

**SKRIPSI**  
**PRARANCANGAN PABRIK ASAM BORAT DARI BORAKS**  
**DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES ASIDIFIKASI**  
**KAPASITAS 14.000 TON/TAHUN**



**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan**  
**Pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik**  
**Universitas Setia Budi Surakarta**

**Oleh :**

**Kriscylla Sekar Arum      20140257D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SETIA BUDI**  
**SURAKARTA**

**2019**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM BORAT DARI BORAKS DAN ASAM  
SULFAT DENGAN METODE ASIDIFIKASI KAPASITAS 14.000  
TON/TAHUN**

Disusun Oleh :

Kriscylla Sekar Arum      20140257D

Telah disetujui oleh Pembimbing

Pada tanggal...27 Agustus 2019.....

Pembimbing I

Pembimbing II



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng  
NIS.01199601032053



Ir. Sumardiyono, M.T.  
NIS. 01199403231041

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dewi Astuti Herawati S.T., M.Eng.  
NIS. 01199601032053

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM BORAT DARI BORAKS DAN  
ASAM SULFAT DENGAN METODE ASIDIFIKASI KAPASITAS  
14.000 TON/ TAHUN**

Disusun oleh :

Kriscylla Sekar Arum      20140257D

Telah dipertahankan didepan tim penguji

Pada tanggal 27 Agustus 2019

Penguji 1. Argoto Mahayana, S.T., M.T.



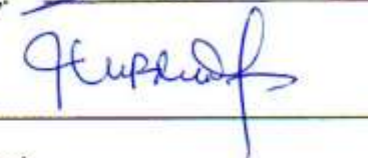
Penguji 2. Narimo, S.T, MM.



Penguji 3. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.



Penguji 4. Ir. Sumardiyono, M.T.



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi



Ir. Petrus Darmawan, S. T., M.T.

NIS. 01199905141068



Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M. Eng

NIS. 01199601032053

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

*Berusaha dan berdo'a adalah dua bekal terpenting ketika seseorang sedang dalam perjalanan menuju kesuksesan. Dan jangan pula berprasangka buruk kepada takdir ketika perjalanan itu belum sampai pada tujuan. Karena berputus asa tidaklah lebih baik dari berprasangka baik dengan terus berusaha. Teruslah berjalan meskipun langkahmu kecil-kecil asal jangan berbelok ke belakang*

*Allah SWT akan selalu memberikan jalan kepada hamba-hamba-Nya yang mau berusaha dan meminta kepada-Nya. Ketika kamu memiliki impian yang menurut orang lain tidak mungkin terwujud, jadikan itu sebagai motivasi terhebatmu. Karena kita memiliki Allah yang Maha Segala-Nya. Tidak ada yang tidak mungkin bagi-Nya ketika kita mau berusaha dan selalu meminta kepada-Nya*

*“Barang siapa yang mempermudah kesulitan orang lain, maka Allah akan mempermudah urusannya di dunia dan di akhirat.” (HR, Muslim)*

*“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Allah kamu berharap.” (QS. Al-Insyirah: 6-8)*

*Lakukan pekerjaanmu dengan ikhlas dan penuh kesungguhan dan ketekunan, maka kamu akan terasa ringan untuk terus menjalaninya. Dan bertawakal kepada-Nya atas apa yang telah kamu kerjakan.*

## **TERIMAKASIH KU UNTUK...**

### **Allah SWT**

Alhamdulillah,, puji syukurku panjatkan kepada-Mu ya Allah. Terimakasih untuk semua nikmat yang telah Engkau berikan kepada hamba-Mu. Semoga Engkau selalu memberikan kelancaran dan perlindungan dalam setiap langkah ku. Aamiin ;)

### **Mama, Papa, Mbak dan adek Tercinta**

Terimakasih untuk semua kasih sayang, perjuangan dan motivasi yang begitu besar selama ini. Aku akan selalu mengingat semua pesan dalam aku menjalankan amanah ini. Terimakasih untuk do'a yang selalu engkau panjatkan disetiap selesai sholat mu. Engkau adalah motivator terhebat dalam hidupku

### **Rohmah, Ninos, dan Bahar**

Terimakasih untuk doa yang selalu kalian panjatkan setiap selesai sholat, dan bantuan selama aku mengerjakan skripsi ini. Kalian adalah penyemangat dalam hidupku.

### **Ibu Dewi Astuti Herawati dan Bapak Sumardiyono**

Terimakasih telah membimbing dalam pengerjaan tugas akhir ini dan telah mengajarkan banyak ilmu selama diperkuliahan ini.

### **Pak Supriyono, Ibu Endah, Pak Dion, Pak Petrus, Pak Argoto, Ibu Dewi, Ibu Happy, Pak Indra, Pak Narimo, Ibu Peni, dan semua Bapak dan Ibu Dosen teknik kimia USB dan juga Pak Bowo**

Terimakasih telah mengajarkan banyak ilmu selama di kelas, terimakasih telah memberikan masukan-masukan yang positif, dan kesediaan waktu dalam membimbing.

### **Teman seperjuangan tekim USB angkatan 2014, Bagus, Hera, Arum, Tamara, Emme, Rio, Carla, Ceisar, Rian dan lin.**

Terimakasih atas dukungan teman-teman yang telah ikut membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, dan terimakasih atas pengalaman yang menyenangkan yang kalian berikan semasa perkuliahan ☺

### **Dan semua pihak yang telah membantu**

Terimakasih buat semua pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat serta kasih Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik kimia ini dengan baik.

Judul Tugas Akhir ini adalah **Prarancangan Pabrik Asam Borat dari Boraks dan Asam Sulfat dengan Proses Asidifikasi Kapasitas 14.000 Ton/Tahun**. Tugas perancangan pabrik kimia merupakan tugas akhir yang harus diselesaikan oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta sebagai prasyarat untuk menyelesaikan jenjang studi sarjana. Dengan tugas ini diharapkan kemampuan penalaran dan penerapan teori-teori yang telah diperoleh selama kuliah dapat berkembang dan dapat dipahami dengan baik.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Melalui tugas akhir ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.Ir. Djoni Tarigan,M.B.A., selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Petrus Darmawan., ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Dewi Astuti H., ST., M.Eng., selaku ketua Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi. Dan selaku Pembimbing I yang dengan kesabarannya telah membimbing kepada penulis hingga terselesainya tugas akhir ini.

4. Ir. Sumardiyono, M.T selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Narimo, M.T, MM dan Argoto Mahayana,ST.,MT., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji tugas akhir.
6. Bapak dan Ibu dosen Program Studi S1 Teknik Kimia yang telah membimbing selama kuliah.
7. Orang tua yang selalu memberikan dukungan, doa dan motivasi.
8. Serta semua yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surakarta, 27 Agustus 2019



Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
INTISARI .....	xv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1.Latar Belakang Pendirian Pabrik .....	1
1.2.Kapasitas Rancangan Pabrik .....	2
1.2.1. Kebutuhan Asam Borat di Negara Lain.....	2
1.2.2. Kebutuhan Asam Borat di Indonesia .....	7
1.2.3. Kapasitas Rancangan Pabrik Komersial .....	9
1.3.Pemilihan Lokasi Pabrik .....	9
1.4.Macam-macam Proses .....	11
1.5.Kegunaan Produk .....	14
1.6.Tinjauan Pustaka .....	15
1.6.1. Bahan Baku .....	15
1.6.2. Produk .....	16
1.7.Konsep Proses .....	18
1.7.1. Kondisi Oprasi .....	18
1.7.2. Mekanisme Reaksi .....	19
1.7.3. Tinjauan Termodinamika .....	19
1.7.4. Tinjauan Kinetika Reaksi .....	22
BAB II. SPESIFIKASI BAHAN .....	25
2.1 Spesifikasi Bahan Baku .....	25
2.1.1.Boraks .....	25
2.1.2. Asam Sulfat .....	25
2.2 Spesifikasi Produk .....	25
2.2.1 Asam Borat .....	25
2.2.2 Natrium Sulfat .....	26
BAB III. DESKRIPSI PROSES .....	27
3.1 Keterangan Proses .....	27



3.1.1. Tahap Persiapan Bahan Baku .....	27
3.1.2. Proses Asidifikasi .....	27
3.1.3. Tahap Pengkristalan .....	28
3.1.4. Tahap Penyimpanan Produk .....	28
3.2 Diagram Kualitatif .....	29
3.3 Diagram Kuantitatif .....	30
<b>BAB IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS .....</b>	<b>31</b>
4.1 Neraca Massa .....	31
4.2 Neraca Panas .....	39
<b>BAB V. SPESIFIKASI ALAT .....</b>	<b>49</b>
5.1 Silo Penyimpanan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .....	49
5.2 Tangki Penyimpanan $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....	49
5.3 Mixer.....	50
5.4 Reaktor .....	50
5.5 <i>Centrifuge-01</i> .....	52
5.6 <i>Centrifuge-02</i> .....	52
5.7 <i>Crystalizer</i> .....	52
5.8 <i>Rotary Dryer-01</i> .....	53
5.9 <i>Rotary Dryer-02</i> .....	53
5.10 <i>Cyclone -01</i> .....	54
5.11 <i>Cyclone-02</i> .....	55
5.12 <i>Belt Conveyor-01</i> .....	55
5.13 <i>Belt Conveyor-02</i> .....	56
5.14 <i>Belt Conveyor-03</i> .....	56
5.15 <i>Belt Conveyor-04</i> .....	57
5.16 Silo Penyimpanan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....	57
5.17 Silo Penyimpanan $\text{H}_3\text{BO}_3$ .....	58
5.18 <i>Bucket Elevator-01</i> .....	58
5.19 <i>Bucket Elevator-02</i> .....	59
5.20 <i>Bucket Elevator-03</i> .....	60
5.21 <i>Bucket Elevator-04</i> .....	60
5.22 <i>Hopper</i> .....	61
5.23 <i>Screw Conveyor</i> .....	61
5.24 Pompa-01 .....	62
5.25 Pompa-02 .....	62
5.26 Pompa-03 .....	63
5.27 Pompa-04 .....	63
5.28 Pompa-05 .....	64
5.29 Pompa-06 .....	65
5.30 <i>Heater-01</i> .....	65
5.31 <i>Heater-02</i> .....	66
5.32 <i>Cooler</i> .....	66
5.33 <i>Blower-01</i> .....	67
5.34 <i>Blower-02</i> .....	67
<b>BAB VI. UNIT PENDUKUNG PROSES (UTILITAS) .....</b>	<b>68</b>
6.1 Unit Pendukung Proses (Utilitas) .....	68
6.1.1. Unit Pengadaan dan Pengolahan Air.....	68

6.1.2. Unit Sanitasi .....	72
6.1.3. Unit Pengadaan Steam .....	73
6.2 Unit Pengadaan Listrik .....	74
6.3 Unit Pengadaan Bahan Bakar .....	77
6.4 Unit Penyediaan Udara Tekan .....	78
6.5 Unit Pengolahan Limbah .....	78
6.6 Laboratorium .....	78
6.7 Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....	80
6.8 Alat-alat Utilitas .....	81
6.8.1. Bak Penampung Sementara .....	81
6.8.2. <i>Kation Exchanger</i> .....	81
6.8.3. <i>Anion Exchanger</i> .....	82
6.8.4. Tangki Demineralisasi .....	82
6.8.5. Deaerator .....	82
6.8.6. Boiler .....	82
6.8.7. Tangki Penyimpanan $N_2H_2$ .....	82
6.8.8. Tangki Karbon Aktif .....	83
6.8.9. Tangki Kaporit .....	83
6.8.10. Tangki Air Sanitasi .....	83
6.8.11. Tangki Larutan HCl .....	84
6.8.12. Tangki Larutan NaOH .....	84
6.8.13. Tangki Air Pendingin .....	84
6.8.14. Tangki Air Pendingin 2 .....	84
6.8.15. Cooling Tower .....	85
6.8.16. Pompa Utilitas-01 .....	85
6.8.17. Pompa Utilitas-02 .....	85
6.8.18. Pompa Utilitas-03 .....	86
6.8.19. Pompa Utilitas-04 .....	86
6.8.20. Pompa Utilitas-05 .....	86
6.8.21. Pompa Utilitas-06 .....	86
6.8.22. Pompa Utilitas-07 .....	87
6.8.23. Pompa Utilitas-08 .....	87
6.8.24. Pompa Utilitas-09 .....	87
6.8.25. Pompa Utilitas-10 .....	88
6.8.26. Pompa Utilitas-11 .....	88
6.8.27. Pompa Utilitas-12 .....	88
6.8.28. Pompa Utilitas-13 .....	88
<b>BAB VII. ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK .....</b>	<b>91</b>
7.1 Bentuk Perusahaan .....	91
7.2 Struktur Organisasi .....	92
7.2.1. Pemegang Saham .....	92
7.2.2. Dewan Komisaris .....	93
7.2.3. Direktur .....	93
7.2.4. Staf Ahli dan Litbang .....	93
7.2.5. Kepala Bagian .....	94
7.2.6. Karyawan .....	94
7.3 Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji .....	95

7.3.1. Sistem Kepegawaian .....	95
7.3.2. Sistem Gaji .....	96
7.3.3. Pembagian Jam Kerja Karyawan .....	102
7.4 Kesejahteraan Karyawan .....	103
7.5 Manajemen Produksi .....	106
7.5.1. Perencanaan Produksi .....	106
7.5.2. Pengendalian Proses .....	107
7.6 Tata Letak ( <i>Lay Out</i> ) Pabrik .....	108
7.7 Tata Letak Peralatan .....	112
<b>BAB VIII. EVALUASI EKONOMI</b> .....	<b>115</b>
8.1 Perhitungan Biaya .....	117
8.2 <i>Total Fixed Capital Investment</i> .....	120
8.3 <i>Working Capital</i> .....	120
8.4 <i>Manufacturing Cost</i> .....	121
8.5 <i>General Expenses</i> .....	122
8.6 Analisis Ekonomi .....	122
8.6.1. <i>Return On Investment (ROI)</i> .....	122
8.6.2. <i>Pay Out Time (POT)</i> .....	123
8.6.3. <i>Break Even Point (BEP)</i> .....	123
8.6.4. <i>Shut Down Point (SDP)</i> .....	124
8.6.5. <i>Discounted Cash Flow (DCF)</i> .....	125
<b>BAB IX. KESIMPULAN</b> .....	<b>126</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>127</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>129</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Data Impor asam borat Philippines .....	2
<b>Tabel 2.</b> Data Impor Asam Borat Myanmar .....	3
<b>Tabel 3.</b> Data Impor Asam Borat Singapore .....	4
<b>Tabel 4.</b> Data Impor Asam Borat Thiland .....	4
<b>Tabel 5.</b> Data Impor Asam Borat Vietnam .....	5
<b>Tabel 6.</b> Data Impor asam borat Australia .....	6
<b>Tabel 7.</b> Data Impor Asam Borat di Indonesia .....	7
<b>Tabel 8.</b> Kebutuhan asam borat berbagai Negara .....	8
<b>Tabel 9.</b> Kapasitas produksi pabrik komersial .....	9
<b>Table 10.</b> Tinjauan Pemilihan Proses Pembuatan Asam Borat .....	13
<b>Tabel 11.</b> Harga $\Delta G^{\circ}_f$ dan $\Delta H^{\circ}_f$ masing-masing Komponen .....	19
<b>Tabel 12.</b> Neraca Massa disekitar M-110 .....	32
<b>Tabel 13.</b> Neraca massa disekitar R-210 .....	33
<b>Tabel 14.</b> Neraca massa sektar H-310 .....	34
<b>Tabel 15.</b> Neraca Massa sekitar H-320 .....	35
<b>Tabel 16.</b> Neraca Massa sekitar H-323 .....	35
<b>Tabel 17.</b> Neraca Massa sekitar J-331 .....	36
<b>Tabel 18.</b> Neraca Massa sekitar H-410 .....	36
<b>Tabel 19.</b> Neraca Massa sekitar H-420 .....	37
<b>Tabel 20.</b> Neraca Massa sekitar H-340 .....	37
<b>Tabel 21.</b> Neraca Massa sekitar H-433 .....	38
<b>Tabel 22.</b> Neraca Massa sekitar J-441. ....	38
<b>Tabel 23.</b> Konstanta Kapasitas Panas .....	40
<b>Tabel 24.</b> Data Kapasitas Panas Masing Masing Komponen .....	41
<b>Tabel 25.</b> Neraca Panas disekitar M-110 .....	42
<b>Tabel 26.</b> Neraca panas disekitar E-216 .....	43

<b>Tabel 27.</b> Neraca panas disekitar R-210 .....	44
<b>Tabel 28.</b> Neraca panas sekitar H-320 .....	45
<b>Tabel 30.</b> Neraca panas sekitar J-331 .....	45
<b>Tabel 31.</b> Neraca panas sekitar E-412 .....	46
<b>Tabel 32.</b> Neraca panas sekitar H-410 .....	47
<b>Tabel 33.</b> Neraca panas sekitar H-340 .....	48
<b>Tabel 35.</b> Neraca panas sekitar J-441 .....	48
<b>Tabel 36.</b> Kebutuhan air proses .....	69
<b>Tabel 37.</b> Kebutuhan air pendingin .....	70
<b>Tabel 38.</b> Kebutuhan air sanitasi .....	71
<b>Tabel 39.</b> Kebutuhan air untuk <i>steam</i> .....	72
<b>Tabel 40.</b> Kebutuhan air make up .....	72
<b>Tabel 41.</b> Konsumsi listrik untuk keperluan proses .....	75
<b>Tabel 42.</b> Konsumsi listrik untuk keperluan utilitas .....	76
<b>Tabel 43.</b> Daftar gaji karyawan .....	97
<b>Tabel 44.</b> Pembagian <i>shift</i> karyawan .....	103
<b>Tabel 45.</b> Luas bangunan pabrik .....	110
<b>Tabel 46.</b> <i>Cost index chemical plant</i> .....	116
<b>Tabel 47.</b> <i>Total fixed capital investment</i> .....	120
<b>Tabel 48.</b> <i>Working capital</i> .....	120
<b>Tabel 49.</b> <i>Manufacturing cost</i> .....	121
<b>Tabel 50.</b> <i>General expenses</i> .....	122
<b>Tabel 51.</b> <i>Fixed cost</i> .....	123
<b>Tabel 52.</b> <i>Variable cost</i> .....	123
<b>Tabel 53.</b> <i>Regulated cost</i> .....	124
<b>Tabel 54.</b> Analisis kelayakan ekonomi .....	126

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Grafik Data Impor Asam Borat Philippines .....	2
<b>Gambar 2.</b> Grafik Data Impor Asam Borat Myanmar .....	3
<b>Gambar 3.</b> Grafik Data Impor Asam Borat Singapore .....	4
<b>Gambar 4.</b> Grafik Data Impor Asam Borat Thailand .....	5
<b>Gambar 5.</b> Grafik Data Impor Asam Borat Vietnam .....	6
<b>Gambar 6.</b> Grafik Data Impor Asam Borat Australia .....	7
<b>Gambar 7.</b> Grafik Data Impor Asam Borat di Indonesia .....	8
<b>Gambar 8.</b> Peta Lahan Pendirian Pabrik Asam Borat .....	11
<b>Gambar 9.</b> Diagram Alir Kualitatif .....	29
<b>Gambar 10.</b> Diagram Alir Kuantitatif. ....	30
<b>Gambar 11.</b> Pengolahan Air dan Utilitas .....	90
<b>Gambar 12.</b> Struktur Organisasi Industri.....	105
<b>Gambar 13.</b> Tata letak pabrik .....	111
<b>Gambar 14.</b> Tata Letak Peralatan Pabrik .....	114
<b>Gambar 15 .</b> Grafik hubungan tahun dengan <i>cost index</i> .....	117
<b>Gambar 16.</b> Grafik BEP dan SDP .....	124

## INTISARI

Prarancangan pabrik Asam borat dari boraks dan asam sulfat memberikan prospek yang sangat cerah dalam dunia perindustrian mengingat belum adanya pabrik yang memproduksi di Indonesia. Pabrik tersebut direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun diatas area sebesar 12.740 m<sup>2</sup> yang akan didirikan pada tahun 2023, lokasi pabrik berada di Gresik, Jawa Timur yang berdekatan dengan PT. Petrokimia Gresik sebagai penyedia bahan baku asam sulfat dan dekat dengan pelabuhan, sehingga memudahkan dalam proses import bahan baku boraks. Pabrik ini beroperasi dengan kapasitas 14.000 ton/tahun, dengan pertimbangan dapat membantu memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Proses pembuatan Asam borat berlangsung pada fase cair-cair dengan menggunakan reaktor *semi-batch* dengan kondisi tekanan 1 atm, suhu 100 °C. Reaksi berlangsung secara *eksotermis*, *irreversible*, dan *non adiabatic*. Kebutuhan Boraks sebesar 2.852,3848 kg/jam dan Asam sulfat sebesar 708,6291 kg/jam. Produk berupa Asam borat sebesar 1.750,1750 kg/jam dan produk samping Natrium sulfat sebesar 1.005,8184 kg/jam. Untuk menunjang proses produksi, maka didirikan unit pendukung yaitu unit penyediaan air start up sebesar 6250,3533 kg/jam dan make up sebesar 2029,0 kg/jam. Kebutuhan listrik diperoleh dari PLN dan *generator set* sebesar 500 kW sebagai cadangan, bahan bakar solar total sebanyak 0,0622 m<sup>3</sup>/jam dan udara tekan sebesar 50 m<sup>3</sup>/jam.

Peroses pembuatan asam borat memiliki beberapa tahap proses. Tahap pertama adalah persiapan bahan baku boraks dan asam sulfat. Boraks dilarutkan menggunakan air dengan perbandingan mol 1 : 5. Tahap kedua adalah proses asidifikasi, yaitu mereaksikan antara larutan boraks dan asam sulfat dengan perbandingan mol 1 : 0,975. Tahap ketiga adalah proses pemisahan antara produk utama berupa asam borat dan produk samping berupa natrium sulfat. Tahap keempat adalah proses pengeringan produk utama dan produk samping untuk mengurangi kadar air. Tahap terakhir adalah proses penyimpanan produk utama dan produk samping.

Dari analisa ekonomi yang dilakukan terhadap pabrik ini dengan modal tetap (FCI) Rp. 234.465.310.175,82 dan modal kerja Rp. 68.977.067.470,39. Keuntungan sebelum pajak Rp. 57.193.490.500,65 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30% keuntungan mencapai Rp. 40.035.443.350,46 pertahun. *Return On Investment (ROI)* sebelum pajak 24,3932 % dan setelah pajak 17,0752 %, *Pay Out Time (POT)* sebelum pajak adalah 2,9076 tahun dan setelah pajak 3,6934 tahun. *Break Even Point (BEP)* sebesar 46,9570 %, *Shut Down Point (SDP)* sebesar 23,350 % dan *Discounted Cash Flow (DCF)* sebesar 724,7424%. Dari data analisis kelayakan diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak didirikan

Kata kunci : Asam Borat, Proses Asidifikasi, *Semi-batch Reactor*

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.8. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kemajuan zaman, pembangunan di segala bidang haruslah diperhatikan. Pembangunan ekonomi serta pengembangan industri yang baik akan senantiasa meningkatkan taraf hidup bangsa. Pembangunan industri saat ini sedang giat berkembang, termasuk diantaranya adalah industri kimi, baik industri kimia yang menghasilkan produk jadi (produk siap pakai) maupun produk antara (*intermediet*) untuk diolah lebih lanjut. Pembangunan dan pengembangan industri kimia dalam negeri dinilai sangat penting untuk mencakupi kebutuhan akan bahan kimia dalam negeri yang selama ini masih belum terpenuhi sehingga untuk memenuhi kebutuhan bahan kimia dalam negeri harus mengimpor dari luar negeri yang dapat merugikan Negara dalam hal pengeluaran devisa.

Salah satu produk antara (*intermediet*) yang perlu dipertimbangkan adalah asam borat ( $H_3BO_3$ ). Asam borat merupakan kristal bening tidak berwarna dan tidak berbau. Bahan kimia ini mempunyai sifat-sifat antara lain mudah larut dalam air dan tidak mudah larut dalam eter serta mempunyai titik lebur pada temperature  $170,9\text{ }^\circ\text{C}$ . Pada prarancangan pabrik kimia  $H_3BO_3$  sebelumnya yang dilakukan oleh Rois dan Ahmad (2008) dengan bahan baku  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  dan  $H_2SO_4$  mempunyai kapasitas 21.500 ton/tahun. Pada prarancangan pabrik  $H_3BO_3$  oleh Asna dan Indah (2013) mempunyai kapasitas rancangan 33.000 ton/tahun. Pada prarancangan pabrik kimia  $H_3BO_3$  oleh Trenggono dan Hanurizal (2017) mempunyai kapasitas prarancangan sebanyak 42.000 ton/tahun. Kebutuhan  $H_3BO_3$  yang ada di Indonesia semakin bertambah dan pemenuhan kebutuhan asam borat nasional hingga saat ini masih mengimpor karena di Indonesia belum ada industri kimia yang memproduksi asam borat. Sehingga dapat dipastikan semakin lama kebutuhan  $H_3BO_3$  akan semakin tinggi.



Salah satu bahan baku dalam pembuatan  $H_3BO_3$  adalah boraks ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) dan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Asam borat merupakan bahan kimia *intermediet* yang dapat diolah lebih lanjut seperti untuk industri makanan, farmasi, kimia, gelas, maupun elektronik.

Kebutuhan  $H_3BO_3$  di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan industri yang menggunakannya, karena pendirian pabrik ini dipandang perlu untuk memenuhi kebutuhan  $H_3BO_3$  di dalam negeri dan diharapkan juga dapat membuka lapangan pekerjaan baru dalam bidang industri kimia di Indonesia.

### 1.9. Kapasitas Rancangan Pabrik

Dalam penentuan kapasitas perancangan pabrik asam borat ( $H_3BO_3$ ) ini didasarkan pada beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu :

#### 1.9.1. Kebutuhan Asam Borat di Negara Lain

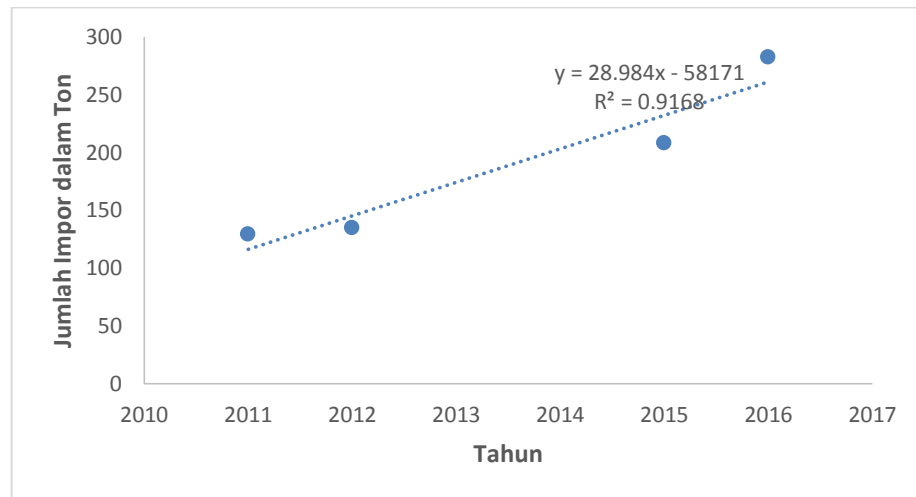
##### a. Philippines

Kebutuhan akan asam borat di Negara Philippines ditunjukkan pada tabel berikut :

**Table 1.** Data Impor asam borat Philippines

Tahun	Jumlah (Ton)
2011	129,155
2012	135,006
2015	208,182
2016	282,342

(Sumber: data.un, 2018)



**Gambar 1.** Grafik Data Impor Asam Borat Philippines

Dari persamaan regresi linier yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan asam borat Negara Philippines pada tahun 2023 berdasarkan persamaan  $y=28,984*x-58171$  adalah berkisar 500 ton.

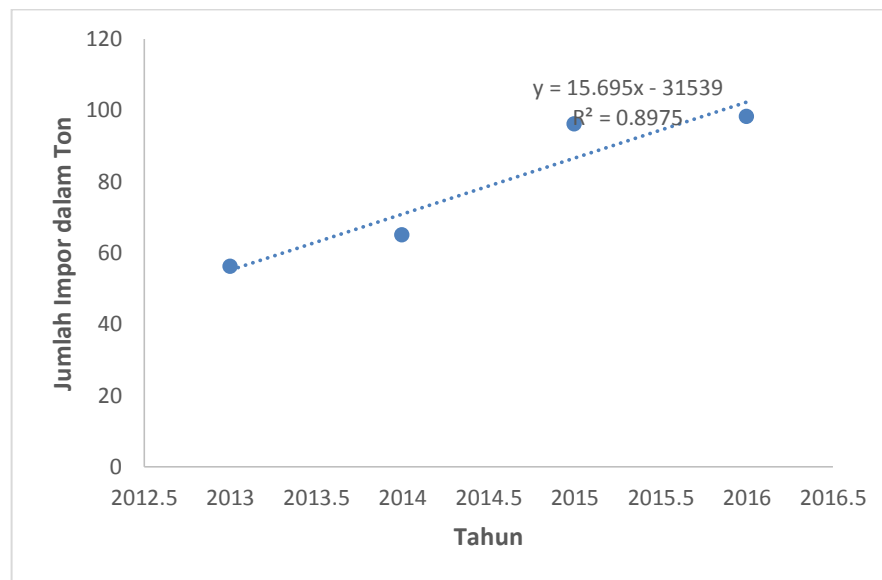
b. Myanmar

Kebutuhan akan Asam Borat di Negara Myanmar ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 2.** Data Impor Asam Borat Myanmar

Tahun	Jumlah (Ton)
2013	56,137
2014	65
2015	95,962
2016	98,133

(Sumber: data.un, 2018)



**Gambar 2.** Grafik Data Impor Asam Borat Myanmar

Data persamaan regresi linier yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan Asam Borat Negara Myanmar pada tahun 2023 berdasar persamaan  $y=15,695*x-31539$  adalah berkisar 200 ton.

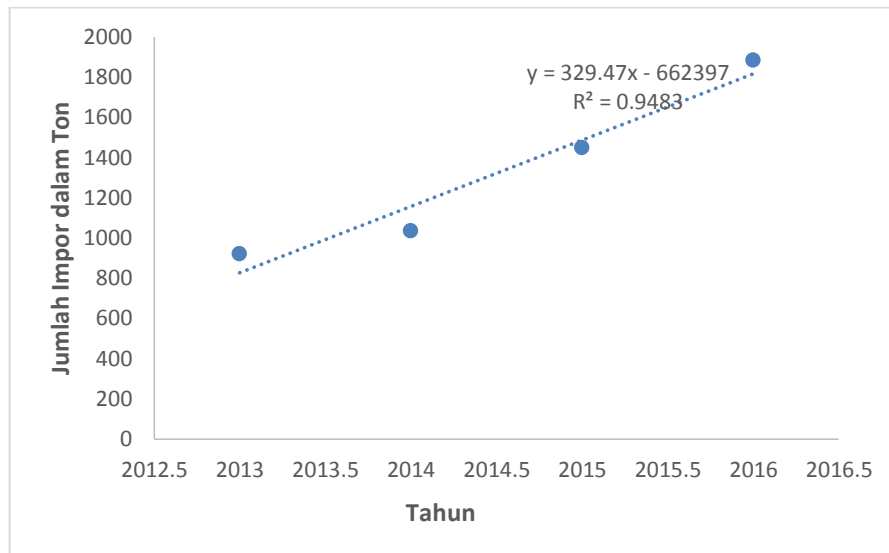
c. Singapore

Kebutuhan akan Asam Borat di Negara Singapore ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 3.** Data Impor Asam Borat Singapore

Tahun	Jumlah (Ton)
2013	920,306
2014	1034,265
2015	1445,982
2016	1881,3

(Sumber: data.un, 2018)



**Gambar 3.** Grafik Data Impor Asam Borat Singapore

Dari persamaan regresi linier yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan Asam Borat Negara Singapore pada tahun 2023 berdasar persamaan  $y=329,47*x-662397$  adalah berkisar 4.000 ton.

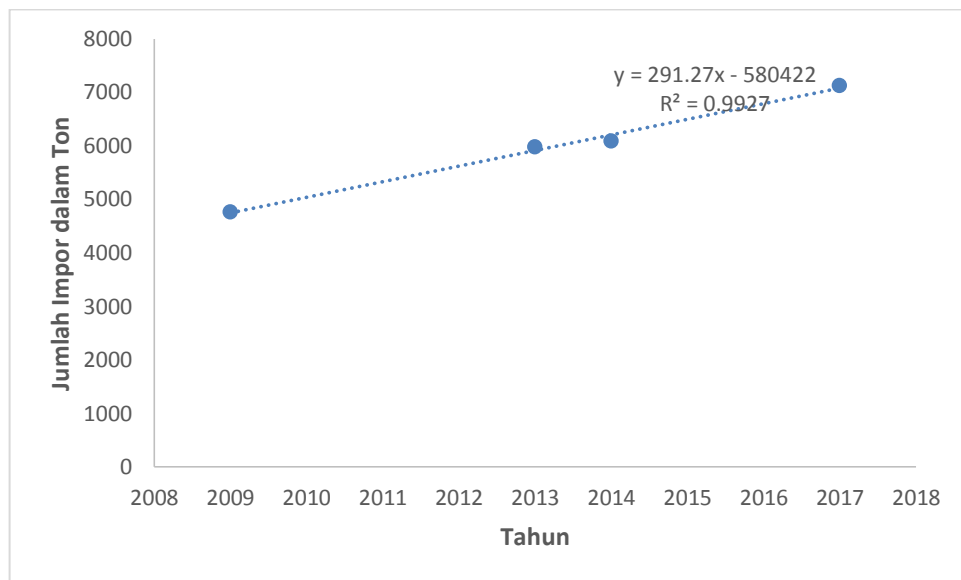
d. Thailand

Kebutuhan akan Asam Borat di Negara Thailand ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 4.** Data Impor Asam Borat Thiland

Tahun	Jumlah (Ton)
2009	4759,956
2013	5968,405
2014	6079,574
2017	7120,373

(Sumber: data.un, 2018)



**Gambar 4.** Grafik Data Impor Asam Borat Thailand

Dari persamaan regresi linier yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan Asam Borat Negara Thailand pada tahun 2023 berdasar persamaan  $y=291,27*x-580422$  adalah berkisar 9.000 ton.

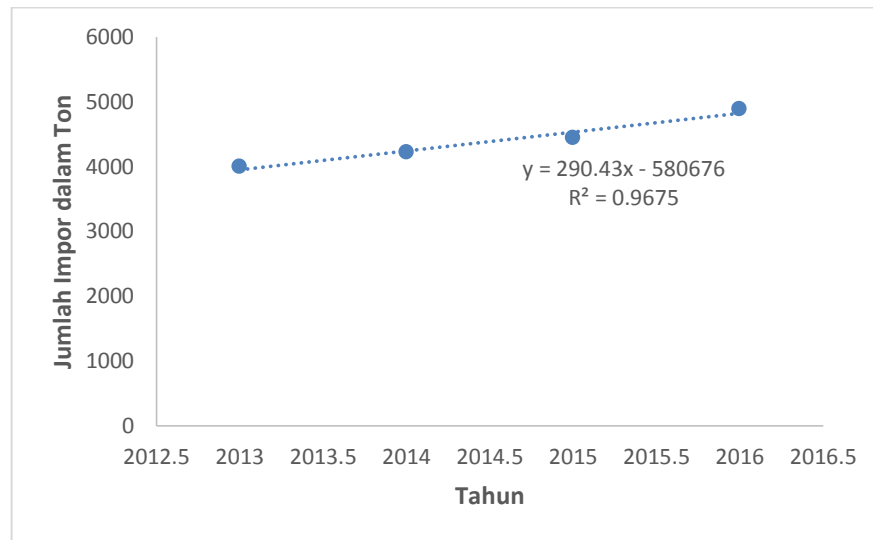
e. Vietnam

Kebutuhan akan Asam Borat di Negara Vietnam ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 5.** Data Impor Asam Borat Vietnam

Tahun	Jumlah (Ton)
2013	3994,315
2014	4217,957
2015	4444,869
2016	4886,763

(Sumber: data.un, 2018)



**Gambar 5.** Grafik Data Impor Asam Borat Vietnam

Dari persamaan regresi linier yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan Asam Borat Negara Vietnam pada tahun 2023 berdasar persamaan  $y = 290,43 * x - 580676$  adalah berkisar 6.800 ton.

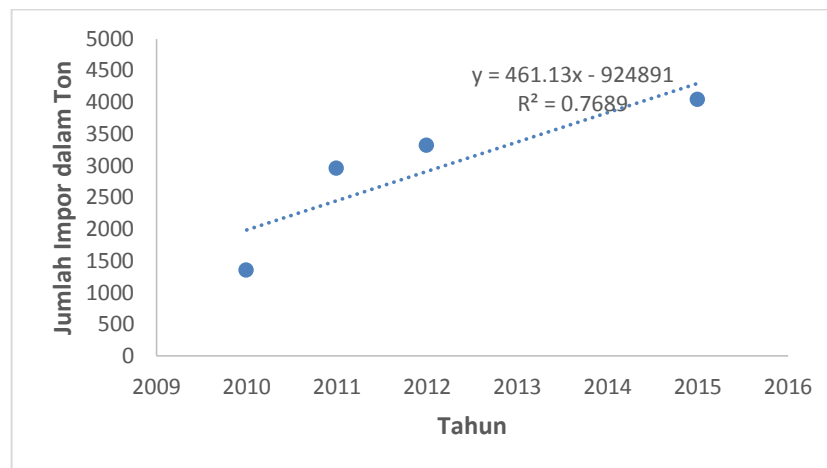
f. Australia

Kebutuhan akan asam borat di Negara Australia ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 6.** Data Impor asam borat Australia

Tahun	Jumlah (Ton)
2010	1346,82
2011	2951,587
2012	3314,797
2015	4033,703

(Sumber: data.un, 2018)



**Gambar 6.** Grafik Data Impor Asam Borat Australia

Dari persamaan regresi linier yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan asam borat Negara Australia pada tahun 2023 berdasar persamaan  $y=461,13*x-991$  adalah berkisar 8.000 ton.

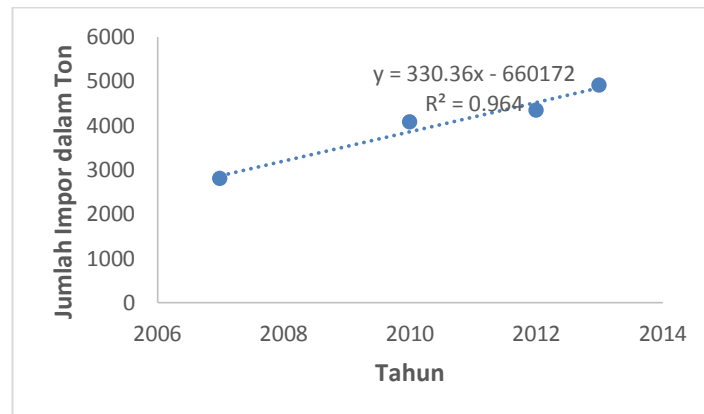
#### 1.9.2. Kebutuhan Asam Borat di Indonesia

Kebutuhan  $H_3BO_3$  di Indonesia selama beberapa tahun belakangan semakin meningkat dimulai pada tahun 2007, dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut, Indonesia masih mengimpor seluruhnya dari luar negeri. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik mengenai impor  $H_3BO_3$  di Indonesia pada tahun 2007-2013 ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Data Impor Asam Borat di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2007	2795,3
2010	4069,174
2012	4336,127
2013	4900,638

(Sumber : data.un, 2018)



**Gambar 7.** Grafik Data Impor Asam Borat di Indonesia

Dari data statistic impor dapat dibuat grafik yang menunjukkan bahwa kebutuhan asam borat di Indonesia cenderung semakin meningkat setiap tahunnya, pengoprasain pabrik asam borat diproyeksikan akan dimulai pada tahun 2023. Dari gambar 7, diperoleh suatu persamaan regresi linier untuk mengetahui kebutuhan akan konsumsi asam borat pada tahun 2023 yaitu sebagai berikut :

$$y = 330,36 * x - 660172$$

$$y = (330,36 * 2023) - 660172$$

$$y = 8146,28 \text{ ton}$$

dimana :

y = Data impor asam borat (Ton)

x = Tahun kebutuhan asam borat

Dari perhitungan terhadap persamaan yang didapat dari grafik, maka dapat disimpulkan bahwa perkiraan kebutuhan akan asam borat pada tahun 2023 adalah 8.200 ton.

Dari perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa kebutuhan akan asam borat pada tahun 2023 di berbagai Negara adalah sebagai berikut :

**Tabel 8.** Kebutuhan asam borat berbagai Negara

Negara	Jumlah Kebutuhan (Ton)
<b>Indonesia</b>	8.200
<b>Philippines</b>	500
<b>Myanmar</b>	200





<b>Singapore</b>	4.000
<b>Thailand</b>	9.000
<b>Vietnam</b>	6.800
<b>Australia</b>	8.000

Kebutuhan total untuk asam borat di beberapa Negara di Asia adalah sekitar 36.700 ton pada tahun 2023.

### 1.9.3. Kapasitas Rancangan Pabrik Komersial

Untuk memproduksi asam borat harus diperhitungkan juga kapasitas produksi komersial yang masih ada hingga sekarang, sehingga besar kemungkinan prarancangan pabrik yang akan didirikan akan memberikan keuntungan. Kapasitas produksi secara komersial yang telah ada terlihat pada tabel 9.

**Tabel 9.** Kapasitas produksi pabrik komersial

<b>Pabrik</b>	<b>Kapasitas (Ton/Thn)</b>
<b>Nippon Denko, Japan</b>	4.000
<b>JSC Inkobor, Peru</b>	25.000
<b>US Borax, USA</b>	255.000 - 260.000

(Sumber : Erdogdu, 2004)

Dengan beberapa pertimbangan diatas, maka akan didirikan pabrik asam borat dengan proses sintesis dengan kapasitas 14.000 ton/tahun, dan diharapkan :

1. Dapat memenuhi 70% kebutuhan asam borat dalam Negeri pada tahun 2023.
2. Dapat memenuhi 30% kebutuhan akan asam borat Negara Australia pada tahun 2023.
3. Dapat memenuhi 30% kebutuhan asam borat Negara Philippines pada tahun 2023.
4. Dapat memenuhi 30% kebutuhan asam borat Negara Thailand pada tahun yang sama.
5. Dapat memberikan keuntungan karena kapasitas rancangan berada diatas kapasitas produksi minimal di dunia.
6. Meningkatkan devisa Negara karena mencakup pasar ekspor.

7. Membuka peluang bagi industry lain di Indonesia untuk berdiri dan meningkatkan kapasitas produksi bagi pabrik bahan baku  $H_3BO_3$ .
8. Dapat mengurangi jumlah pengangguran yang ada di Indonesia.

#### **1.10. Pamilihan Lokasi Pabrik**

Letak geografis suatu pabrik sangatlah berpengaruh terhadap keberhasilan suatu perusahaan tersebut. Beberapa faktor dapat menjadi acuan dalam menentukan lokasi pendirian suatu pabrik, diantaranya adalah penyediaan bahan baku, pemasaran produk, transportasi dan tenaga kerja dan masih banyak faktor yang harus dipertimbangkan. Dengan mempertimbangkan beberapa faktor tersebut maka, lokasi pabrik asam borat yang akan beroperasi pada tahun 2023 dipilih di kawasan industri Gresik, Jawa Timur dengan pertimbangan.

##### **a. Penyediaan Bahan Baku**

Bahan baku yang digunakan adalah boraks yang diperoleh dari Zhengzhou P&B Chemical Ltd., sedangkan bahan baku asam sulfat berasal dari PT Petrokimia, Gresik yang berlokasi di Gresik.

##### **b. Letak Pabrik terhadap Pemasaran**

Pemilihan lokasi pabrik di Gresik dinilai tepat karena merupakan kawasan industri yang berarti mempersingkat jarak antara pabrik yang memproduksi dengan pabrik yang membutuhkan asam borat.

##### **c. Transportasi**

Kawasan industri Gresik memiliki lokasi yang dekat dengan pelabuhan manyar, selain itu juga infrastruktur jalan raya yang memadai untuk kawasan industri sehingga mempermudah system pengiriman bahan baku maupun produk yang dapat menunjang kemajuan suatu industri.

##### **d. Tenaga Kerja**

Ketersedian tenaga kerja yang terampil merupakan salah satu faktor penting guna menunjang kemajuan suatu pabrik. Kawasan industri Gresik terletak didaerah Jawa Timur yang syarat dengan lembaga pendidikan formal dimana banyak terdapat perguruan tinggi, akademi, dan sekolah



keterampilan yang dapat mencukupi kebutuhan tenaga kerja yang terampil dan terdidik, sehingga memperlancar jalannya proses industri.

## e. Utilitas

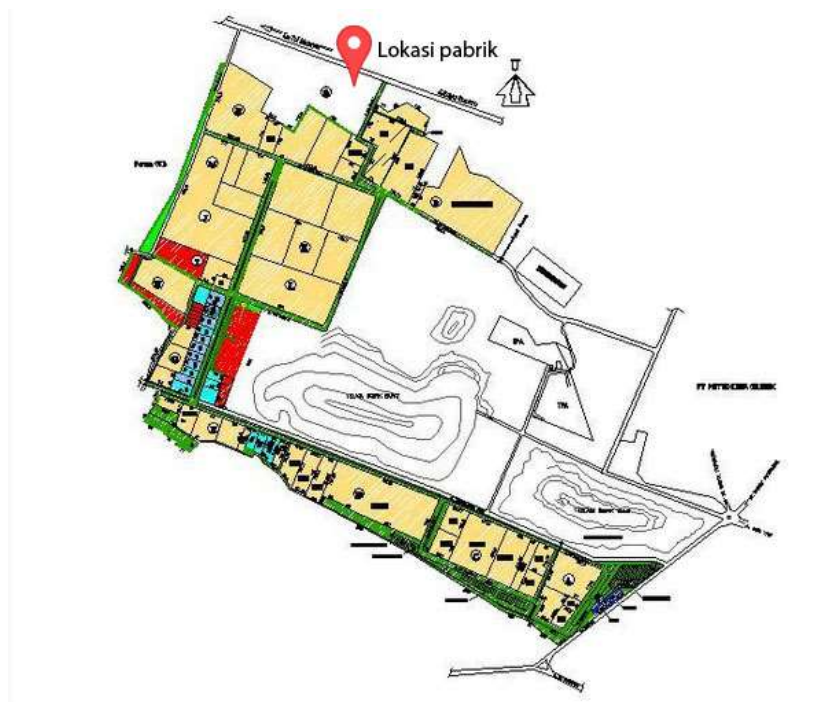
Sarana-sarana pendukung seperti ketersediaan air, listrik dan sarana lainnya harus diberikan perhatian agar proses dapat berjalan dengan baik. Pemenuhan kebutuhan listrik dapat dibebankan pada PLN atau PLTU yang jalurnya tersedia di wilayah ini, dan untuk *back up* listrik akan disediakan generator tambahan, sedangkan untuk penyedia air proses, air pendingin dan air umpan *boiler* diambil dari perusahaan daerah air minum (PDAM).

## f. Peraturan Daerah

Mengacu pada otonomi daerah, kebijakan pemerintah daerah sangat mendukung bagi pendirian pabrik yang nantinya akan menambah pendapatan daerah.

## g. Keadaan Masyarakat

Masyarakat yang membutuhkan pekerjaan akan mendukung pendirian pabrik. Karena dengan didirikannya pabrik, maka akan terbuka lapangan pekerjaan baru yang memberikan kesempatan pada masyarakat di sekitar pabrik.



### Gambar 8. Peta Lahan Pendirian Pabrik Asam Borat

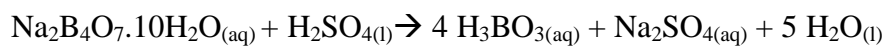
#### 1.11. Macam-macam Proses

Dalam pembuatan Asam Borat ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) dikenal dua macam proses yaitu :

##### a. Proses Asidifikasi

Bahan baku pembuatan asam borat berasal dari mereaksikan granular boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) dengan menambahkan larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) di dalam reaktor dengan perbandingan 1 bagian granular boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) dengan 0,975 bagian asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan perbandingan 5 bagian air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dengan 1 bagian granular boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

Reaksi :



Proses pembuatan asam borat sebagai berikut :

Yang pertama bahan baku berupa boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) masuk ke dalam mixer dengan perbandingan mol 1 : 5. Setelah masuk dari mixer larutan dialirkan ke dalam reaktor dengan menambahkan 0,975 mol asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) tiap mol boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Temperature yang digunakan yaitu 100 °C dengan tekanan 1 atm dan selama 60 menit.

(US Patent No. 4,156,654)

Lalu larutan yang ada pada di reaktor dialirkan ke dalam *centrifuge* 1 dan dicuci dengan *wash water* untuk memisahkan endapan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang terpisah akan dialirkan kembali ke dalam *dryer* untuk dikeringkan dan mengurangi kadar air yang ada pada  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Kemudian kristal  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang terbentuk akan disimpan kedalam silo sebagai produk samping. Sedangkan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  yang terpisah dalam *centrifuge* 1 akan dialirkan kedalam *criztallizer* untuk membentuk kristal  $\text{H}_3\text{BO}_3$  pada suhu 40 °C. Lalu kristal  $\text{H}_3\text{BO}_3$  dan larutan yang tersisa (*mother liquor*) dialirkan dan akan dipisahkan didalam *centrifuge* 2 dan dicuci dengan *wash water*. Kristal  $\text{H}_3\text{BO}_3$  yang terpisah akan dialirkan kembali ke dalam *dryer* untuk

dikeringkan dan untuk mengurangi kadar air yang ada pada kristal  $H_3BO_3$ . Kemudian kristal  $H_3BO_3$  yang terbentuk akan disimpan didalam silo sebahai produk utama.

(US Patent No. 2,545,746)

b. Proses Ekstraksi Cair-cair

Pada proses ekstraksi cair-cair dalam industri asam borat dari *brine* natrium borat telah dioperasikan di Searles Lake, Trona, California, oleh North American Chemical Co. pada tahun 1962 (Kirk-Orthmer, 1997).

Proses ini bahan baku yang digunakan yaitu berupa *brine* (air garam) yang mengandung borat. Borat yang ada didalam *brine* akan diekstraksi dengan larutan korosen dari *agent chelating*, yaitu 2 etil-1,3 heksanediol. Borat yang terkandung fase organic akan dikirim ke *stripper*. Di dalam *stripper*, larutan asam sulfat dimasukkan untuk menghasilkan borat dari *chelate*. Hasil atas pada *stripper* yang mengandung kerosene dan *agent chelating*, akan dikembalikan kembali ke dalam ekstraktor untuk di *recycle* kembali. Sedangkan hasil bawah yang berupa asam borat ( $H_3BO_3$ ) dan senyawa sulfat. Senyawa sulfat yang terlarut dalam asam borat akan dilarutkan dengan pengolahan yang menggunakan karbon aktif, lalu asam borat ( $H_3BO_3$ ) akan dikristalisasi dalam bentuk larutan ke dalam evaporator dan akan dialirkan ke kristalizer untuk menghasilkan produk kristal asam borat ( $H_3BO_3$ ).

(U.S. EPA, 1980)

Proses yang dipilih dalam pembuatan asam borat pada pabrik ini adalah proses sintesis antara boraks dan asam sulfat. Pemilihan proses ini didasarkan pada alasan berikut :

**Table 10.** Tinjauan Pemilihan Proses Pembuatan Asam Borat

No.		Proses Asidifikasi	Proses Ekstraksi Cair – Cair
1.	Pemurnian bahan baku	Tidak memerlukan pemurnian bahan baku	Memerlukan pemurnian bahan baku <i>brine</i>
2.	Penggunaan bahan	Tidak memerlukan bahan	Memerlukan bahn

	pembantu	pembantu	pembantu berupa korosen dan karbon aktif
3.	Langkah proses	Dalam satu langkah proses, yaitu dengan mereaksikan boraks dengan asam sulfat akan didapatkan asam borat	Diperlukan dua langkah proses untuk mendapatkan asam borat, yaitu melalui proses ekstraksi yang dilanjutkan dengan proses <i>stripping</i>

Dari Tabel 10 dapat disimpulkan bahwa proses asidifikasi lebih baik dari proses ekstraksi cair-cair.

### 1.12. Kegunaan Produk

Asam borat merupakan bahan *intermediet* yang sebagian dikonsumsi sebagai bahan baku untuk industri kaca, industri keramik, industri kimia, industri elektronik, industri obat dan farmasi, fotografi, sebagai bahan pengawet makanan dan sebagainya. Adapun kegunaan  $H_3BO_3$  dalam industri antara lain.

#### a. Industri Kaca

Penggunaan asam borat paling besar adalah di industri kaca serat kaca. Asam borat mempercepat peleburan dan meningkatkan pencampuran dari bahan lain. Asam ini juga memperbaiki warna dan meningkatkan ketahanan terhadap guncangan termal dan mekanik.

#### b. Industri Keramik

Asam borat digunakan dalam pelapisan barang-barang tembikar, barang pecah belah, ubin, porcelen dan peralatan dapur.

#### c. Industri Kimia

Dalam industri kimia asam borat berfungsi sebagai *condensing agent*, dan juga berguna dalam berbagai analisa kimia. Asam borat sangat penting dalam industri sodium perborat yang digunakan sebagai bahan pemutih dalam industri pulp dan kertas.

#### d. Industri Elektronik

Asam borat digunakan untuk pembuatan kapasitor (kondensor elektronik) yang digunakan dalam sistem mesin automobil, pendingin elektrik, radio, TV dan barang-barang elektronik lainnya.

e. Industri Obat dan Farmasi

Asam borat digunakan dalam pembuatan obat yang berfungsi sebagai antiseptik, *desinfektant*, dan penyegar. Asam borat dapat menahan pertumbuhan bakteri dan jamur.

f. Fotografi

Asam borat dalam bidang fotografi digunakan sebagai *reagent* dalam proses pencetakan film.

g. Bahan Pengawet

Asam borat dalam industri pengawetan berfungsi untuk menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur. Industri yang menggunakan asam borat untuk pengawetan hasil produksinya antara lain industri kulit, kayu dan tali.

h. Lain-lain

Asam borat adalah agen pengemulsi dalam industri lilin (*wax*). Asam borat juga digunakan dalam tinta cetak dan untuk membuat kertas tahan api. Dalam industri kulit asam borat berfungsi untuk meningkatkan kekuatan serat dan daya tahan terhadap warna produk.

(Mc. Ketta & Cunningham, 1992)

### 1.13. Tinjauan Pustaka

#### 1.13.1. Bahan Baku

1) Boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )

Sifat Fisis (Perry & Green, 2008)

- Rumus molekul :  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Berat molekul : 381,43 g/mol
- Fase : padat
- Titik leleh : 75 °C
- Titik didih : 200 °C



- Bentuk : kristal
- Warna : putih
- *Specific gravity* : 1,73

#### Sifat Kimia (Ullmann's, 1998)

- Kristal boraks akan kehilangan 5 mol air ketika dipanaskan pada suhu 50 – 100°C.
- Akan kehilangan tambahan 3 mol air saat dipanaskan sampai suhu 160°C. Sisa 2 mol air akan hilang saat pemanasan dilanjutkan sampai 400°C menjadi boraks anhidrat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ).
- Boraks anhidrat ketika dipanaskan sampai 742°C membentuk kaca bening.

#### 2) Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

##### Sifat Fisis (Perry & Green, 2008)

- Rumus molekul :  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Berat molekul : 98,08 g/mol
- Bentuk : cair
- Titik leleh : 10,94 °C
- Titik didih : 340 °C
- Densitas : 1,841 g/cm<sup>3</sup>
- Suhu kritis : 652 °C
- Tekanan kritis : 652 °C
- *Specific gravity* : 1,834

##### Sifat Kimia

- Asam sulfat merupakan asam kuat dengan sifat karakteristik higroskopis dan pengoksidasi.
- Mudah bereaksi dengan berbagai senyawa organik.

- Asam sulfat membentuk larutan garam atau endapan saat direaksikan dengan CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub>.



### 1.13.2. Produk

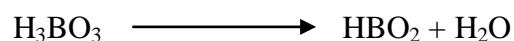
#### 1) Asam Borat (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>)

##### Sifat Fisis (Perry & Green, 2008)

- Rumus molekul : H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>
- Berat molekul : 61,83 g/mol
- Titik didih : 170,9 °C
- Titik leleh : 300 °C
- Bentuk : kristal
- Warna : putih
- *Specific gravity* : 1,435

##### Sifat Kimia ( Ullmann's, 1998)

- Asam borat bereaksi dengan basa kuat membentuk ion metaborat B(OH)<sub>4</sub>, dan dengan alcohol membentuk ester borat.
- Asam borat bereaksi dengan ion florida membentuk asam tetrafloroborat dan dengan asam hidroflorik membentuk asam trifloroborat H(F<sub>3</sub>BOH)
- Stabil di bawah kondisi-kondisi lingkungan higroskopis. Asam borat jika dipanaskan diatas 170 °C akan terdehidrasi.



#### 2) Natrium Sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

##### Sifat Fisis (Perry & Green, 2008)

- Rumus molekul : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Berat molekul : 142,04 g/mol

- Titik didih : 884 °C
- Titik leleh : 1429 °C
- Bentuk : kristal
- Warna : putih
- *Specific gravity* : 2,664

#### Sifat Kimia ( Ullmann's, 1998)

- Reaktivitas  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  relatif rendah pada suhu kamar dengan pengecualian asam sulfat, dengan berbagai senyawa asam lainnya yang terbentuk pada suhu di bawah 100 °C. Pada suhu yang lebih tinggi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sangat relatif.

#### 3) Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )

##### Sifat Fisis (Perry & Green, 2008)

- Rumus molekul :  $\text{H}_2\text{O}$
- Berat molekul : 18,015 gr/mol
- Titik didih : 100 °C
- Titik leleh : 0 °C
- Bentuk : cair
- Densitas (25°C) : 0,9956 gr/ml
- Warna : bening

### 1.14. Konsep Proses

#### 1.14.1. Kondisi Oprasi

Kondisi operasi pada pembuatan asam borat berjalan pada suhu 100°C dengan tekanan 1 atm. Pemilihan kondisi operasi tersebut berdasarkan pertimbangan bahwa kondisi tersebut merupakan kondisi optimum untuk pembentukan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  dari  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Pada perancangan pabrik asam borat rasio mol reaktan  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang digunakan adalah 1 : 0,975, sehingga akan diperoleh konversi sebesar 99% terhadap  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (U.S. Patent No. 4156654).

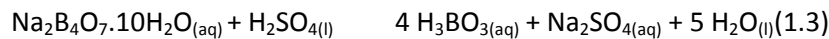


Reaksi berjalan pada kondisi eksotermis sehingga suhu dalam reaktor harus dijaga konstanta pada kondisi  $100^{\circ}\text{C}$ , sehingga dalam proses digunakan reaktor batch. Selain itu, fase reaktan adalah cair sehingga memungkinkan penggunaan reaktor jenis Batch.

### 1.14.2. Mekanisme Reaksi

Reaksi pembentukan asam borat ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) dari boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) berdasarkan urutan mekanisme reaksi adalah sebagai berikut:

Reaksi pembentukan asam borat:

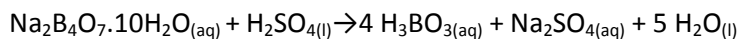


Reaksi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  menjadi  $\text{H}_3\text{BO}_3$  berlangsung di dalam reaktor Batch pada suhu  $100^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm. Reaksi antara  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan perbandingan mol reaktan  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah 1 : 0,975.

### 1.14.3. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika dilakukan untuk mengetahui apakah proses tersebut bersifat endotermis atau eksotermis serta arah reaksi reversible atau irreversible. Untuk menentukan sifat reaksi, panas reaksi dapat dihitung dari panas pembuatan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada kondisi  $P = 1 \text{ atm}$  dan  $T = 100^\circ\text{C}$ .

Reaksi pembentukan asam borat :



Harga  $\Delta H_f^\circ$  masing-masing komponen pada suhu 298 K ( $25^\circ\text{C}$ ) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

**Tabel 11.** Harga  $\Delta G_f^\circ$  dan  $\Delta H_f^\circ$  masing-masing Komponen

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-6288,60	-5516,00
$\text{H}_2\text{SO}_4$	-813,99	-690,00
$\text{H}_3\text{BO}_3$	-1072,32	-968,75
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	-1389,51	-1268,36

(Yaws, 1999)

- Panas reaksi standar ( $\Delta H_r^\circ$ )

$$\Delta H_r^\circ = \sum \Delta H_f^\circ \text{produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{reaktan}$$

$$\Delta Hr^o = (4 \times \Delta Hf^o H_3BO_3 + \Delta Hf^o Na_2SO_4 + 5 \times \Delta Hf^o H_2O) - (\Delta Hf^o Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O + \Delta Hf^o H_2SO_4)$$

$$\Delta Hr^o = [4(-1072,32) + (-1389,51) + 5(-286,83)] - [(-6288,6) + (-813,99)]$$

$$\Delta Hr^o = -5,35 \frac{kJ}{mol}$$

$$\Delta Hr^o = -5350 \frac{J}{mol}$$

Karena  $\Delta Hr^o$  bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis (mengeluarkan panas).

- Konstanta kesetimbangan (K) pada keadaan standar.

$$\Delta Gf^o = -RT \ln K$$

Dimana :

$\Delta Gf^o$  = energi Gibbs pada keadaan standar (T = 298 K dan P = 1 atm)  
(J/mol)

$\Delta Hr^o$  = panas reaksi (J/mol)

K = konstanta kesetimbangan.

T = suhu standar

R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)

Sehingga  $\Delta Gf^o$  dari reaksi tersebut adalah :

$$\Delta Gf^o = \Delta G^o f_{produk} - \Delta G^o f_{reaktan}$$

$$\Delta Gf^o = [(4 \times \Delta G^o f_{H_3BO_3}) + \Delta G^o f_{Na_2SO_4} + (5 \times \Delta G^o f_{H_2O})] - [\Delta G^o f_{Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O} + \Delta G^o f_{H_2SO_4}]$$

$$\Delta Gf^o = [(4 \times (-968,75) + (-1268,36) + (5 \times (-237,13))] - [-5516 + (-690)]$$

$$\Delta Gf^o = [-3875 - 1268,36 - 1185,65] - (-6206)$$

$$\Delta Gf^0 = -123,01 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta Gf^0 = -123.010 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta Gf^0 = -RT \ln K$$

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta Gf}{RT}$$

$$\ln K_{298} = -\frac{(-123010) \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \text{K} \times 298 \text{ K}}$$

$$\ln K_{298} = 49,6494$$

$$K_{298} = 3,6414 \times 10^{21}$$

- Konstanta kesetimbangan (K) pada  $T = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$ .

$$\ln \frac{K_{373}}{K_{298}} = -\left[\frac{\Delta H_R}{R}\right] \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{standar}}\right]$$

Dimana :

$K_{298}$  = konstanta kesetimbangan pada 298 K

$K_{373}$  = konstanta kesetimbangan pada suhu operasi

$T_{standar}$  = suhu standar (298 K)

$T_{operasi}$  = suhu operasi (373 K)

R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)

$\Delta Hr^0$  = panas reaksi standar pada 298 K

Maka :

$$\ln \frac{K_{373}}{K_{298}} = -\left[\frac{\Delta H_R}{R}\right] \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{standar}}\right]$$

$$\ln K_{373} - \ln K_{298} = - \left[ \frac{-5350 \frac{J}{mol}}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \right] \left[ \frac{1}{373K} - \frac{1}{298K} \right]$$

$$\ln K_{373} = 2,3587 \times 10^{21}$$

Dari perhitungan konstanta kesetimbangan pada suhu reaksi, didapatkan konstanta kesetimbangan reaksi yang relative besar, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi berlangsung searah yaitu ke kanan (*irreversible*) (Smith & Van Ness, 1996).

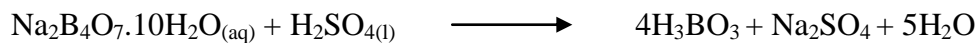
#### 1.14.4. Tinjauan Kinetika Reaksi

Dari segi kinetika reaksi dapat diperoleh beberapa langkah berikut,

Diketahui :  $X_A = 99\%$

$t' = 60$  menit

Reaksi orde 3



Mula	$C_{A0}$	$C_{B0}$			
Rx	$X_A \cdot C_{A0}$	$X_A \cdot C_{A0}$	$X_A \cdot C_{A0}$	$X_A \cdot C_{A0}$	$X_A \cdot C_{A0}$
Sisa	$C_{A0}(1-X_A)$	$C_{B0} - X_A \cdot C_{A0}$	$X_A \cdot C_{A0}$	$X_A \cdot C_{A0}$	$X_A \cdot C_{A0}$

Dimana :

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A)$$

$$C_B = C_{B0} - C_{A0}X_A$$

- Boraks =  $1180 \frac{kg}{m^3}$

$$\text{BM} = 381,37$$

$$C_{A0} = 1180 \frac{kg}{m^3} = \frac{1180 \frac{kg}{m^3}}{381,37 \frac{g}{mol}} = \frac{1180000 \frac{g}{m^3}}{381,37 \frac{g}{mol}} = 3094,108 \frac{mol}{m^3}$$

$$= 3,0941 \frac{mol}{L}$$

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A) = 3,0941(1 - 0,99) = 0,03094 \frac{mol}{L}$$

- Asamsulfat = 98%





$$BM = 98,08$$

$$C_{BO} = 98\% = \frac{98 \text{ g}/100 \text{ mL}}{98,08 \text{ g/mol}} = 9,9918(10^{-3}) \text{ mol/mL} \times 1000 \text{ mL/L}$$

$$= 9,9918 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$C_B = C_{BO} - C_{AO}X_A = 9,9918 - (3,0941 \times 0,99) = 6,9286 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Persamaan kecepatan reaksi :

$$\circ -(ra) = kC_A^2C_B$$

$$-\frac{dC_A}{C_A^2C_B} = k \cdot dT$$

$$-\frac{dC_A}{C_A^2(C_{BO} - C_{AO}X_A)} = k \cdot dT$$

$$\frac{1}{C_{BO} - C_{AO}} \left( \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{AO}} \right) + \frac{1}{(C_{BO} - C_{AO})^2} \ln \frac{C_{BO}C_A}{C_{AO}C_B} = k \cdot t$$

$$\frac{1}{9,9918 - 3,0941} \left( \frac{1}{0,03094} - \frac{1}{3,0941} \right) + \frac{1}{(9,9918 - 3,0941)^2} \ln \frac{9,9918 \times 0,03094}{3,0941 \times 6,9286} = 60k$$

$$k = 0,0773$$

$$t' = \frac{X_A}{kC_A^2C_B} = \frac{0,99}{0,0773 \times 0,03094^2 \times 6,9286} = 1931 \text{ menit}$$

$$\circ -(ra) = kC_A C_B^2$$

$$-\frac{dC_B}{dT} = kC_A C_B^2$$

$$\frac{dC_B}{C_A C_B^2} = k \cdot dT$$

$$\frac{1}{C_{BO} - C_{AO}} \left( \frac{1}{(C_{BO} - C_{AO}X_A)} - \frac{1}{C_{BO}} \right) \ln(C_{BO} - C_{AO}) \frac{1}{C_{AO}(1 - X_A)}$$

$$= k \cdot t \frac{1}{9,9918 - 3,0941} \left( \frac{1}{9,9918 - 3,0941(0,99)} - \frac{1}{9,9918} \right) \ln(9,9918 - 3,0941) \frac{1}{3,0941(1 - 0,99)} = 60k$$



$$k = 6,6729 \times 10^{-3}$$

$$t' = \frac{X_A}{k C_A C_B^2} = \frac{0,99}{6,6729(10)^{-3} \times 0,030941 \times 6,9286^2} = 100 \text{ menit}$$

$$\circ - (ra) = k \cdot C_A^3$$

$$\frac{dC_A}{C_A^3} = k \cdot dT$$

$$\frac{1}{2C_A^2} - \frac{1}{2C_{A0}^2} = k \cdot t$$

$$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} \right) = k \cdot t$$

$$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{0,03094^2} - \frac{1}{3,0942^2} \right) = 60k$$

$$k = 8,7043$$

$$t' = \frac{X_A}{k C_A^3} = \frac{0,99}{8,7043 \times 0,03094^3} = 3840 \text{ menit}$$

$$\circ - (ra) = k \cdot C_B^3$$

$$\frac{dC_B}{C_B^3} = k \cdot dT$$

$$\frac{1}{2C_B^2} - \frac{1}{2C_{B0}^2} = k \cdot t$$

$$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{C_B^2} - \frac{1}{C_{B0}^2} \right) = k \cdot t$$

$$\frac{1}{2} \left( \frac{1}{6,9286^2} - \frac{1}{9,9918^2} \right) = 60k$$

$$k = 9,0121 \times 10^{-5}$$

$$t' = \frac{X_A}{k C_B^3} = \frac{0,99}{9,0121(10)^{-5} \times 6,9286^3} = 34 \text{ menit}$$

Sehingga persamaan kecepatan reaksi yang digunakan yaitu :

$$-(ra) = k \cdot C_B^3 \text{ pada orde 3}$$

Keterangan :

$$-(ra) = \text{kecepatan reaksi zat A (Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O)}$$

$$k = \text{konstanta kecepatan reaksi (L/mol.jam)}$$



$C_A$  = konsentrasi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  pada waktu ke t ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$C_B$  = konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada waktu ke t ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$C_{A0}$  = konsentrasi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  mula-mula ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$C_{B0}$  = konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  mula-mula ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$X_A$  = konversi terhadap  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

