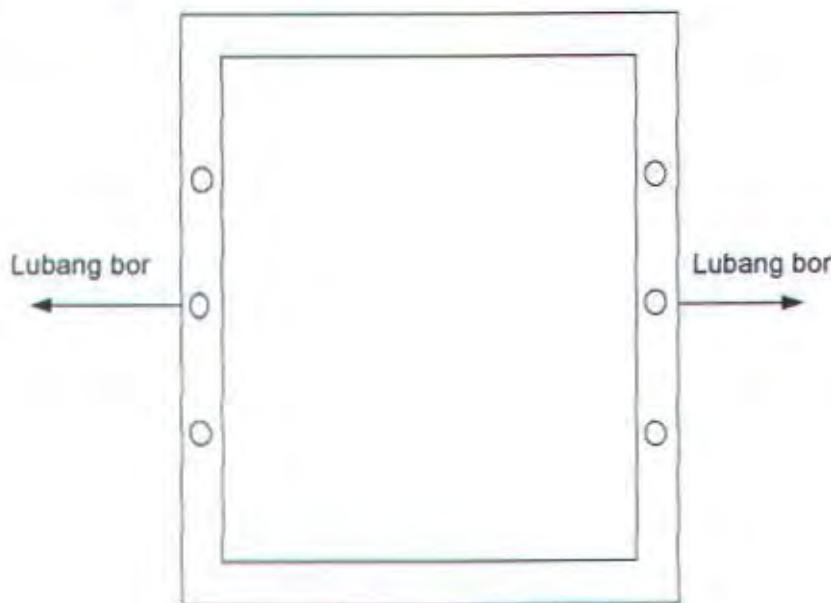


Lubang E adalah untuk tempat keluarnya larutan basa yang dihasilkan sedangkan lubang F adalah untuk keluarnya larutan yang tidak digunakan. Lalu dilakukan proses pelapisan cat anti korosif.

Pembuatan siku penyekat

Siku penyekat ini berfungsi untuk sebagai tempat sandaran media penukar ion. Ada dua jenis media penukar ion sehingga perlu adanya 2 bidang siku sebagai tempat sandaran.

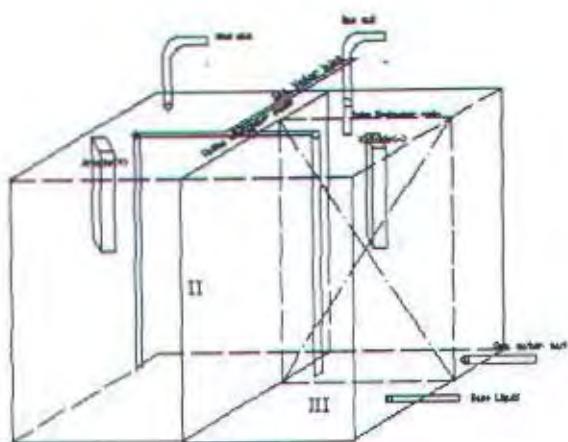
Siku penyekat untuk sandaran media penukar ion positif dibuat dengan ukuran 30cm x 30 cm sebanyak 4 buah. Dua siku dari keempat siku itu dibor dengan lubang berdiameter 2 cm. Seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4.1.2.1.2.3 Siku penyekat



Air laut masuk melalui pipa $\frac{1}{2}$ inchi dan dihubungkan dengan T joint dan juga elbow untuk setiap pengisian 2 kompartement yang dipisah oleh suatu sekat siku.



Gambar 4.1.2.1.2.4 Proyeksi prototype base generator

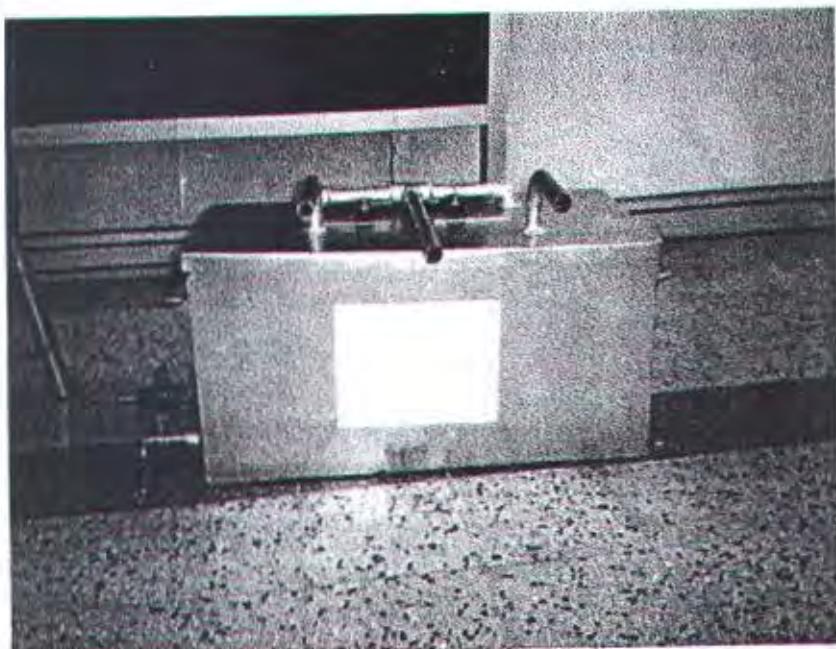
Gambar di atas merupakan gambar prototype penghasil basa. Dalam prorotipe tersebut dibagi 3 kompartement. Kompartement pertama adalah ruangan anode, compartment kedua adalah ruangan Katode dan kompartement ketiga adalah ruangan untuk air laut yang tidak digunakan. Ruangan anode dengan 2 ruangan lain dipisah oleh *kation exchange resin*. Adanya jenis resin ini akan mengambil/menyaring secara alami ion – ion positif yang terkandung di ruangan anode untuk disalurkan ke ruangan katode. Sedangkan ruangan kedua dan ketiga dibatasi oleh *anion exchange resin*. Resin jenis ini akan mengambil/menyaring ion-ion negative yang tidak digunakan misalnya adalah ion hipoklorit yang terbentuk dan kemudian disalurkan ke pipa buang.



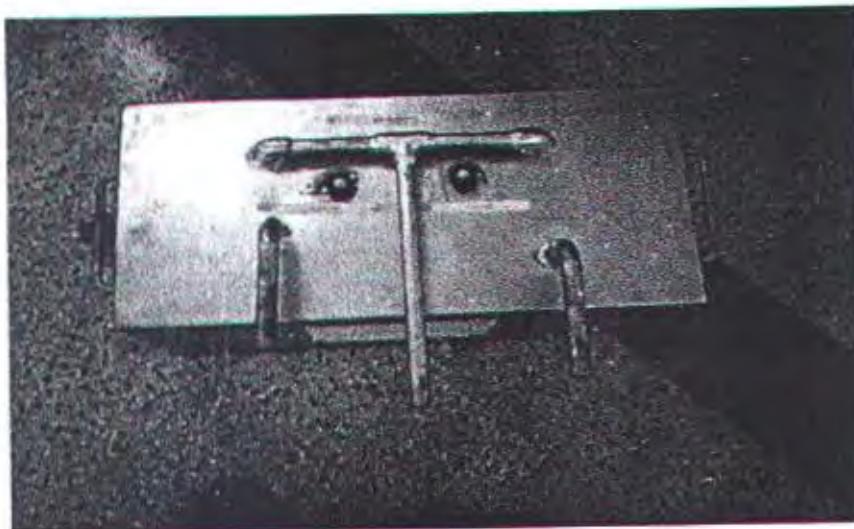
Jenis ruangan	P(cm)	L(cm)	T(cm)	Volume(lt)
Ruangan Anode	30	30	30	27
Ruangan Katode	30	20	30	22,5
Ruangan sisa	30	10	30	4,5

Tabel 4.1.2.1.2.1 Dimensi Prototipe base generator

Tabel di atas merupakan volume ruangan yang terdapat di dalam prototype base generator. Ruangan tempat produksi basa adalah ruangan katode



Gambar 4.1.2.1.2.5 Prototipe base generator tampak belakang

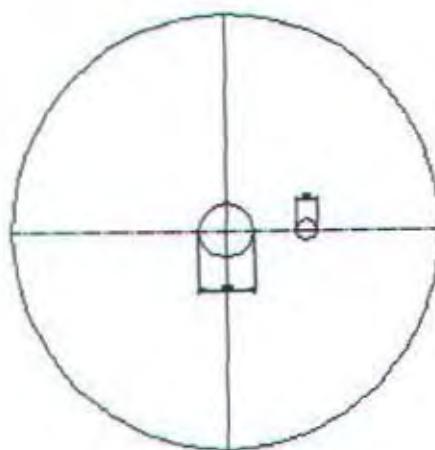


Gambar 4.1.2.1.2.5 Prototipe base generator tampak atas

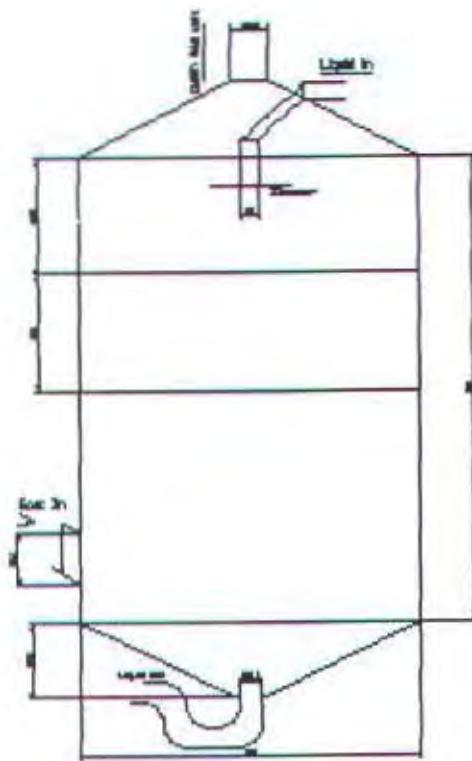
4.1.2.2 Tray Tower

4.1.2.2.1 Perencanaan desain awal

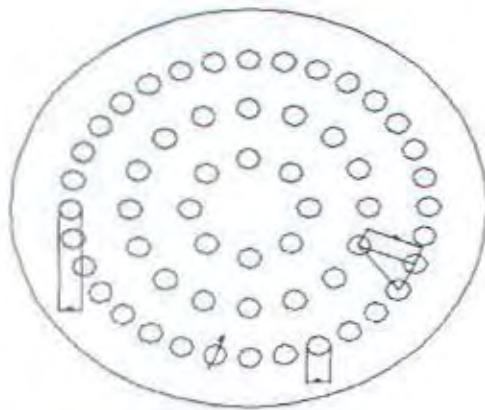
Perencanaan desain awal berupa gambar – gambar CAD yang akan dibuat. (Gambar CAD selengkapnya lihat di lampiran).



Gambar 4.1.2.2.1.1 Tray tower tampak atas



Gambar 4.1.2.2.1.2 Tray tower



Gambar 4.1.2.2.1.3 Pelat tahapan absorpsi



4.1.2.2.2 Proses pembuatan

Kegiatan pertama yang dilakukan adalah pemotongan pelat dengan menggunakan mesin potong. Pelat steel tersebut dipotong dengan ukuran - ukuran seperti di bawah ini :

- Pelat melingkar (atas& bawah) : Diameter 40 cm (2 buah)
- Pelat dinding : 200cmx 60 cm

Proses pembuatan dilanjutkan dengan melakukan penggerolan pelat supaya pelat bisa berbentuk tabung (untuk dinding) dan berbentuk kerucut (untuk bagian atas dan bawah prototipe). Kemudian dilakukan proses pengeboran untuk pemasangan fitting- fitting sebesar 2" untuk jalan masuk gas buang dan jalan keluar gas buang dan air, sebesar 2" untuk jalan masuk larutan basa. Proses pengecatan juga dilakukan 2 lapis dengan menggunakan cat anti korosif.

Di dalam scrubber terdapat 1 buah shower untuk menyemprot larutan basa yang dihasilkan prototype pertama. Di dekat bawah shower terdapat 2 lapisan pelat yang berlubang-lubang. Lapisan ini ditujukan agar gas bisa tertahan lebih lama di dalam tabung dan agar aliran gas untuk keluar dari dalam tabung tidak banyak menemui hambatan maka kedua lapisan tersebut dibuat berlubang-lubang (diameter lubang =2cm).



Gambar 4.1.2.2.2.1 Tray tower tampak sisi inlet fluida gas



Gambar 4.1.2.2.2.2 Tray tower tampak sisi inlet fluida cair



Gambar.4.1.3.1 Prototipe set up

4.1.3 Kalibrasi

Prototipe akan dilakukan proses kalibrasi untuk mengetahui unjuk kerja seberapa jauh kemampuan mereduksi senyawa CO_2 . Sebelum kalibrasi



prototype maka akan terlebih dahulu dilakukan kalibrasi engine yang akan dipakai untuk kalibrasi prototype.

4.1.3.1 Kalibrasi Engine

Engine sebagai media untuk melakukan kalibrasi prototype harus dikalibrasi terlebih dahulu. Dari kalibrasi Engine didapat data sebagai berikut:

Putaran motor	Beban	FCR	SFOC	BMEP	Torque
(rpm)	Watt	(kg/s)	(kg/kW.h)	kPa	Nm
3000 (putaran 100%)	300	0.00024	3.04	28.68	9.31
	600	0.00034	1.52	79.10	25.68
	900	0.00034	1.49	82.58	26.81
	1200	0.00033	0.97	121.12	39.32
	1500	0.00032	0.84	134.01	43.51
	1800	0.00032	0.73	157.20	51.04
	2000	0.00037	0.78	167.48	54.38
2333 (putaran 77%)	300	0.00021	2.34	31.87	13.30
	600	0.00027	1.38	69.48	29.01
	900	0.00028	0.92	109.53	45.73
	1200	0.00030	0.92	115.90	48.39
	1500	0.00031	0.77	143.14	59.76
	1800	0.00038	0.74	182.55	76.22

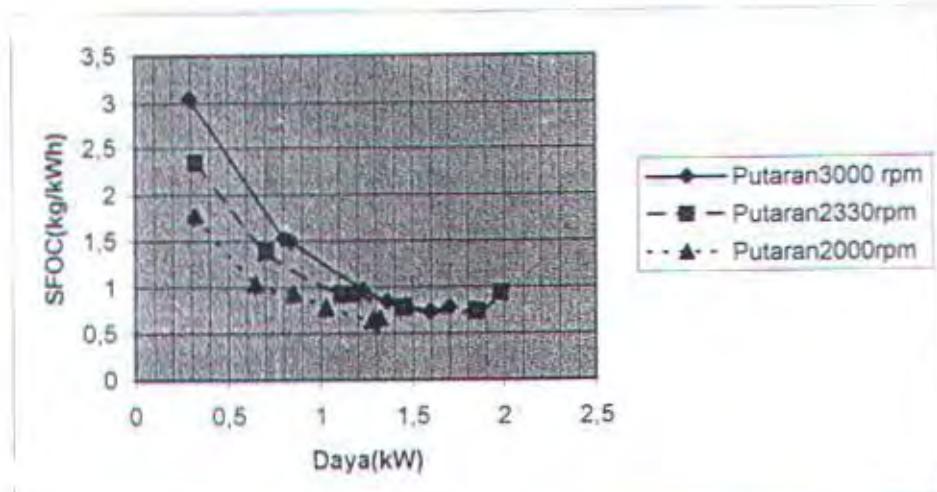
Tabel 4.1.3.1.1 Hasil kalibrasi Engine(1)



Putaran motor (rpm)	Beban Watt	FCR (kg/s)	SFOC (kg/kWh)	BMEP kPa	Torque Nm
2333 (putaran 77%)	1500	0.00031	0.77	143.14	59.76
2000 (putaran 66%)	1800	0.00038	0.74	182.55	76.22
	2000	0.00051	0.93	195.23	81.51
2000 (putaran 66%)	300	0.00016	1.78	31.87	15.52
	600	0.00018	1.04	63.74	31.04
	900	0.00022	0.93	84.43	41.12
	1200	0.00022	0.78	101.41	49.39
	1500	0.00022	0.63	126.05	61.39
	1800	0.00023	0.66	127.09	61.90
	2000	0.00024	0.66	130.39	63.51

Tabel 4.1 3.1.1 Hasil kalibrasi Engine(2)

Pada tabel di atas dapat diketahui hubungan antara beban dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) pada putaran konstan. Pada putaran 2000 Rpm dengan daya 2000 W didapat hasil SFOC sebesar 0,66 kg/kWh. Hubungan selengkapnya dapat dinyatakan pada grafik berikut ini :



Gambar 4.1.3.1.1 Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik dengan beban

Dari grafik di atas maka akan dicari beban penuh (fullload) masing-masing putaran :

Putaran 2000 Rpm

No	Persentase %load	Beban	Beban yg dipakai
		(W)	Dipakai (W)
1	100	1282	1275
2	75	961.5	950
3	50	641	650

Tabel 4.1.3.1.1 Tabel beban putaran 2000 Rpm

Putaran 2330 Rpm

No	Persentase	Beban (W)	Beban yg dipakai Dipakai(W)
	%load		
1	100	1910	1925
2	75	1432.5	1425
3	50	955	950

Tabel 4.1.3.1.2 Tabel beban putaran 2330 Rpm

Putaran 3000 rpm

No	Persentase	Beban (W)	Beban yg dipakai Dipakai(W)
	%load		
1	100	1650	1675
2	75	1237	1250
3	50	825	850

Tabel 4.1.3.1.1 Tabel beban putaran 3000 rpm

4.1.3.2 Kalibrasi prototype

Proses kalibrasi prototipe dilakukan dua tahap. Tahap pertama adalah mengukur kadar CO₂ engine pada keadaan beban yang direncanakan pada tabel di atas. Tahap kedua adalah mengukur kadar CO₂ dengan memasang prototype beserta engine. Hasil pengukurannya kadar CO₂ adalah sebagai berikut:



4.1.3.2.1 Engine tidak terpasang prototype

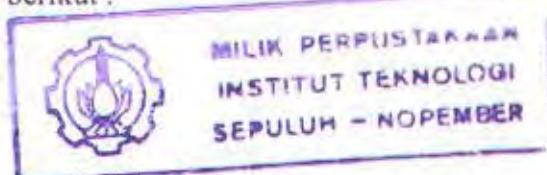
Pengukuran kadar CO₂ pada gas buang Engine pada saat pipa gas buang tidak dengan prototipe adalah sebagai berikut :

No	Putaran Rpm	%Putaran	Beban W	%Beban	%CO ₂
1	2000	66.66	650	50	12.52
2			950	75	16.69
3			1275	100	16.69
4	2330	77.66	950	50	21.70
5			1425	75	73.45
6			1925	100	87.64
7	3000	100	850	50	54.25
8			1250	75	58.43
9			1675	100	62.60

Tabel 4.1.3.2.1 Persentase CO₂ Engine

4.1.3.2.2 Engine terpasang prototype

Pengukuran kadar CO₂ pada gas buang Engine pada saat pipa gas buang terpasang dengan prototype adalah sebagai berikut :





No	Putaran	%Putaran	Beban	%Beban	%CO ₂
	Rpm		W		
1	2000	66.66667	650	50	12.52
2			950	75	12.52
3			1275	100	12.52
4	2330	77.66667	950	50	12.52
5			1425	75	12.52
6			1925	100	12.52
7	3000	100	850	50	20.86
8			1250	75	25.04
9			1675	100	25.04

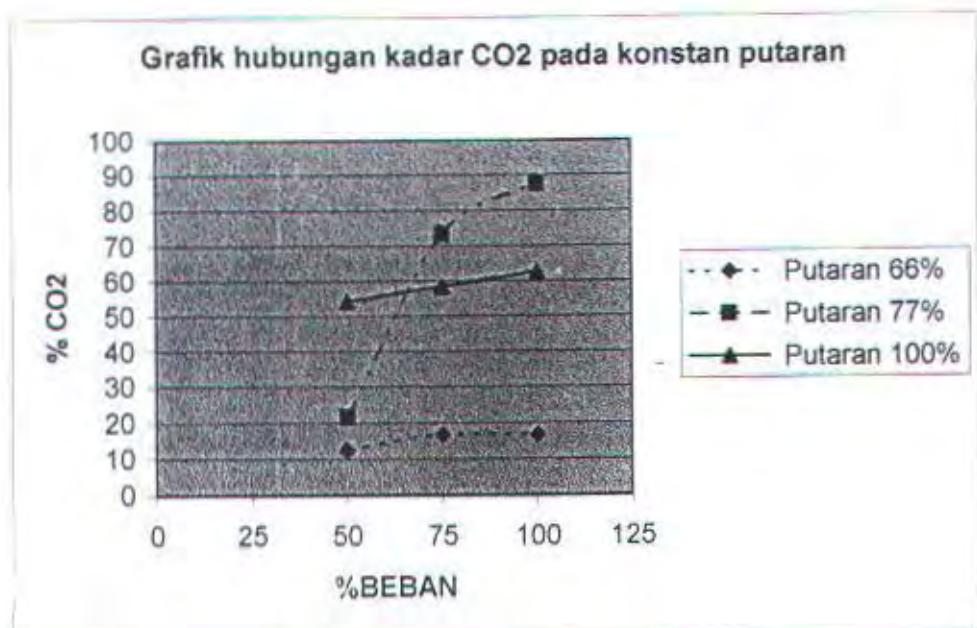
Tabel 4.1.3.2.2 Persentase CO₂ Engine terpasang pada prototipe

4.1.3.2.3 Persentase penurunan kadar CO₂

Dari hasil pengukuran CO₂ pada kedua tabel di atas maka didapat persentase penurunan kadar CO₂ apabila dibandingkan pada saat prototype tidak terpasang dengan engine dan pada saat prototype terpasang dengan engine. Persentase penurunan selengkapnya dapat dilihat pada tabel di berikut ini :

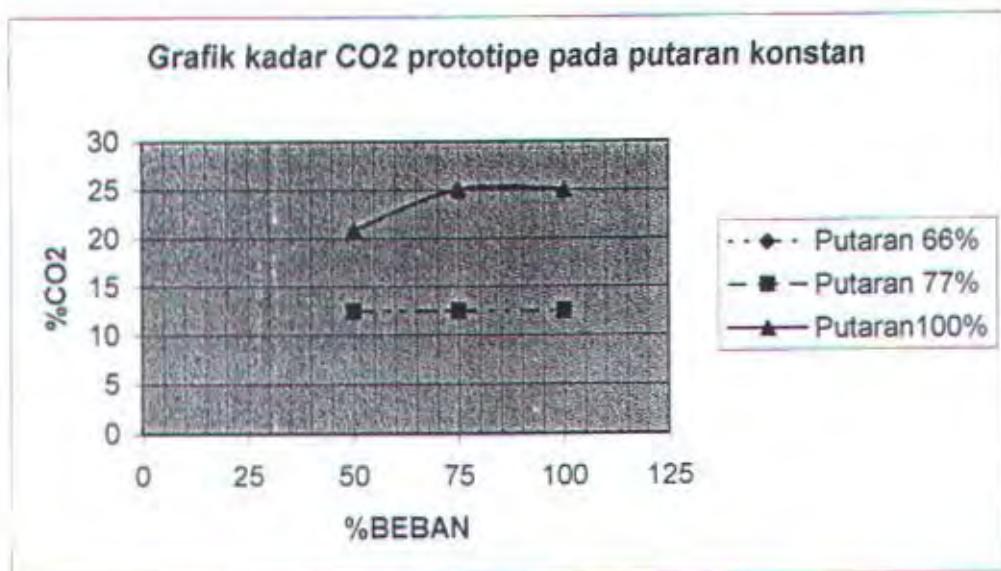


4.1.3.2.4.1 Engine tanpa prototipe



Gambar 4.1.3.2.4.1 Gratik %CO₂ Engine tanpa prototipe

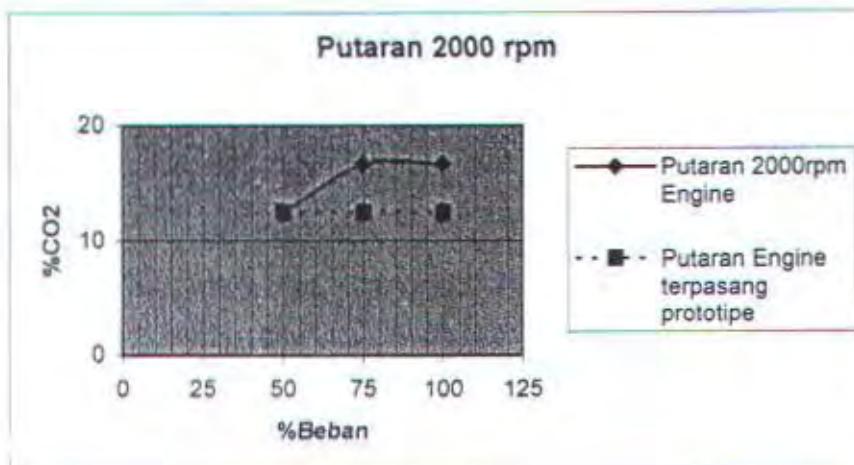
4.1.3.2.4.2 Engine terpasang prototipe



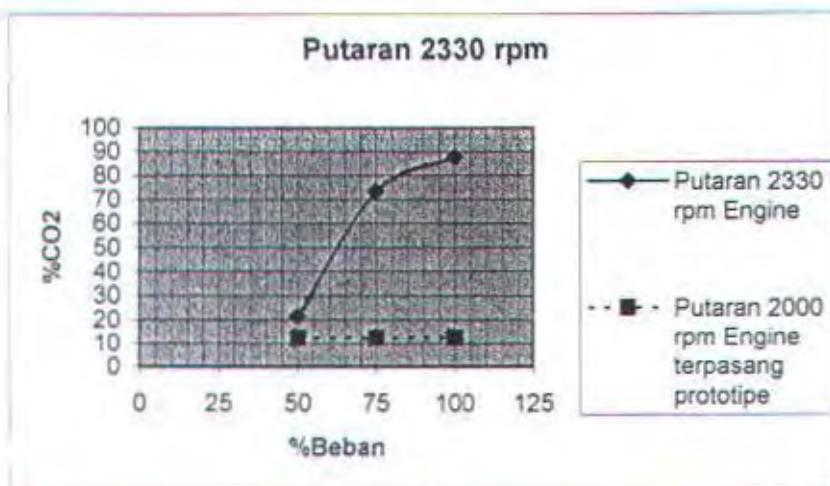
Gambar 4.1.3.2.4.2 Grafik %CO₂ Engine terpasang prototipe



4.1.3.2.4.3 Grafik pada putaran 2000 rpm(66%)

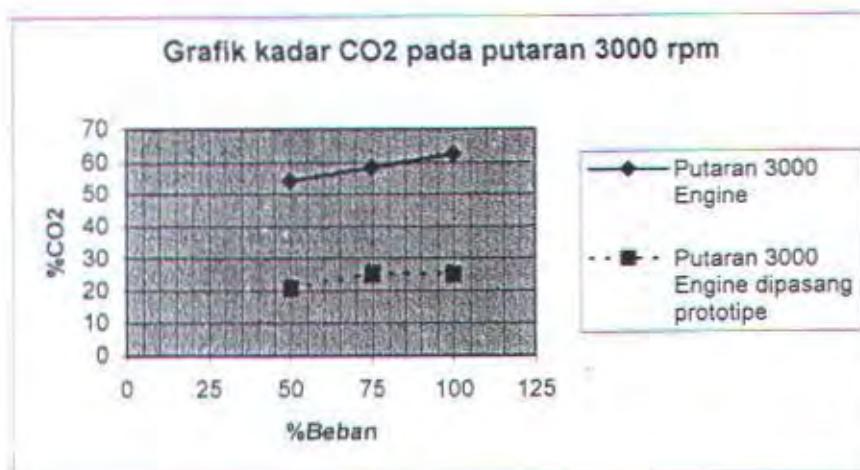
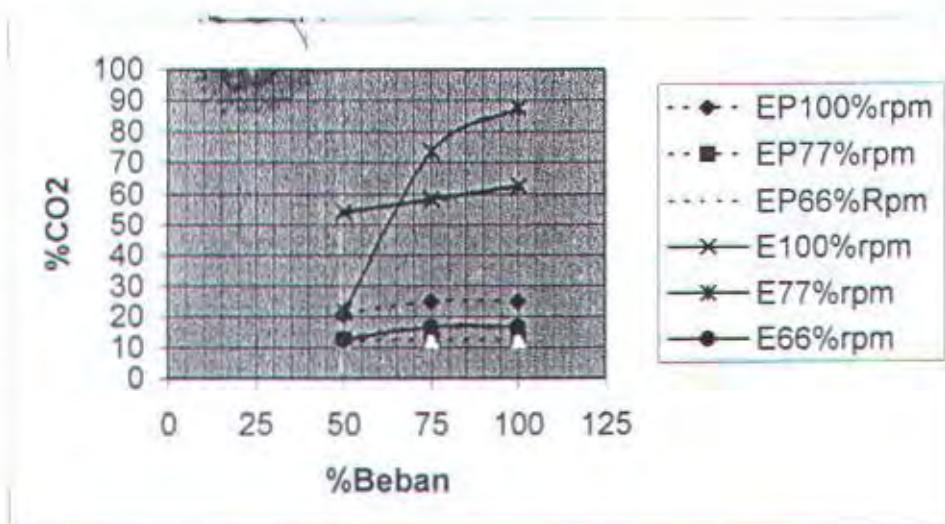
Gambar 4.1.3.2.4.3 Grafik %CO₂ pada putaran 2000 rpm(66%)

4.1.3.2.4.3 Grafik pada putaran 2330 rpm (77%)

Gambar 4.1.3.2.4.3 Grafik %CO₂ pada putaran 2330 rpm(77%)

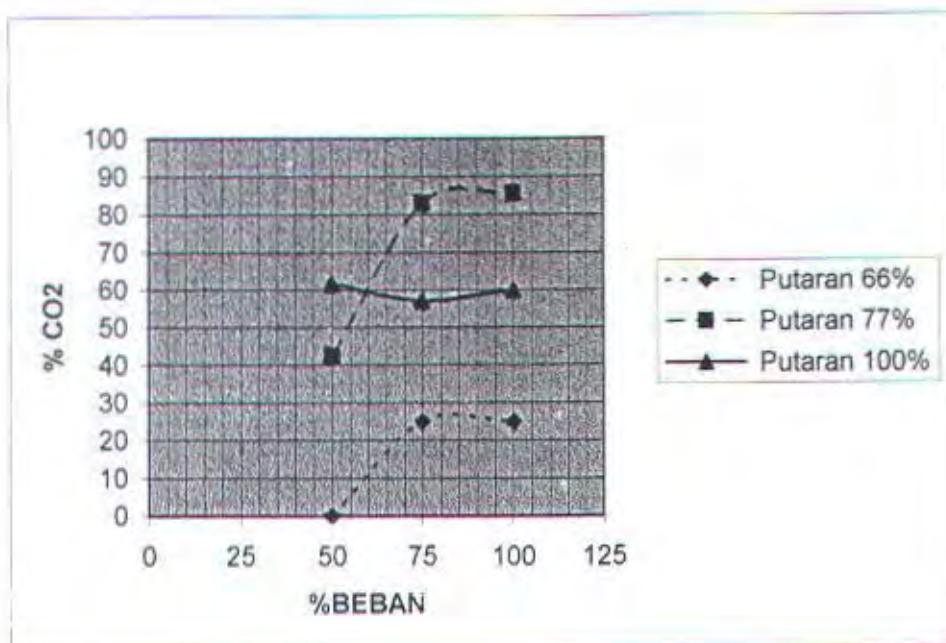


4.1.3.2.4.4 Grafik pada putaran 3000 rpm (100%)

Gambar 4.1.3.2.4.4 Grafik %CO₂ pada putaran 3000 rpm(100%)4.1.3.2.4.5 Grafik kadar CO₂ Engine dan prototypeGambar 4.1.3.2.4.5 Grafik %CO₂ Engine dan prototype



4.1.3.2.4.6 Grafik persentase penurunan



Gambar 4.1.3.2.4.6 Grafik persentase penurunan

4.1.3.2.5 Data senyawa karbonat

Proses yang terjadi di dalam prototype tray tower akan menghasilkan senyawa larutan yang mengandung banyak unsur karbonat. Senyawa karbonat ini tidak beracun dan bisa larut di dalam air. Berikut data hasil uji senyawa karbonat :

No	Putaran mesin Rpm	%Putaran	Beban Watt	%Beban	Kadar Karbonat g/l
1	2000	66%	650	50%	2.625
2			950	75%	5.25
3			1275	100%	5.4
4	2300	77%	950	50%	12.3
5			1425	75%	12.474
6			1925	100%	16.632

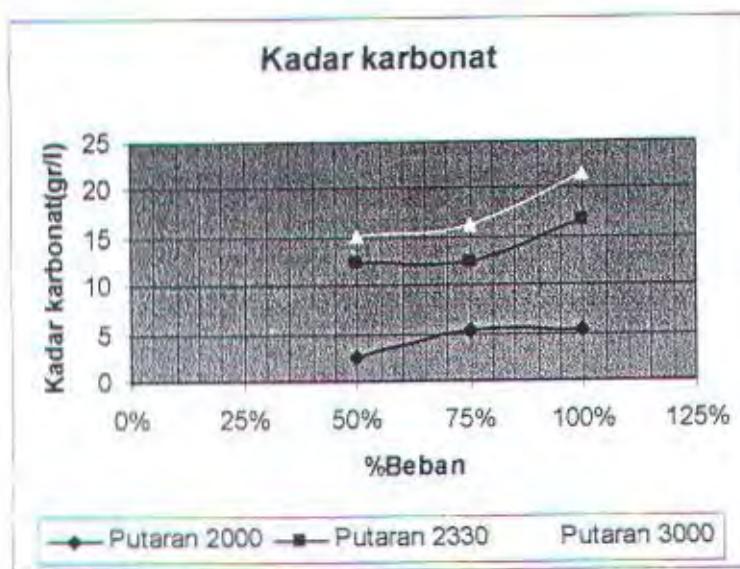
Tabel 4.1.3.2.5 Kadar senyawa Karbonat



No	Putaran mesin Rpm	%Putaran	Beban Watt	%Beban	Kadar Karbonat g/l
7	3000	100%	650	50%	15.25
8			950	75%	16.2
9			1275	100%	21.6

Tabel 4.1.3.2.5 Kadar senyawa Karbonat

Berdasarkan data tabel di atas maka didapat grafik hubungan kadar karbonat dengan beban :



Gambar 4.1.3.2.5 Kadar senyawa karbonat

4.2 Pembahasan

Kadar CO₂ gas buang mengalami kenaikan pada saat putaran yang sama dan beban dinaikkan. Hal ini disebabkan pada saat beban dinaikkan maka aliran bahan bakar yang diinjeksikan meningkat sehingga sejumlah udara yang dibutuhkan pada proses pembakaran juga mengalami peningkatan. Mengakibatkan jumlah atom Karbon dan Oksigen yang berikatan cenderung lebih banyak.



Gas buang Engine yang terpasang prototype mempunyai kadar CO₂ yang sama pada keadaan putaran 2000 (66%), 2330 (77%). Hal ini disebabkan terjadinya larutan basa (yang mengandung gugus -OH) yang terus meningkat disebabkan suplai arus secara terus menerus dan media penukar ion positif yang mampu menyuplai ion-ion positif. Sedangkan pada kondisi putaran engine 100% kadar CO₂ meningkat karena proses pembakaran engine yang memerlukan banyak bahan bakar.

Pada putaran engine sebesar 66% (2000rpm) persentase terbesar penurunan adalah 25%. Pada saat ini prototype baru saja beroperasi sehingga proses absorpsi larutan basa terhadap gas tidak terlalu besar. Sampai pada kondisi beban 100% persentase penurunannya adalah 25%. Meningkatnya laju bahan bakar dan jumlah udara pembakaran mengakibatkan peningkatan terbentuknya ikatan Karbon dan Oksigen secara sempurna dan prototype belum cukup melakukan proses absorpsi.

Persentase penurunan terbesar terjadi pada saat kondisi putaran 2330rpm dengan beban 100% yaitu sebesar 85,17 %. Reaksi yang terjadi pada prototype penghasil basa (base generator prototype) sudah berlangsung lebih lama sehingga melimpahnya larutan basa yang kontak massa ke dalam prototype tray tower (Low energy scrubber) menyebabkan proses absorpsi liquid-gas meningkat.



Pada putaran maksimum yaitu 3000 Rpm pada beban 100% mempunyai persentase sebesar 60%. Kemudian pada beban 75% menurun menjadi 57%. Sedangkan pada beban 50% mempunyai persentase penurunan sebesar 61,5%.

Dari grafik di atas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa unjuk kerja paling rendah prototipe ditunjukkan pada saat beban 50% berada pada kondisi 100% putaran. Sehingga prototipe masih belum memiliki kemampuan secara baik pada kondisi engine beban penuh. Sedangkan unjuk kerja paling baik ditunjukkan pada saat beban 100% dan pada kondisi 77% putaran.

Pada saat beban 50%, unjuk kerja terburuk didapat pada kondisi putaran paling rendah, lalu diikuti kemudian pada putaran 77%, sedangkan pada kondisi putaran paling tinggi proses absorpsi CO₂ prototipe adalah paling tinggi.

Pada saat beban 75%, unjuk kerja terburuk didapat pada kondisi putaran paling rendah, diikuti kemudian pada putaran 66%. Sedangkan pada kondisi putaran 77%, proses absorpsi CO₂ prototipe adalah paling tinggi.

Pada saat beban 100%, unjuk kerja terburuk didapat pada kondisi putaran paling rendah, diikuti kemudian pada putaran 66%. Sedangkan pada kondisi putaran 77%, proses absorpsi CO₂ prototipe adalah paling tinggi.

Dari analisa di atas maka dapat dinyatakan bahwa prototipe AeroZeppelin mampu menurunkan kadar CO₂. Walaupun pada kondisi putaran 100% persentase penurunannya adalah masih kurang begitu bagus..



Hal ini menunjukkan bahwa prototipe belum mampu untuk menyerap CO₂ dari gas buang engine pada saat putaran maksimum secara baik.

Pada proses kalibrasi prototipe yang harus diperhatikan selain kemampuan pengurangan kadar CO₂ juga kualitas air yang keluar dari prototype tray tower. Berdasarkan hasil uji kualitas air maka dapat diketahui kandungan senyawa karbonat (CO₃). Pada grafik 4.1.3.2.5 dapat dilihat bahwa pada keadaan putaran 100% maka kadar CO₃ yang paling tinggi terjadi pada saat 100% beban yaitu sebesar 21.6 gram/liter. Sedangkan pada kondisi pembebahan 50% maka kadar CO₃ sebesar 15.25 gram/liter.

Pembuangan limbah telah diatur pada peraturan konvensi perlindungan lingkungan laut MARPOL tahun 1989. Bahan-bahan yang boleh dibuang langsung adalah :

- Pecahan-pecahan bahan
- Kotoran Lumpur
- Limbah ikan atau bahan hasil proses operasi industri ikan
- Bejana dan pelat
- Senyawa inorganik bumi
- Bahan organik

Batas emisi lingkungan laut yang sudah ditetapkan yaitu (Department of Primary Industries Water and Environment,2000) :



Prototipe perlu dipertimbangkan kemampuan dan dimensinya dari berbagai macam engine. Oleh karena itu perlu dibuat suatu perencanaan desain dimensi prototipe untuk berbagai ukuran engine. Langkah selanjutnya adalah membuat formula yang menyesuaikan dimensi prototipe dengan engine.

Berikut adalah tabel spesifikasi prototype :

1	Diameter inlet gas	0,0508	m
2	Diameter outlet fluida	0,0508	m
3	Diameter inlet fluida cair	0,0127	m
4	Diameter outlet gas	0,0508	m
5	Rate absorpsi	0,17	kmol CO ₂ /kmol gas
6	Diameter tray tower	0,4	m
7	Tinggi	0,6	m

Tabel 4.2.2 Spesifikasi prototype tray tower

1	Panjang prototipe	0,6	m
2	Lebar prototipe	0,3	m
3	Tinggi prototipe	0,3	m
4	Volume kompartmen basa	0,033	m ³
5	Volume resin kation exchange	0,001	m ³
6	Volume resin anion exchange	0,001	m ⁴
7	Arus (I)	100	A
8	Hambatan®	0,00081	Ohm
9	Tegangan(V)	0,081	Volt

Tabel 4.2.3 Spesifikasi prototype base generator

Kalibrasi dilakukan dengan arus konstan yaitu sebesar 100A maka dengan besar arus tersebut akan dicari dimensi engine maksimal yang sesuai dengan kemampuan prototipe mereduksi CO₂, seperti tabel di bawah ini:



No	Daya kW	SFOC	FCR	mol bb	mol	Rata absorpsi	Mol base massa	Arus A/h	Arus A/s
		Kg/kWh	g/jam	Mol/j	CO2				
1	2	0,78	1560	13,66	109,28	0,17	642,83	642,83	17232
2	3	0,78	2340	20,49	163,92	0,17	964,25	964,25	25847
3	4	0,78	3120	27,32	218,56	0,17	1285,67	1285,6	3446
4	5	0,78	3900	34,15	273,20	0,17	1607,08	1607,0	43079
5	6	0,78	4680	40,98	327,84	0,17	1928,50	1928,5	51695

Tabel 4.2.2 Formula kemampuan prototype (1)

Dengan memakai metode formulasi seperti tabel di atas maka dapat dinyatakan bahwa suplai listrik yang diaplikasikan pada prototipe hanya mampu dipakai untuk mesin yang mempunyai daya maksimal ada 40 kW.

Proses operasi prototipe ini merupakan proses after treatment, di bawah ini tabel perbandingan kuntungan dan kerugian apabila dibandingkan dengan perangkat kontrol polusi after treatment yang lain :

NO	Prototype base generator dan tray tower				Catalytic	
	Absorpsi	Keuntungan	Kerugian	Keuntungan	Kerugian	
1	Menurunkan bau dan polutan gas	Butuh tempat perangkat pre treatment gas	Penyerapan gas yang efektif	Butuh suplai listrik yang cukup	Bau/odor menurun	Timbul deposit partikel
2	Proses reversibel	Butuh proses regenerasi bed	Sumber daya air laut cukup tinggi	Proses regenerasi resin	Efektif menurunkan kandungan gas/smog utamanya CO dan HC	Butuh sistem pembuangan
3		Butuh tempat yang cukup untuk fixed bed,condenser	Menurunkan suhu gas buang	Butuh tempat cukup untuk base generator dan tray tower		Suhu operasi tinggi—600K
4				Hutuh strainer untuk masuk air laut		Biaya perawatan katalis

Tabel 4.2.3 Perbandingan untung-rugi prototipe

Bab V

Kesimpulan





BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Prototipe Aero Zeppelin sudah bisa berfungsi untuk menurunkan CO₂. Walaupun kemampuannya terbatas. Prototipe mempunyai rate absorpsi 0,17 kmol CO₂/kmol basa. Prototipe dikalibrasi dengan media kalibrasi (engine) 2kW hanya mampu mereduksi CO₂ sebesar 60% pada kondisi beban penuh. Kemampuan prototype yang terbatas tersebut bisa diatasi dengan menggunakan metode formulasi. Dengan menggunakan metode tersebut maka prototipe mampu digunakan untuk mesin yang mempunyai daya maksimal 40 kW.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam proses kerja prototipe adalah fluida cair yang keluar dari tray tower. Fluida tersebut mengandung senyawa karbonat sebesar 20.6 gram/liter. Keadaan standar air laut mengandung senyawa karbonat sebesar 11.01 gram/liter. Sehingga seyogyanya kadar senyawa karbonat harus lebih rendah.

5.2 Saran

- ❖ Seyogyanya harus ada suplai listrik searah yang mampu menyuplai arus besar yang kemampuannya lebih besar dari baterai akumulator
- ❖ Suplai listrik harus bisa diatur sesuai kebutuhan.



DAFTAR PUSTAKA

- ❖ Basile ,Dennis. Perchloric Acid Fume Scrubber. Basile@Lanv.gov
- ❖ EPA. Air Pollution Technology Fact Sheet. www.EPA.com
- ❖ Grimshaw,R,W,1975,Ion-Exchange:Introduction to teory and practice,The Chemical Society, London.
- ❖ Hamann,Carl, 1998,Electrochemistry, WILEY-VCH, Weinheim.
- ❖ Helfferich,Friedrich.1962.Ion Exchange. McGraw Hill Book Company.Ney York.
- ❖ Jet Propulsion Laboratory.2002.Making Hydrogen by electrolysis of methanol. California.
- ❖ Kato,Takeyoshi. 2000. Effective utilization of by product of electrolysis hydrogen production.
- ❖ Keener,Tim.2001.CO₂ separation and sequestration utilizing FGD Scrubber by products. Department of Civil and Environmental Engineering.
- ❖ Kinoshita,Kim,Carbon: 1988.. Electrochemical and Physicochemical properties,John Willy&Sons,Kanada.
- ❖ Lingga,I wayan. 1980.Mesin Kapal I. ITS.
- ❖ Orbert,E,F,1968.International Combustion Engine 3rd,International Textbook Company,Seranton,Pennsylvania.
- ❖ Perry.Chemical Handbook. 1980.Society Chemical Engineering.



- ❖ Sherwood,Thomas,1952.Absorption and Extraction, McGraw-Hill Book Company,Inc, New York.
- ❖ Snyder,Mike. Scrubber water level control. Snyder_michael@MSHA.GOV.
- ❖ Tinsley,Robert. June 2003.From gas to past. IMAREST .
- ❖ Treybal,Robert, 1980.Mass Transfer Operations, McGraw Hill Kogakusha Ltd,Tokyo.
- ❖ Wark,Kenneth, 1981.Air Pollution,Harpers and Row Publisher.
- ❖ Wibowo,A Yudho. 2003.Laporan Kerja Praktek PT Edison Mission Energy .
- ❖ Zuhdi,Aguk. 2003.Diktat kuliah Motor Penggerak.
- ❖ www.mikropul.com
- ❖ www.vapor-tech.net

Lampiran A

LEMBAR EVALUASI PRESENTASI PROPOSAL TUGAS AKHIR

SEMESTER		TAHUN AJARAN
NAMA MHS	AGUNG YUDHO ✓	NRP 4200 100.003
JUDUL PROPOSAL	Kreisla Remanfaata Lamtor faram Nol. nirk menumikas Entri gas buang CO ₂ .	
HASIL EVALUASI	BIDANG STUDI YANG DIREKOMENDASIKAN	
A. Proposal diterima tanpa perbaikan B. Proposal diterima dengan perbaikan C. Proposal ditolak	<ul style="list-style-type: none">1. Marine Power Plant2. Marine Machinery & Systems3. Marine Electrical & Automation Systems4. Marine Reliability & Safety5. Marine Manufacturing & Design	

CATATAN PERBAIKAN : (bila diperlukan bias dilanjutkan pada halaman kosong dibalik halaman ini)

Judul disribuh:

Prototipe alat penurun emisi gas buang CO₂
dng menggunakan air laut

DOSEN PENGUJI		TANDA TANGAN	NO	NAMA PENGUJI	TANDA TANGAN
1	INDRAJAYA		6	Cemara	
2	Ahmad		7	SUTopo FF	
3	Lembit Buhn		8		
4	Atuk Purnomo		9		
5	H. Prastowo		10		

REKOMENDASI KELOMPOK BIDANG STUDI	
Dosen Pembimbing Utama	IR. AZ MSC
Dosen Pembimbing Pendamping	IR. IG MSC

CATATAN:	
Nama Koordinator Bidang Studi :	Tanda Tangan :

**LEMBAR EVALUASI PRESENTASI PROPOSAL TUGAS AKHIR
PERIODE SEMESTER GENAP TAHUN AJARAN 2003/2004**

NAMA MAHASISWA	AJUNG YUDHO WIBOWO
NRP	4200 100 003
JUDUL PROPOSAL	PROTOTIPE ALAT PENYURUH EMISI CO ₂ DGN MENGGUNAKAN AIR LANT.

HASIL EVALUASI

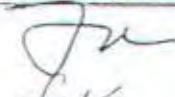
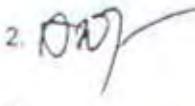
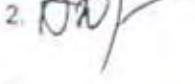
- Tugas Akhir Dapat dilanjutkan ke P3 berikutnya
- Tugas Akhir diperpanjang sampai ke P2 berikutnya
- Tugas Akhir ditolak

CATATAN PERBAIKAN: (Bila Diperlukan bisa dilanjutkan pada halaman kosong dibalik halaman ini)

DSEN PENGUJI

AMA
Abdu Revi
INDRAWAYI
SUTOTO

TANDA TANGAN

- | | |
|--|--|
| 1.  | 2.  |
| 3.  | 4.  |
| 5.  | 6.  |

Kelua-Ruang



LEMBAR EVALUASI PRESENTASI AKHIR TUGAS AKHIR
PERIODE SEMESTER GENAP TAHUN AJARAN 2003/2004

NAMA MAHASISWA	A GCIAG YUDHO W
NRP	K200108003
JUDUL PROPOSAL	PENGARUH ALAT RENOVASI DAPUR CO ₂ 610 KETINGGIAN DEWASA MEMPENGARUHKAN AIR LANTAI

HASIL EVALUASI

- A. Tugas Akhir Diterima Tanpa Perbaikan
- B. Tugas Akhir Diterima dengan Perbaikan
- C. Tugas Akhir Diperpanjang sampai P2 berikutnya
- D. Tugas Akhir Dibatalkan

CATATAN PERBAIKAN (Bila Dipertukar bisa dilanjutkan pada halaman kosong dibalik halaman ini)

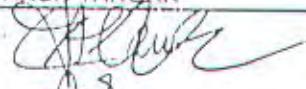
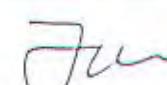
① PIR motif
② Penghalusannya bahan
③ Lampiran dibagi dafarkan hasil yg rumit
④ Data perlu dg. Tabel bkg. Untuk Cg(Carbon)

DOSEN PENGUJI

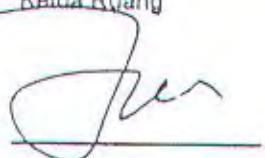
NAMA

- 1. ALAM B.
- 2. MIKE Z
- 3. INDRAPOMO
- 4.
- 5.
- 6.

TANDA TANGAN

- 1. 
- 2. 
- 3. 
- 4.
- 5.
- 6.

Kelua Ruang





**LABORATORIUM TEKNOLOGI LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

CAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA TELEPON (031) 5948886,
5994251-55 Paw 1256 TELP/FAX. (031) 5928387
E-mail : itstsby@indosat.net.id

DATA PEMERIKSAAN KARBONAT (CO₂)

No	Kode	Kadar karbonat g/l
1	2050	2,62
2	2075	5,25
3	2100	5,4
4	2350	12,3
5	2375	12,47
6	2400	16,63
7	3050	15,25
8	3075	16,2
9	3175	21,6

Surabaya 20 Juli 2004

Labman Laboratorium Teknik Lingkungan
FTSP-ITS

Laf

Edy Pramito

ASLI



DEPARTEMEN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PPM DAN PL
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA
Jl. SUDOLIPUR II (BUNGARAWA) Telp. (031) 3529847, FAX. (031) 3529847 E-mail : khtsl@bsy.go.id
Website : www.khtsl.bsy.go.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

Aset sampel
Tanggal Pengambilan
Tempat

Kota Samarinda	7 Juni 2004
Tanggal Pengambilan	Pagi
Tempat	V. I. Noyanata, ST dari D.I.D. Zonologi p

No	Sample	Locasi Pengambilan	No. Lot	Jml
1	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 10	4611	4611
2	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 11	4611	4611
3	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 12	4611	4611
4	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 13	4611	4611
5	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 14	4611	4611
6	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 15	4611	4611
7	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 16	4611	4611
8	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 17	4611	4611
9	(CO ₂) dimulai dari gas buang mesin diesel	Kode 18	4611	4611

No.	PARAMETER	Sampel	Nomor Laboratorium			Standanya	Perilaku						
1	Karbon dioksida (CO ₂)	4609 12,52	4610 12,52	4611 12,52	4612 12,52	4613 12,52	4614 12,52	4615 12,52	4616 12,52	4617 12,52	4618 12,52	4619 12,52	4617 12,52

Perilaku : Hasil pengujian ini benar
berlaku untuk contoh di atas

DILAKUKAN DI
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA
DENGAN PENGETAHUAN
Y.T. Sugiyono, ST
NIP. 14011966

Wardan
Lia
H. 14011966

Kepala Lab Kimia Balai Teknik & Laboran
Y.T. Sugiyono, ST
NIP. 14011966

24 JUN 2004

ASLI



DEPARTEMEN KESEHATAN RI

DIREKTORAT JENDERAL PPM DAN PL

BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA

JL. SIDODOLIHR 12 (INDRAJAYA) TELP. (031) 3540189, 3528847 ; FAX. (031) 3540191 SURABAYA, 60175

Website : www.btkslsby.go.idE-mail : info@btkslsby.go.id

LAPORAN HASIL PENGJELAJAH

HASIL UJI KIMIA FISIKA GAS & UDARA

Asal sampel:
Jl. Jombang 2044
Bpk. Y.L. Sugiyana, ST
dan BHKL Surabaya

Tanggal Pengambilan:
7.Jun.2004

Pengujian:
Konten ikarida (CO_2)

Satuan:
%

No. 4600
4601
16.69

No. 4602
4603
21.86

No. 4604
4605
73.45

No. 4606
4607
62.62

No. 4608
54.78

No. 4609
58.43

No. 4610
62.62

No. 4611
62.62

No. 4612
62.62

No. 4613
62.62

No. 4614
62.62

No. 4615
62.62

No. 4616
62.62

No. 4617
62.62

No. 4618
62.62

No. 4619
62.62

No. 4620
62.62

No. 4621
62.62

No. 4622
62.62

No. 4623
62.62

No. 4624
62.62

No. 4625
62.62

No. 4626
62.62

No. 4627
62.62

No. 4628
62.62

No. 4629
62.62

No. 4630
62.62

No. 4631
62.62

No. 4632
62.62

No. 4633
62.62

No. 4634
62.62

No. 4635
62.62

No. 4636
62.62

No. 4637
62.62

No. 4638
62.62

No. 4639
62.62

No. 4640
62.62

No. 4641
62.62

No. 4642
62.62

No. 4643
62.62

No. 4644
62.62

No. 4645
62.62

No. 4646
62.62

No. 4647
62.62

No. 4648
62.62

No. 4649
62.62

No. 4650
62.62

No. 4651
62.62

No. 4652
62.62

No. 4653
62.62

No. 4654
62.62

No. 4655
62.62

No. 4656
62.62

No. 4657
62.62

No. 4658
62.62

No. 4659
62.62

No. 4660
62.62

No. 4661
62.62

No. 4662
62.62

No. 4663
62.62

No. 4664
62.62

No. 4665
62.62

No. 4666
62.62

No. 4667
62.62

No. 4668
62.62

No. 4669
62.62

No. 4670
62.62

No. 4671
62.62

No. 4672
62.62

No. 4673
62.62

No. 4674
62.62

No. 4675
62.62

No. 4676
62.62

No. 4677
62.62

No. 4678
62.62

No. 4679
62.62

No. 4680
62.62

No. 4681
62.62

No. 4682
62.62

No. 4683
62.62

No. 4684
62.62

No. 4685
62.62

No. 4686
62.62

No. 4687
62.62

No. 4688
62.62

No. 4689
62.62

No. 4690
62.62

No. 4691
62.62

No. 4692
62.62

No. 4693
62.62

No. 4694
62.62

No. 4695
62.62

No. 4696
62.62

No. 4697
62.62

No. 4698
62.62

No. 4699
62.62

No. 4700
62.62

No. 4701
62.62

No. 4702
62.62

No. 4703
62.62

No. 4704
62.62

No. 4705
62.62

No. 4706
62.62

No. 4707
62.62

No. 4708
62.62

No. 4709
62.62

No. 4710
62.62

No. 4711
62.62

No. 4712
62.62

No. 4713
62.62

No. 4714
62.62

No. 4715
62.62

No. 4716
62.62

No. 4717
62.62

No. 4718
62.62

No. 4719
62.62

No. 4720
62.62

No. 4721
62.62

No. 4722
62.62

No. 4723
62.62

No. 4724
62.62

No. 4725
62.62

No. 4726
62.62

No. 4727
62.62

No. 4728
62.62

No. 4729
62.62

No. 4730
62.62

No. 4731
62.62

No. 4732
62.62

No. 4733
62.62

No. 4734
62.62

No. 4735
62.62

No. 4736
62.62

No. 4737
62.62

No. 4738
62.62

No. 4739
62.62

No. 4740
62.62

No. 4741
62.62

No. 4742
62.62

No. 4743
62.62

No. 4744
62.62

No. 4745
62.62

No. 4746
62.62

No. 4747
62.62

No. 4748
62.62

No. 4749
62.62

No. 4750
62.62

No. 4751
62.62

No. 4752
62.62

No. 4753
62.62

No. 4754
62.62

No. 4755
62.62

No. 4756
62.62

No. 4757
62.62

No. 4758
62.62

No. 4759
62.62

No. 4760
62.62

No. 4761
62.62

No. 4762
62.62

No. 4763
62.62

No. 4764
62.62

No. 4765
62.62

No. 4766
62.62

No. 4767
62.62

No. 4768
62.62

No. 4769
62.62

No. 4770
62.62

No. 4771
62.62

No. 4772
62.62

No. 4773
62.62

No. 4774
62.62

No. 4775
62.62

No. 4776
62.62

No. 4777
62.62

No. 4778
62.62

No. 4779
62.62

No. 4780
62.62

No. 4781
62.62

No. 4782
62.62

No. 4783
62.62

No. 4784
62.62

No. 4785
62.62

No. 4786
62.62

No. 4787
62.62

No. 4788
62.62

No. 4789
62.62

No. 4790
62.62

No. 4791
62.62

No. 4792
62.62

No. 4793
62.62

No. 4794
62.62

No. 4795
62.62

No. 4796
62.62

No. 4797
62.62

No. 4798
62.62

No. 4799
62.62

No. 4800
62.62

No. 4801
62.62

No. 4802
62.62

No. 4803
62.62

No. 4804
62.62

No. 4805
62.62

No. 4806
62.62

No. 4807
62.62

No. 4808
62.62

No. 4809
62.62

No. 4810
62.62

No. 4811
62.62

No. 4812
62.62

No. 4813
62.62

No. 4814
62.62

No. 4815
62.62

No. 4816
62.62

No. 4817
62.62

No. 4818
62.62

No. 4819
62.62

No. 4820
62.62

No. 4821
62.62

No. 4822
62.62

No. 4823
62.62

No. 4824
62.62

No. 4825
62.62

No. 4826
62.62

No. 4827
62.62

No. 4828
62.62

No. 4829
62.62

No. 4830
62.62

No. 4831
62.62

No. 4832
62.62

No. 4833
62.62

No. 4834
62.62

No. 4835
62.62

No. 4836
62.62

No. 4837
62.62

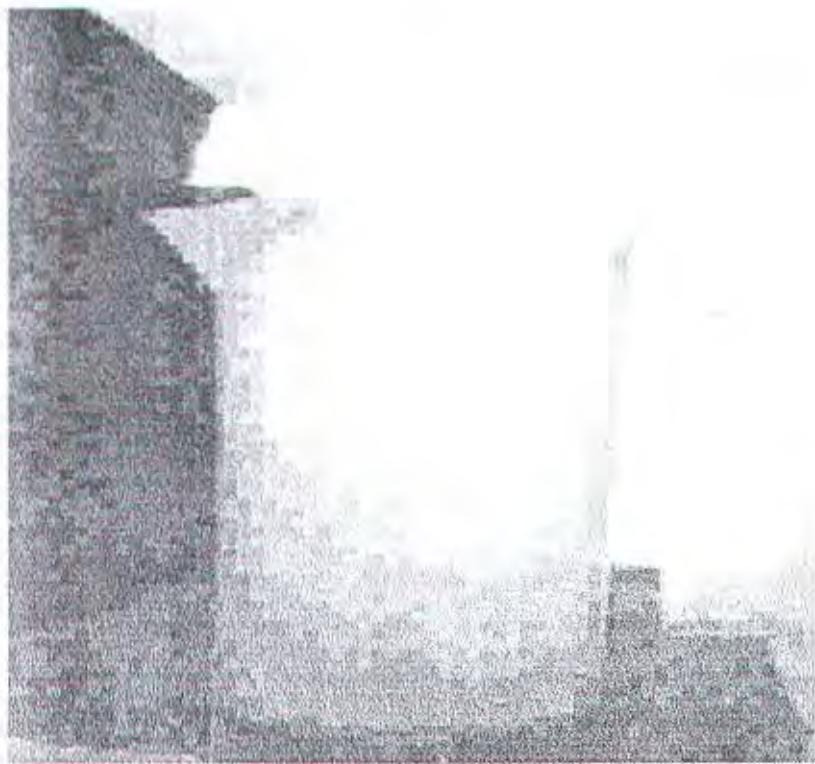
No. 4838
62.62

No. 4839
62.62

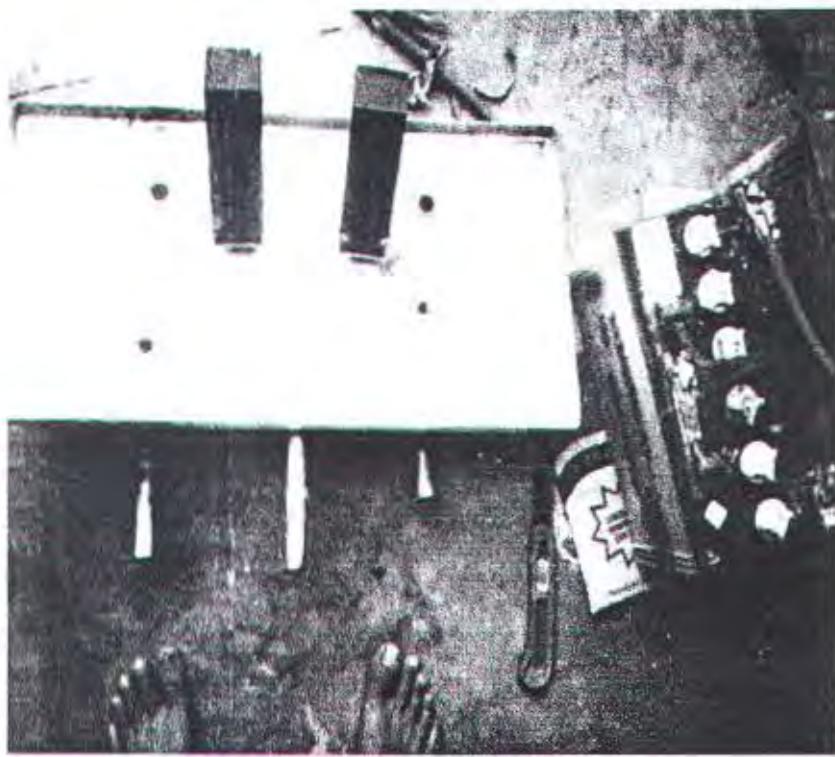
No. 4840
62.62

No. 4841
62.62</

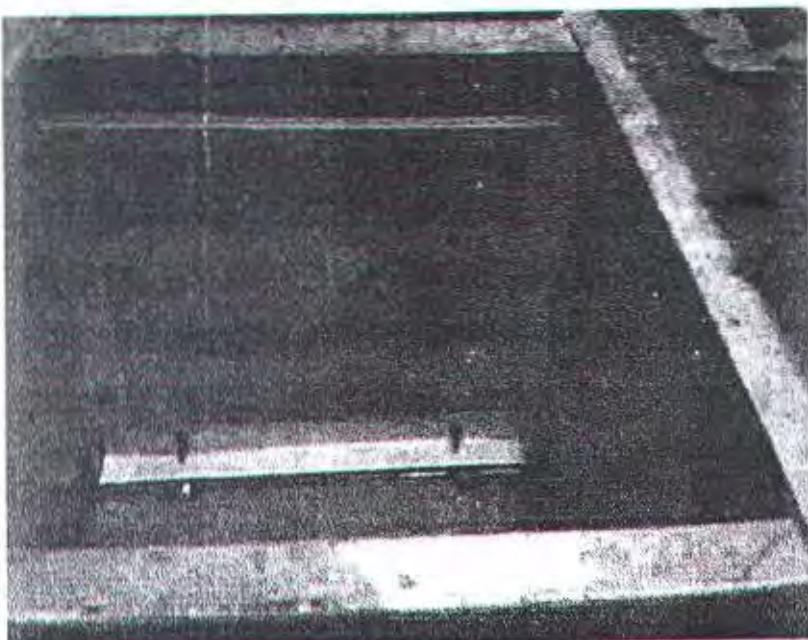
Lampiran B



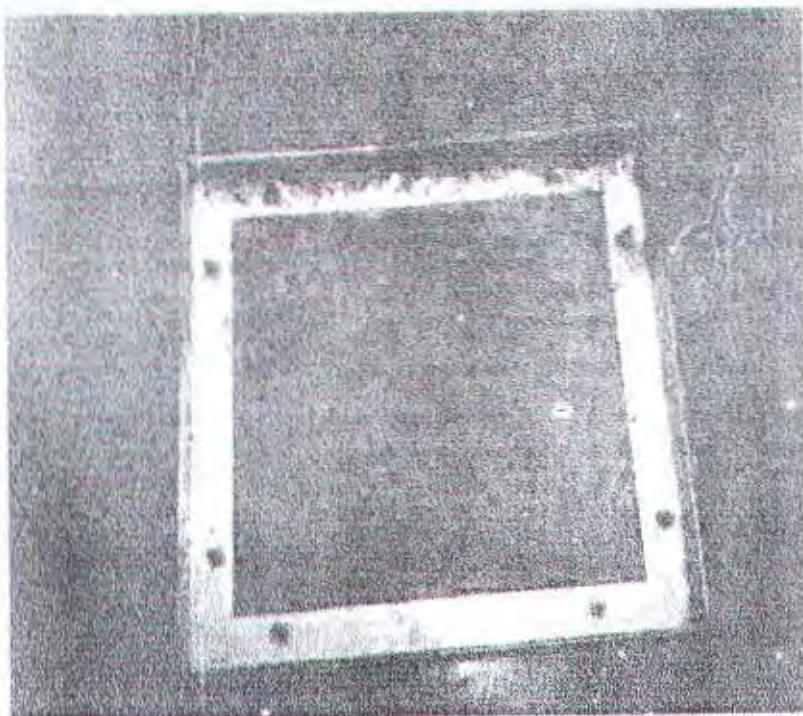
B.1 Gelas ukur bahan bakar



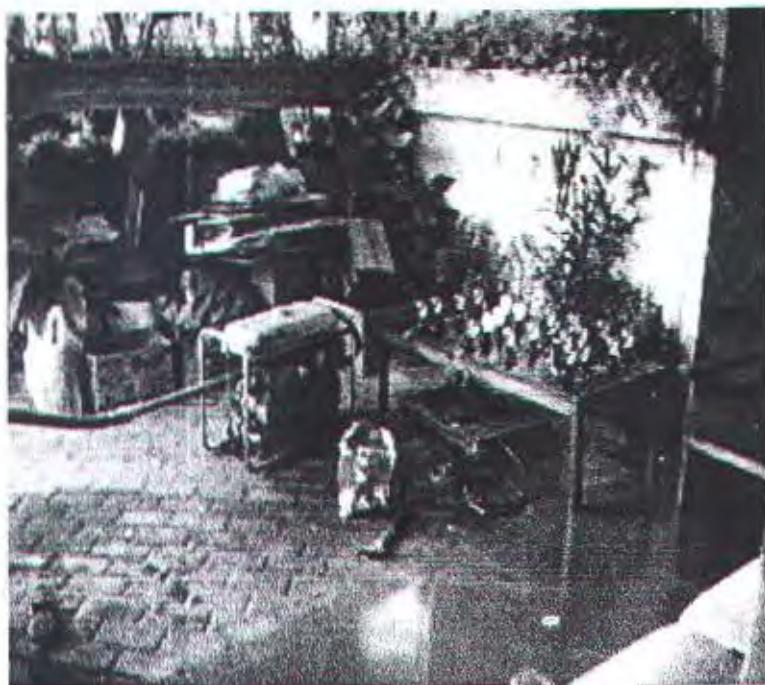
B.2 Elektrodegrafit



B.3 Kerangka media penukar ion dalam base generator



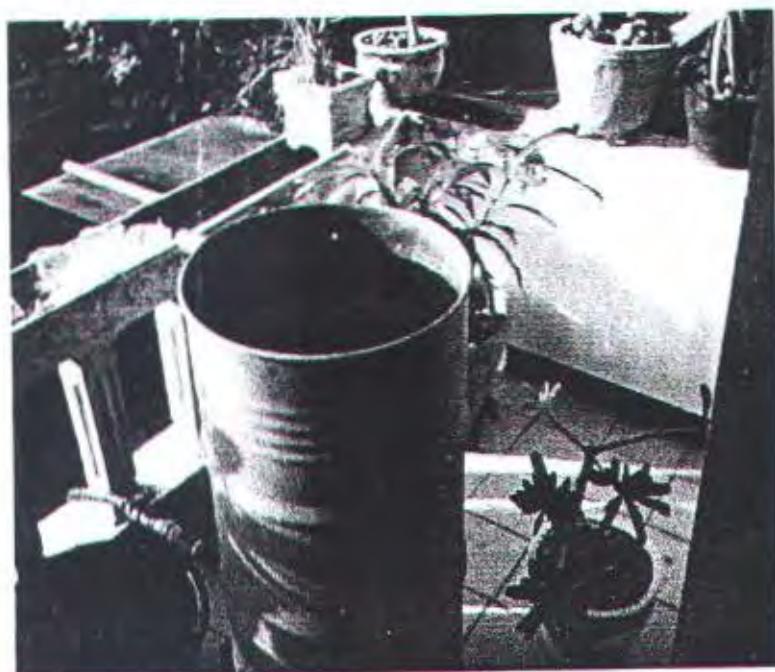
B.4 Kerangka media penukar ion



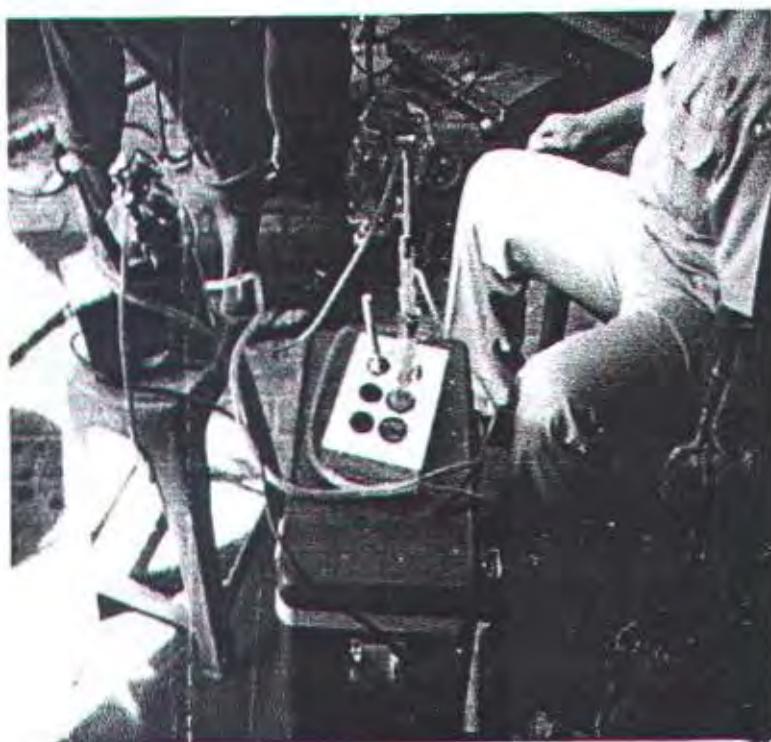
B.5 Set up kalibrasi prototype tampak engine dan lampu beban



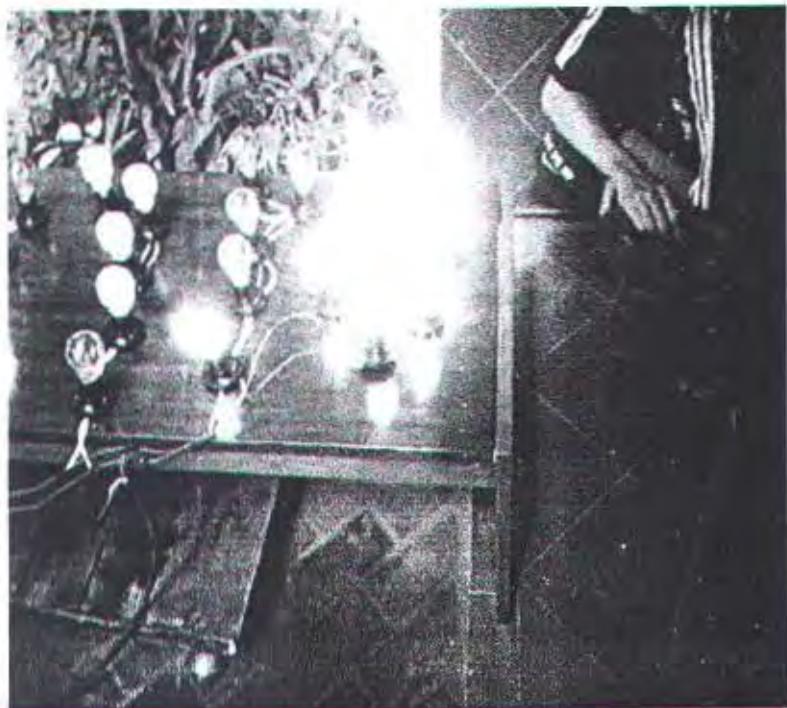
B.6 Set up kalibrasi prototype tampak engine dan tray tower



B.7 Set up kalibrasi prototype tampak drum berisi air



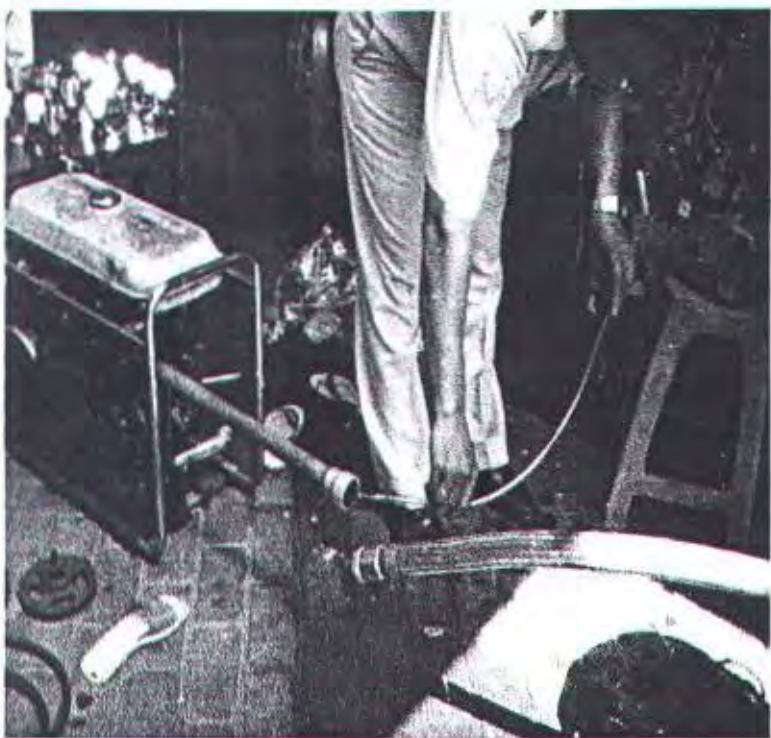
B.8 Alat pengambil sample CO₂



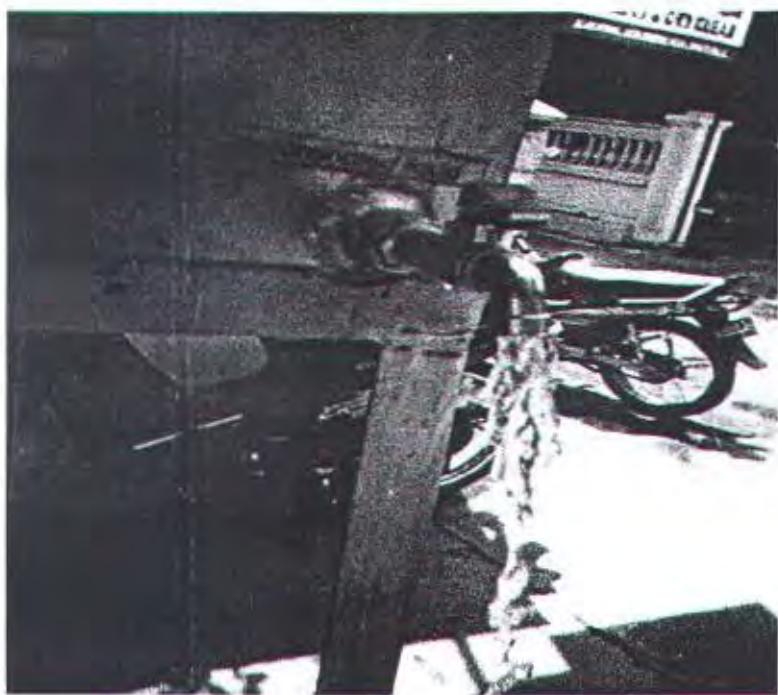
B.9 Beban lampu



B.10 Pengambilan sample CO₂ engine terpasang prototype



B.11 Pengambilan campel CO₂ engine

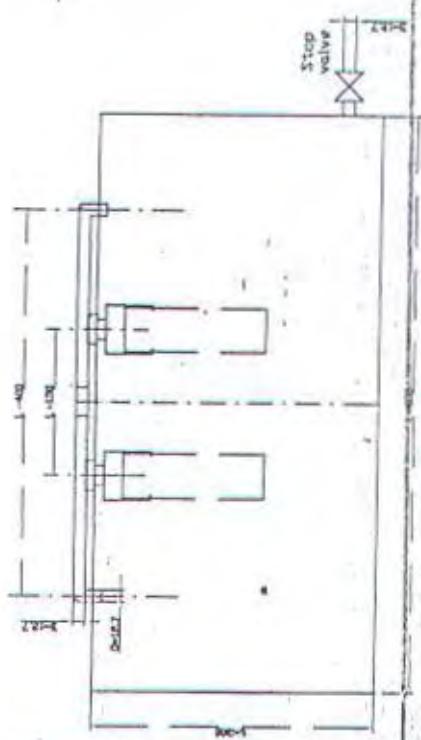


B.12 Air dari base generator

Lampiran C



THE VIE

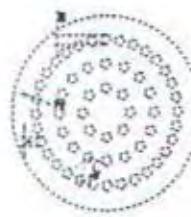
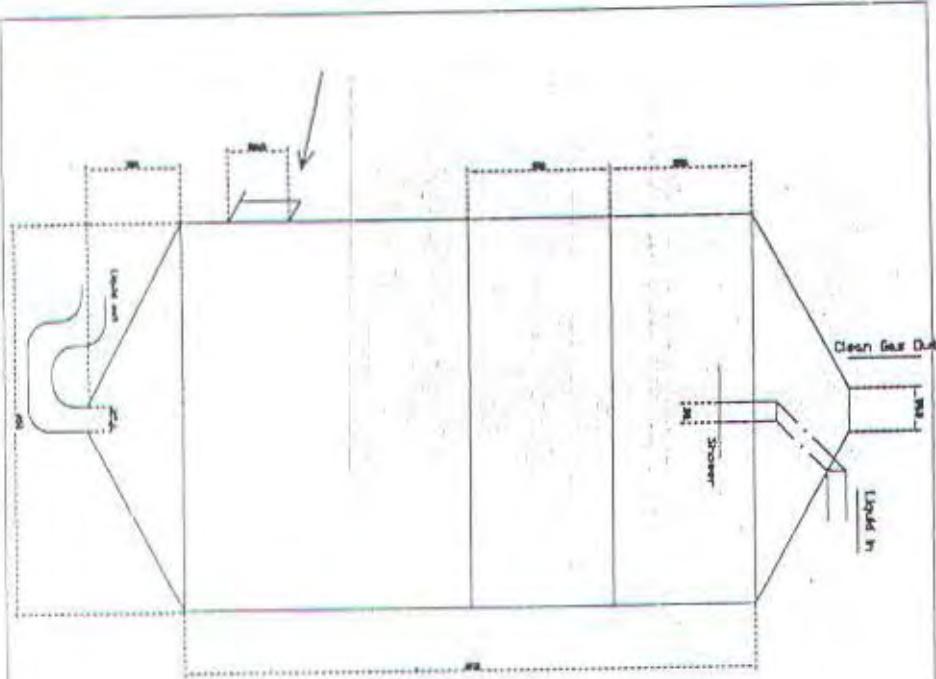


PRESENT VIEW

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKALIAN

Resepon terhadap "Harga Tinggi"				
BOLA	TABAC	TOKA TANGA	WAP	AJARAN
REAKSI = HARGA HARGA A				REAKSI = AJARAN
REAKSI = TABAC				
REAKSI = TOKA TANGA				

Journal of Health Politics, Policy and Law



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER SURABAYA		
JALAN TEGAL SISTEM PERTAMBANGAN		
SPRAY SCRUBBER "ARMO ZEPPELIN"		
Bentuk	+	+
Klasifikasi	+ KERAMIK	-
Penggunaan	-	+
Keterangan	+	+

No.	Diameter		Jarak
	atas	atas	
1	Diameter sifoner	50cm	
2	Diameter buang gas	1m	
3	Diameter masuk air	50cm	
4	Diameter masuk gas	50cm	
5	Diameter buang air	1m	
6	Diameter tabung	60 cm	
7	Diameter tabung	40 cm	
8	KETERANGAN	mm	

the slope of the curve, which is tangent to the operating line at P , which has the greatest slope for any line touching the equilibrium curve and is tangent to the curve at P . At P the diffusional driving force is zero, the required rate of contact for the concentration change desired is infinite, and an infinitely tall tower results. This then represents the limiting liquid-gas ratio.

The equilibrium curve is frequently concave upward, as in Fig. 8.7b, and the maximum liquid-gas ratio then corresponds to an exit-liquid concentration in equilibrium with the entering gas. These principles also apply to supports, where an operating line which anywhere touches the equilibrium curve represents a maximum ratio of liquid to gas and a maximum exit-gas concentration.

Co-current Flow

When gas and liquid flow co-currently, as in Fig. 8.8, the operating line has a negative slope $-L_2/G_2$. There is no limit on this ratio, but an infinitely tall tower would produce an exit liquid and gas in equilibrium, as at (X_2, Y_2) . Co-current flow may be used, when an exceptionally tall tower is built in two or more sections, as in Fig. 8.9, with the second section operated in countercurrent flow to save on the large-diameter gas pipe connecting the two. It may also be used if the gas to be dissolved in the liquid is a pure substance, where there is no advantage to countercurrent operation, or if a rapid, irreversible, chemical reaction with the dissolved solute occurs in the liquid, where only the equivalent of one theoretical stage is required.

Illustration 8.2 A coal gas is to be freed of its light oil by scrubbing with wash oil at atmospheric pressure and the light oil recovered by stripping the resulting solution with steam. The circumstances are as follows:



SOLUTION

At Absorber Basis: i.e. Define L_2 , L_1 , G_2 and G_3 in terms of kmol/s

$$G_1 = \frac{0.250}{273 + 26} \times 10^4 = 1.07 \times 10^4 \text{ kmol/sec}$$

$$Y_1 = 0.02 \quad Y_2 = \frac{-0.02}{1 - 0.02} = 0.020 \text{ kmol benzene/1 mol dry gas}$$

$$X_2 = 0.0175 \quad G_2 = 0.0175 (1 - 0.02) = 0.0165 \text{ kmol dry gas/sec}$$

For 50% removal of benzene,

$$Y_2 = 0.02 (0.035) = 0.0210 \text{ kmol benzene/1 mol dry gas}$$

$$X_2 = 0.0215 \quad X_1 = \frac{0.0215}{1 - 0.02} = 0.0225 \text{ kmol benzene/1 mol dry gas}$$

$$\text{Gas pressure across absorber is } P = 102 \text{ mm Hg} = 13,300 \text{ N/m}^2 \text{ (approx 17.5 psia)}$$

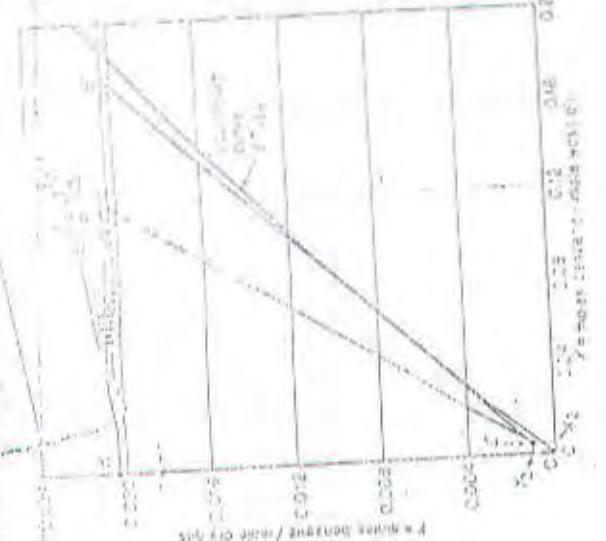


Figure 3.10 Solution to Exercise

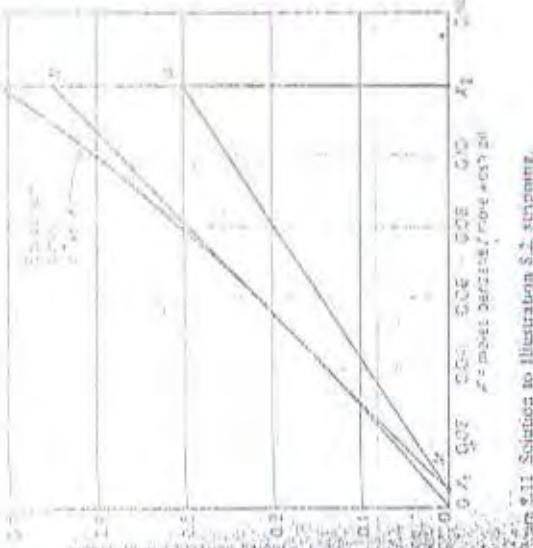
which is the equilibrium-point equation for the isotherm, plotted as the first straight line at point D in this figure. For the minimum oil rate, line E is drawn as tangent to the curve. At $Y_1 = 0.016$, maximum slope which touches the equilibrium curve (tangent to point E).

FIG. 1. $\frac{d}{dx} \left(\frac{G_1(x)}{G_2(x)} - \frac{G_1(x_0)}{G_2(x_0)} \right) = \frac{1}{x^2} \left[\frac{1}{2} + X_1 - X_2 - \frac{1}{x} \left(1.15(1.190 \times 10^{-4}) + 1.747 \times 10^{-1} \right) \text{log}(x) \right]$, where $X_1 = \frac{0.000141}{1.15(1.190 \times 10^{-4}) + 0.000141}$ and $X_2 = \frac{0.000141}{1.15(1.190 \times 10^{-4}) + 0.000141}$.

卷之三

Strength at 122°C. the vapor pressure of carbon dioxide is 101.32 mm.

the first time in the history of the country, the number of registered voters for the gubernatorial election in 1904 has exceeded the number of registered voters in 1900.



CHILDREN'S LITERATURE IN SPRING

CONTINUOUS MULTISTAGE OPERATION

tray towers and similar devices bring about stepwise contact of the liquid and gas and are therefore countercurrent multistage cascades. On each tray of a two-tray tower, for example, the gas and liquid are brought into intimate contact and separated, somewhat as in the manner of Fig. 5-14, and the tray thus constitutes a stage. Few of the tray devices described in Chap. 6 actually provide parallel flow on each tray as shown in Fig. 5-14. Nevertheless it is convenient to use the latter as an arbitrary standard for design and for measurement of the performance of actual trays regardless of their method of operation. For this reason, a "theoretical," or ideal, tray is defined as one where the average composition of the gas leaving the tray is in equilibrium with the average composition

the number of stamp duty required to bring about a government

values of the signals at the ends of the characters or symbols, can then be obtained similarly to the manner of Fig. 5.15. This is illustrated for the case in Fig. 5.16, where the noise and its components corresponding to

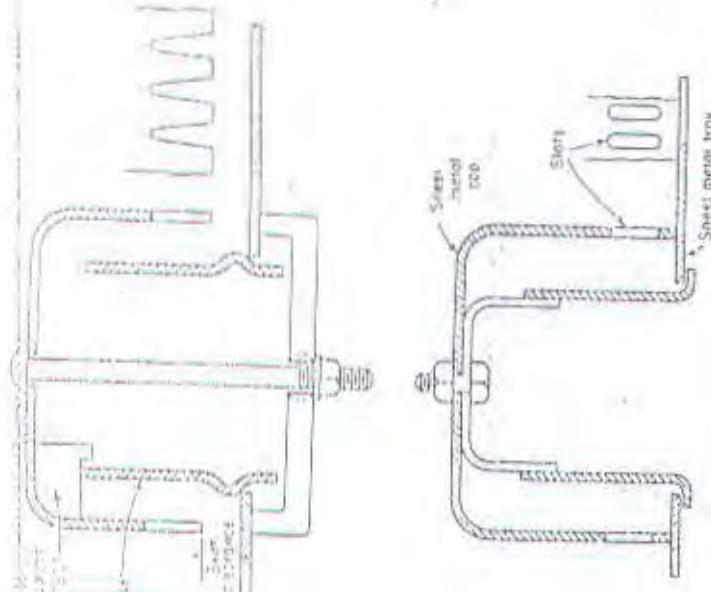


Figure 6.12 Typical bubble-cap designs. (With permission of the Pressed Steel Company.)

perforated) trays

These trays have been known almost as long as bubble trays, but they fell out of favor during the first half of this century. Their low cost, however, has made them the most important of tray devices.

A vertical section and a plan view are shown schematically in Fig. 6.14. The principal part of the tray is a horizontal sheet of perforated metal, across which liquid flows, with the gas passing upward through the perforations. The gas, dispersed by the perforations, expands the liquid into a turbulent froth, dispersed by a very large interfacial surface for mass transfer. The trays are subject to flooding because of backup of liquid in the downcomers or excessive entrainment (frothing), as described earlier.

5.5 Sieve trays

The entrance of the tower must be closer to accommodate the flow rates, the details of the key dimensions must be made of the gas-liquid flow and approach to flooding, and the appropriate excess height of entrainment must be established.

Figure 6.13 Typical bubble-cap tray arrangement.

Tower diameter. The flooding constant C_f of Eq. (6.29) has been correlated for the data available up to flooding [44, 47]. The original curves can be represented by

$$C_f = \left[a \log \frac{1}{(\varepsilon / G)^2 (\rho_0 / \rho_1)^{0.5}} + b \left(\frac{a}{0.070} \right)^{0.5} \right]^{0.5} \quad (6.30)$$

Typically, for perforations of 6 mm diameter, the best tray efficiencies result from values of ρV_{SG} in the range 0.7 to 2.2 (with V and ρ_0 in SI units; for V is ft/s and ρ_0 in lb/ft³, the range is 0.5 to 2.2) [7].

Tray thicknesses and active areas are more frequently kept constant at 12 mm (1 to 1.5 in) and a lower value of 12 mm is often used for trays being manufactured [7]. For most tray designs, a 2-mm (0.08-in.) thick perforated sheet is used, rather than screen sheet, even though thicker sheet is usually less difficult to manufacture [7].

Equation (6.30)

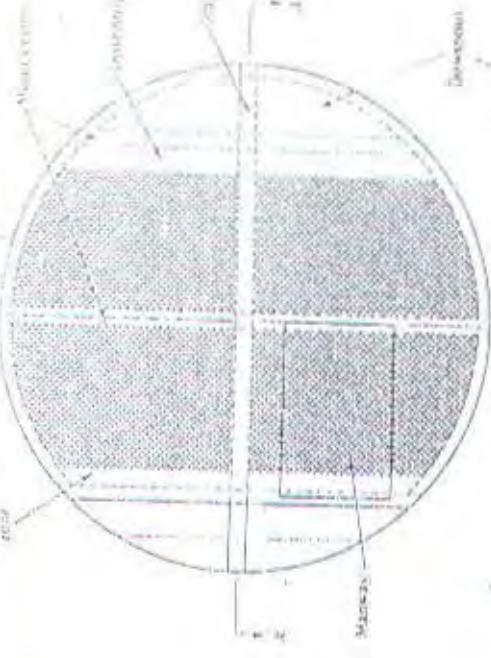


Fig. 6.13 Cross-flow sieve tray.

3. Floating-sieve C _f (Eqs. (6.29) and (6.30); d _p < 6 mm (1 in))					
Range of $\frac{A_2}{A_1}$	Range of $\frac{d_2}{d_1} \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{0.5}$	Unit	Unit	Unit	Unit of $k_{f,c}$ of n_s, μ
> 0.1	0.01-0.1 use values at 0.1				
0.1-0.5		m	N/m	a/s	$a = 0.0744s + 0.01173$ $\beta = 0.0304s + 0.015$
		in	dyn/cm × 10 ⁻³	R/s	$a = 0.0662s + 0.0385$ $\beta = 0.0253s + 0.050$
< 0.1	Same as α and β by $5A_2/A_1 + 0.5$				
4. Hole diameter and plate thickness					
Hole diameter					
mm	in	mm	in	Plate thickness/hole diameter	Carbon steel
1.0	1/16	0.65	0.026		
4.5	1/8	0.43	0.017		
6.0	1/4	0.32	0.013		
9.0	3/16	0.22	0.010		
12.0	1/2	0.16	0.008		
15.0	5/16	0.17	0.009		
18.0	3/8	0.11	0.007		
5. Liquid depth					
50 mm (2 in) minimum, 100 mm (4 in) maximum					
6. Typical active areas					
Tower diameter					
d	in	d	in	$\frac{A_2}{A_1}$	
1	1	1.25	3	0.55	
2	2	2	4	0.70	
2.5	2.5	2.5	6	0.74	
3	3	3	8	0.76	
		10	10	0.78	

Figure 6.14 Cross-flow sieve tray.

one-half the hole diameter for stainless steel, less than one diameter for carbon steel or copper alloys. Table 6.2 lists typical values.

The holes are placed in the corners of equilateral triangles at distances between centers (pitch) of from 2.5 to 5 hole diameters. For such an arrangement:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\text{hole pitch}}{\text{active area}} = 0.99 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \quad (6.30)$$

Typically, as in Fig. 6.15, the peripheral tray support is 25 to 30 mm (1 to 2 in) wide, and the baffle supports will occupy up to 15 percent of the transverse width of the tower. The distance