

**SKRIPSI**

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM BORAT DARI BORAKS  
DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES ASIDIFIKASI  
KAPASITAS 16.000 TON PER TAHUN**



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

**Oleh :**

**Rio Okto Danarko**

**20140262D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SETIA BUDI  
SURAKARTA  
2019**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM BORAT DARI BORAKS DAN ASAM  
SULFAT DENGAN PROSES ASIDIFIKASI KAPASITAS 16.000  
TON/TAHUN**

Disusun oleh :

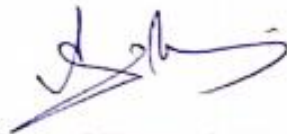
Rio Okto Danarko                      20140262D

Telah disetujui oleh Pembimbing

pada tanggal ...13 AGUSTUS 2019

Pembimbing 1

Pembimbing 2



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

NIS. 01199601032053



Ir. Sumardiyono, M. T.

NIS. 01199403231041

Mengetahui,

Ketua Program Studi

S1 Teknik Kimia



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

NIS. 01199601032053

**LEMBAR PENGESAHAN**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PRARANCANGAN PABRIK ASAM BORAT DARI BORAKS DAN ASAM  
SULFAT DENGAN PROSES ASIDIFIKASI KAPASITAS 16.000  
TON/TAHUN**

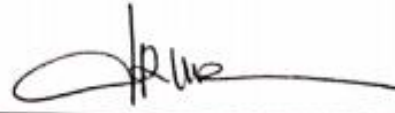
Disusun oleh :

Rio Okto Danarko                      20140262D

Telah dipertahankan didepan tim penguji

pada tanggal ...13 AGUSTUS 2019

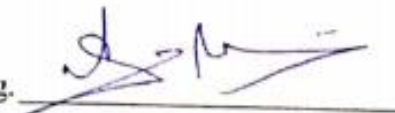
Penguji 1. Ir. Argoto Mahayana, S.T., M.T.



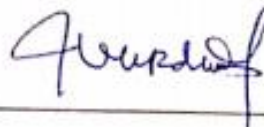
Penguji 2. Narimo, S.T., M.T.



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



Penguji 4. Ir. Sumardiyono, M.T.



Mengetahui,

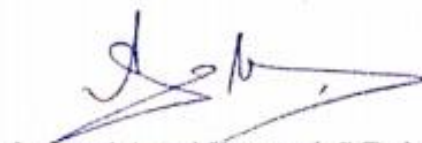
Dekan Fakultas Teknik

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. Jika kau sudah berusaha dan berdoa semaksimal mungkin dan tetap mengalami kegagalan, jangan pula berprasangka buruk kepada takdir, mungkin perjalanan itu belum sampai pada tujuan. Karena berputus asa tidaklah lebih baik dari berprasangka baik dengan terus berusaha.

Jangan menyerah jika kau terjatuh berkali-kali dan mengalami kegagalan lagi dan lagi. Tidak ada hal yang memalukan dari terjatuh. Yang memalukan adalah jika kau terjatuh, dan tidak bangkit lagi (Shintaro Midorima).

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

### **Tuhan Yang Maha Esa**

Puji Tuhan, segala puji syukur kupakanatkan kepada-Mu. Terimakasih untuk semua rahmat yang telah Kau berikan kepada hamba-Mu. Semoga Engkau memberikan kelancaran dan perlindungan dalam setiap langkahku.

### **Orangtua tercinta**

Terimakasih untuk semua doa, kasih sayang, dan motivasi yang begitu besar yang Ayah dan Mama berikan selama ini kepadaku. Aku takkan pernah bisa membalas budi untuk semua perjuangan yang telah Kalian berikan. Ayah & Mama, kalian motivator terhebat dalam hidupku.

### **Bu Dewi dan Pak Dion**

Terimakasih telah membimbing dalam pengerjaan tugas akhir ini dan terimakasih atas ilmu yang diberikan selama diperkuliahan ini.

### **Seluruh Bapak dan Ibu dosen Prodi Teknik Kimia serta Karyawan TU Fakultas Teknik USB yang tidak bisa saya sebut satu-persatu**

Terimakasih telah mengajarkan banyak ilmu selama masa perkuliahan, dan terimakasih atas pelayanan yang baik yang telah bapak dan ibu berikan.

### **Teman Seperjuangan Tekkim USB angkatan 2014, Caesar, Ryan, Bagus, Arum, Carla, Hera, Iin, Tamara, Lala, dan Eme**

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 ☺.

### **Teman-teman USB yang tidak bisa saya sebut satu-persatu**

Terimakasih atas dukungan kalian yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini,

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat serta kasih Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “Prarancangan Pabrik Asam Borat dari Boraks dan Asam Sulfat dengan Proses Asidifikasi Kapasitas 16.000 Ton/Tahun” sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta. Dengan tugas ini, diharapkan kemampuan penalaran dan penerapan teori-teori yang telah diperoleh selama kuliah dapat berkembang dan dapat dipahami dengan baik.

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

1. Dr. Djoni Tarigan MBA, selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Ir. Petrus Darmawan, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Ir. Dewi Astuti H., S.T., M.Eng., selaku ketua Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta dan sebagai Dosen Pembimbing 1, yang dengan kesabarannya telah memberikan bimbingan kepada penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Ir. Sumardiyono, M.T., selaku Dosen Pembimbing 2 yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

5. Ir. Argoto Mahayana, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji 1 yang telah meluangkan waktunya untuk menguji dan memberikan saran untuk hasil laporan tugas akhir ini.
6. Narimo, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji 2 yang telah meluangkan waktunya untuk menguji dan memberikan saran untuk hasil laporan tugas akhir ini.
7. Bapak dan Ibu dosen Program Studi S1 Teknik Kimia serta bapak dan ibu laboran yang telah membimbing selama kuliah.
8. Orang tua yang selalu memberikan dukungan, doa, dan motivasi.
9. Serta semua teman yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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

Surakarta, 13 Agustus 2019



Penulis

## DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
INTISARI.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik .....	1
1.2. Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik .....	2
1.3. Pemilihan Lokasi Pabrik .....	11
1.4. Tinjauan Pustaka .....	14
BAB II. SPESIFIKASI BAHAN	
2.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	29
2.2. Spesifikasi Produk.....	30
BAB III. DESKRIPSI PROSES	
3.1. Keterangan Proses .....	31
3.2. Diagram Alir Kualitatif .....	34
3.3. Diagram Alir Kuantitatif .....	35
BAB IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1. Neraca Massa .....	36
4.2. Neraca Panas .....	44
BAB V. SPESIFIKASI ALAT	
5.1. Silo Penyimpanan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .....	53
5.2. Tangki Penyimpanan $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....	53
5.3. Mixer.....	54
5.4. Reaktor .....	55



5.5. Centrifuge – 01.....	56
5.6. Centrifuge – 02.....	56
5.7. Crystallizer.....	57
5.8. Rotary Dryer – 01 .....	57
5.9. Rotary Dryer – 02 .....	58
5.10. Cyclone – 01.....	59
5.11. Cyclone – 02.....	59
5.12. Belt Conveyor – 01 .....	60
5.13. Belt Conveyor – 02.....	60
5.14. Belt Conveyor – 03.....	61
5.15. Belt Conveyor – 04.....	61
5.16. Silo Penyimpanan Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	62
5.17. Silo Penyimpanan H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> .....	62
5.18. Bucket Elevator – 01 .....	63
5.19. Bucket Elevator – 02 .....	64
5.20. Bucket Elevator – 03 .....	64
5.21. Bucket Elevator – 04 .....	65
5.22. Hopper .....	66
5.23. Screw Conveyor .....	66
5.24. Pompa – 01.....	67
5.25. Pompa – 02.....	67
5.26. Pompa – 03.....	68
5.27. Pompa – 04.....	68
5.28. Pompa – 05.....	69
5.29. Pompa – 06.....	70
5.30. Heater – 01.....	70
5.31. Heater – 02.....	71
5.32. Cooler.....	71
5.33. Blower-01.....	72
5.34. Blower-02.....	72
<b>BAB VI. UNIT PENDUKUNG PROSES (UTILITAS)</b>	
6.1. Unit Pendukung Proses (Utilitas).....	73

6.2. Unit Pengadaan Listrik.....	80
6.3. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	83
6.4. Unit Penyediaan Udara Tekan .....	83
6.5. Unit Pengolahan Limbah.....	83
6.6. Laboratorium.....	84
6.7. Kesehatan dan Keselamatan Kerja.....	85
6.8. Alat-Alat Utilitas .....	86
<b>BAB VII. ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK</b>	
7.1. Bentuk Perusahaan .....	97
7.2. Struktur Organisasi .....	98
7.3. Sistem Kepagawaian dan Sistem Gaji.....	102
7.4. Kesejahteraan Karyawan.....	109
7.5. Manajemen Produksi.....	111
7.6. Tata Letak ( <i>Lay Out</i> ) Pabrik .....	113
7.7. Tata Letak Peralatan.....	117
<b>BAB VIII. EVALUASI EKONOMI</b>	
8.1. Perhitungan Biaya .....	123
8.2. <i>Total Fixed Capital Investment</i> .....	125
8.3. <i>Working Capital</i> (Modal Kerja).....	126
8.4. <i>Manufacturing Cost</i> .....	127
8.5. <i>General Expenses</i> .....	128
8.6. Analisis Ekonomi .....	128
<b>BAB IX. KESIMPULAN.....</b>	<b>132</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>133</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>136</b>

## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1.1. Data impor asam borat di Indonesia .....	2
Tabel 1.2. Data impor asam borat di Australia .....	4
Tabel 1.3. Data Impor asam borat di Filipina .....	5
Tabel 1.4. Data Impor asam borat di Thailand.....	6
Tabel 1.5. Data Impor asam borat di Myanmar .....	7
Tabel 1.6. Data Impor asam borat di Singapura.....	8
Tabel 1.7. Data Impor asam borat di Vietnam .....	9
Tabel 1.8. Kapasitas pabrik asam borat di dunia .....	10
Tabel 1.9. Tinjauan pemilihan proses pembuatan asam borat .....	16
Tabel 1.10. Kelarutan asam borat dalam air .....	20
Tabel 1.11. Harga $\Delta H_f^\circ$ masing-masing komponen .....	23
Tabel 1.12. Harga $\Delta G_f^\circ$ masing-masing komponen .....	23
Tabel 4.1.1. Neraca Massa Mixer .....	38
Tabel 4.1.2. Neraca Massa Reaktor .....	39
Tabel 4.1.3. Neraca Massa Centrifuge – 01 .....	40
Tabel 4.1.4. Neraca Massa Rotary Dryer – 01 .....	40
Tabel 4.1.5. Neraca Massa Cyclone – 01 .....	41
Tabel 4.1.6. Neraca Massa Belt Conveyor – 01 .....	41
Tabel 4.1.7. Neraca Massa Crystallizer .....	42
Tabel 4.1.8. Neraca Massa Centrifuge -02.....	42
Tabel 4.1.9. Neraca Massa Rotary Dryer – 02.....	43
Tabel 4.1.10. Neraca Massa Cyclone – 02.....	43
Tabel 4.1.11. Neraca Massa Belt Conveyor – 02.....	44
Tabel 4.2.1. Konstanta Kapasitas Panas.....	45
Tabel 4.2.2. Data Kapasitas Panas Masing-Masing Komponen .....	46
Tabel 4.2.3. Neraca Panas Mixer .....	47
Tabel 4.2.4. Neraca Panas Heater – 01 .....	48
Tabel 4.2.5. Neraca Panas Heater – 02 .....	48
Tabel 4.2.6. Neraca Panas Reaktor .....	49

Tabel 4.2.7. Neraca Panas Rotary Dryer – 01 .....	50
Tabel 4.2.8. Neraca Panas Belt Conveyor – 01.....	50
Tabel 4.2.9. Neraca Panas Cooler .....	51
Tabel 4.2.10. Neraca Panas Crystallizer .....	51
Tabel 4.2.11. Neraca Panas Rotary Dryer – 02.....	52
Tabel 4.2.12. Neraca Panas Belt Conveyor – 02.....	52
Tabel 6.1. Kebutuhan Air Proses .....	74
Tabel 6.2. Kebutuhan Air Pendingin.....	75
Tabel 6.3. Kebutuhan Air Sanitasi .....	76
Tabel 6.4. Kebutuhan Air untuk Steam.....	77
Tabel 6.5. Kebutuhan Air <i>Make up</i> .....	77
Tabel 6.6. Konsumsi Listrik untuk Keperluan Proses.....	80
Tabel 6.7. Konsumsi Listrik untuk Utilitas .....	81
Tabel 7.1. Daftar Gaji Karyawan .....	102
Tabel 7.2. Pembagian <i>Shift</i> Karyawan .....	108
Tabel 7.3. Luas Bangunan Pabrik .....	115
Tabel 8.1. <i>Cost Index Chemical Plant</i> .....	122
Tabel 8.2. <i>Total Fixed Capital Investment</i> .....	125
Tabel 8.3. <i>Working Capital</i> .....	126
Tabel 8.4. <i>Manufacturing Cost</i> .....	127
Tabel 8.5. <i>General Expenses</i> .....	128
Tabel 8.6. <i>Fixed Cost</i> .....	129
Tabel 8.7. <i>Variable Cost</i> .....	130
Tabel 8.8. <i>Regulated Cost</i> .....	130
Tabel 9.1. Analisis Kelayakan Ekonomi.....	132

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1. Grafik data impor asam borat di Indonesia .....	3
Gambar 2. Grafik data impor asam borat di Australia .....	4
Gambar 3. Grafik data impor asam borat di Filipina .....	5
Gambar 4. Grafik data impor asam borat di Thailand .....	6
Gambar 5. Grafik data impor asam borat di Myanmar .....	7
Gambar 6. Grafik data impor asam borat di Singapura .....	8
Gambar 7. Grafik data impor asam borat di Vietnam .....	9
Gambar 8. Peta lahan pendirian pabrik asam borat.....	13
Gambar 9. Diagram alir kualitatif .....	34
Gambar 10. Diagram alir kuantitatif .....	35
Gambar 11. Diagram Alir Pengolahan Air dan Utilitas .....	96
Gambar 12. Struktur Organisasi Industri .....	110
Gambar 13. Tata Letak Pabrik .....	117
Gambar 14. Tata Letak Peralatan Pabrik .....	120
Gambar 15. Grafik Hubungan Tahun dengan <i>Cost Index</i> .....	122
Gambar 16. Grafik BEP dan SDP .....	131

## 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 16.000 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 3.262,0736 kg/jam dan Asam sulfat sebesar 817,9604 kg/jam. Produk berupa Asam borat sebesar 2.040,4040 kg/jam dan produk samping Natrium sulfat sebesar 1.172,6118 kg/jam. Untuk menunjang proses produksi, maka didirikan unit pendukung yaitu unit penyediaan air start up sebesar 177.458,6987 kg/jam dan make up sebesar 19.149,9 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.

Proses pembuatan asam borat memiliki beberapa tahapan 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 analisis ekonomi yang dilakukan terhadap pabrik ini dengan modal tetap (FCI) Rp. 232.624.888.329 dan modal kerja Rp. 69.468.543.752. Keuntungan sebelum pajak Rp. 54.793.471.953 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30% keuntungan mencapai Rp. 38.355.430.367 pertahun. *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak 23,554 % dan setelah pajak 16,488 %, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 2,9802 tahun dan setelah pajak 3,775 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 43,347 %, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 22,94 % dan *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 11,4285%. 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

#### 1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Seiring kemajuan zaman, kebutuhan terhadap bahan-bahan kimia untuk menunjang kehidupan manusia semakin meningkat. Melihat kenyataan tersebut, pembangunan industri kimia di Indonesia sangat dibutuhkan. Selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor, pembangunan ini juga dapat menyediakan lapangan pekerjaan untuk meningkatkan taraf hidup bangsa. Salah satu pembangunan pabrik di Indonesia yang memiliki prospek cerah adalah pabrik asam borat.

Asam borat (*boric acid*) merupakan senyawa kimia anorganik produk industri kimia yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri makanan, farmasi, kimia, gelas, maupun elektronik. Saat ini, kebutuhan asam borat di Indonesia sebagian besar diimpor dari negara-negara seperti : Cina, USA, Jepang, Peru, Turki, Rusia dan Jerman ([www.data.un.org](http://www.data.un.org)).

Kebutuhan bahan baku merupakan faktor penting untuk menentukan kelangsungan proses produksi. Bahan baku dalam proses pembuatan asam borat adalah boraks dan asam sulfat. Kebutuhan boraks dipenuhi dengan cara mengimpor dari China dan kebutuhan asam sulfat dipenuhi dari PT. Petrokimia, Gresik.

Dengan pendirian pabrik asam borat di Indonesia diharapkan mampu :

1. Membantu memenuhi kebutuhan asam borat dalam negeri sehingga dapat mengurangi impor dari negara lain dan dapat menghemat devisa negara.
2. Memacu pertumbuhan industri lain khususnya yang menggunakan asam borat sebagai bahan baku maupun bahan pembantu.
3. Meningkatkan devisa negara jika asam borat diekspor ke luar negeri.

- 
4. Memberikan lapangan pekerjaan bagi tenaga kerja lokal agar sumber daya manusia yang dimiliki oleh Indonesia termanfaatkan secara maksimal dan dapat menunjang pemerataan pembangunan.

## 1.2. Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik

Dalam penentuan kapasitas perancangan pabrik asam borat ( $H_3BO_3$ ) ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, antara lain :

### 1.2.1. Kebutuhan Asam Borat di Indonesia

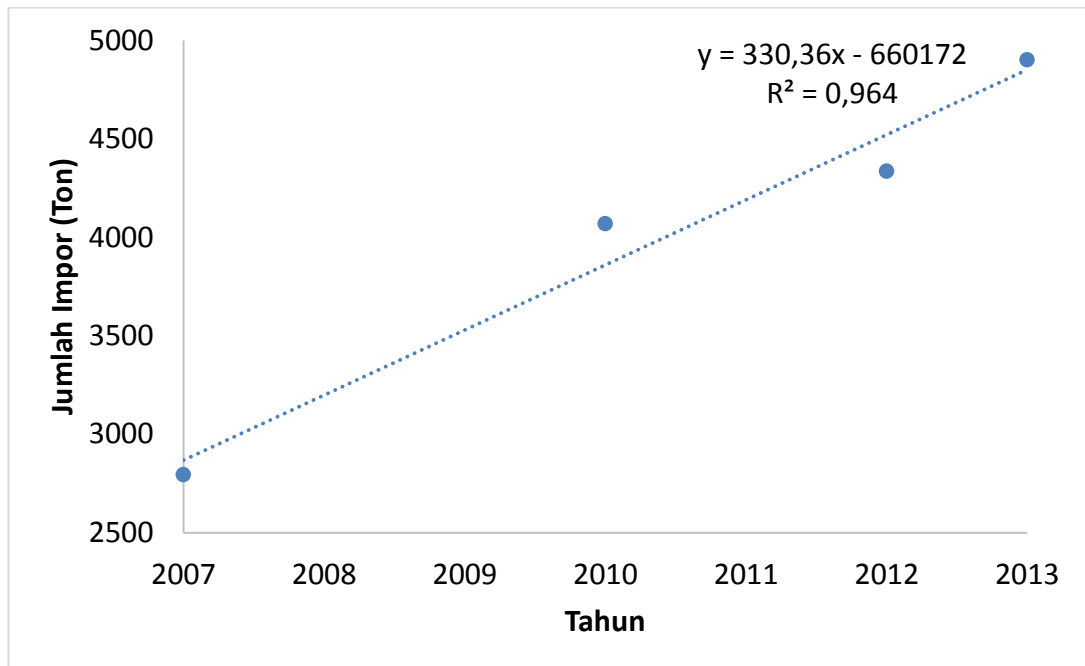
Kebutuhan asam borat ( $H_3BO_3$ ) di Indonesia selama beberapa tahun semakin meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, Indonesia mengimpor asam borat dari luar negeri. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) mengenai data impor asam borat ( $H_3BO_3$ ) di Indonesia pada tahun 2007-2013 akan ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Data impor asam borat di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2007	2.795,3
2010	4.069,174
2012	4.336,127
2013	4.900,638

(Sumber : BPS, 2018)





Gambar 1. Grafik data impor asam borat di Indonesia

Gambar 1 menunjukkan bahwa kebutuhan asam borat di Indonesia cenderung semakin meningkat setiap tahunnya, pengoperasian pabrik asam borat diproyeksikan akan dimulai pada tahun 2023. Dari Gambar 1, diperoleh suatu persamaan regresi linier untuk mengetahui kebutuhan akan konsumsi asam borat pada tahun 2023 yaitu sebagai berikut :

$$y = 330,36 \cdot x - 660172$$

$$y = (330,36 \cdot 2023) - 660172$$

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

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 asam borat di Indonesia pada tahun 2023 adalah 8.146,28 ton.

### 1.2.2. Kebutuhan Asam Borat di Negara Lain

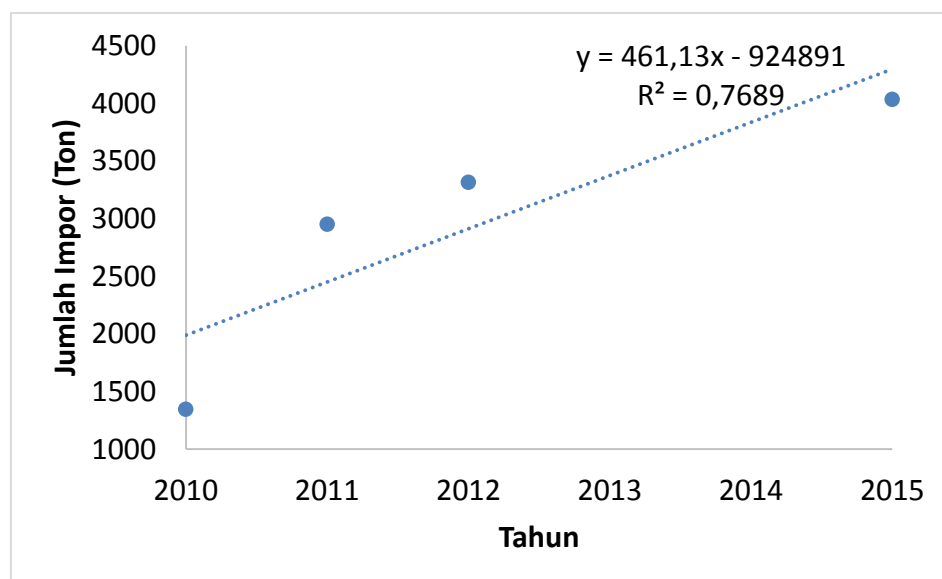
#### 1. Australia

Kebutuhan asam borat di Australia dapat dilihat dari data impor yang ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Data impor asam borat di Australia

Tahun	Jumlah (Ton)
2010	1.346,82
2011	2.951,587
2012	3.314,797
2015	4.033,703

(Sumber : [www.data.un.org](http://www.data.un.org), 2018)



Gambar 2. Grafik data impor asam borat di Australia

Dari Gambar 2 didapatkan suatu persamaan regresi linier sehingga dapat dihitung kebutuhan asam borat di Australia pada tahun 2023. berdasarkan persamaan  $y=461,13 \cdot x - 924891$ , kebutuhan asam borat di Australia pada tahun 2023 sebesar 7.974,99 ton.

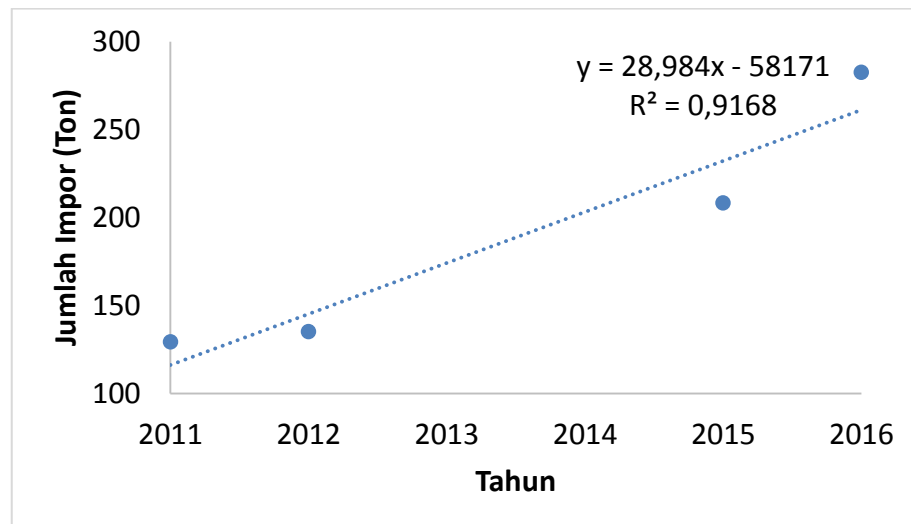
## 2. Filipina

Kebutuhan asam borat di Filipina dapat dilihat dari data impor yang ditunjukkan pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3. Data impor asam borat di Filipina

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

(Sumber : [www.data.un.org](http://www.data.un.org), 2018)



Gambar 3. Grafik data impor asam borat di Filipina

Dari Gambar 3 didapatkan suatu persamaan regresi linier sehingga dapat dihitung kebutuhan asam borat di Filipina pada tahun 2023. berdasarkan persamaan  $y=28,984 \cdot x - 58171$ , kebutuhan asam borat di Filipina pada tahun 2023 sebesar 463,632 ton.

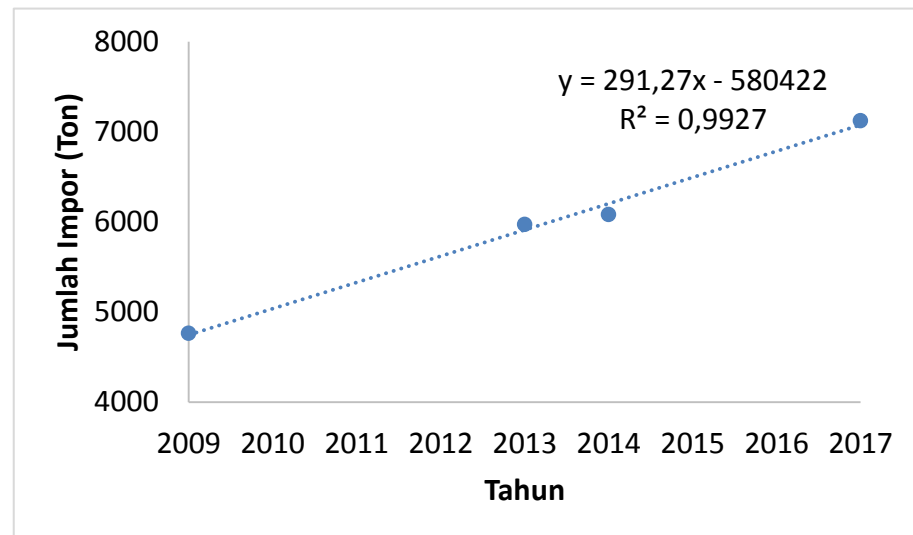
### 3. Thailand

Kebutuhan asam borat di Thailand dapat dilihat dari data impor yang ditunjukkan pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4. Data impor asam borat di Thailand

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah (Ton)</b>
2009	4.759,956
2013	5.968,405
2014	6.079,574
2017	7.120,373

(Sumber : [www.data.un.org](http://www.data.un.org), 2018)



Gambar 4. Grafik data impor asam borat di Thailand

Dari Gambar 4 didapatkan suatu persamaan regresi linier sehingga dapat dihitung kebutuhan asam borat di Thailand pada tahun 2023. berdasarkan persamaan  $y=291,27*x-580422$ , kebutuhan asam borat di Thailand pada tahun 2023 sebesar 8.817,21 ton.

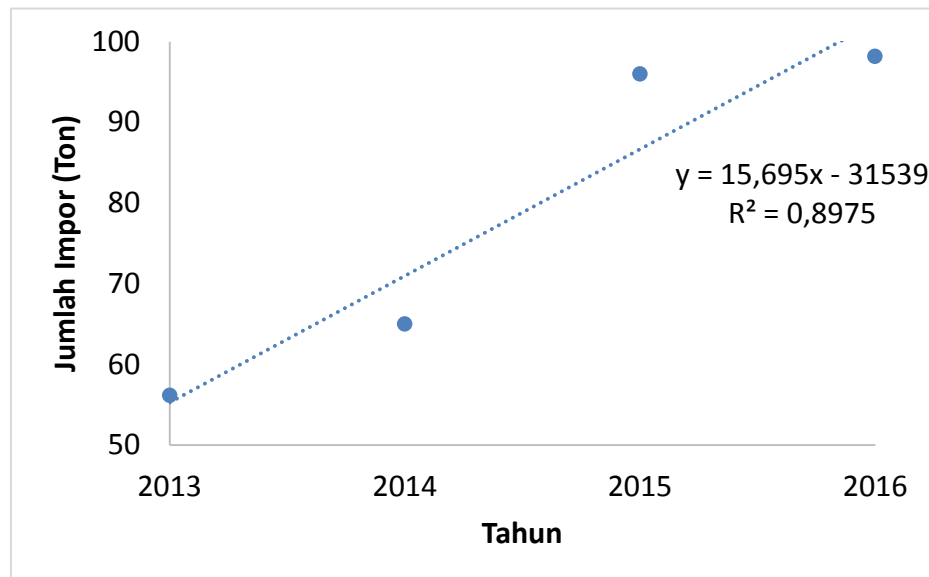
#### 4. Myanmar

Kebutuhan asam borat di Myanmar dapat dilihat dari data impor yang ditunjukkan pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5. Data impor asam borat di Myanmar

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

(Sumber : [www.data.un.org](http://www.data.un.org), 2018)



Gambar 5. Grafik data impor asam borat di Myanmar

Dari Gambar 5 didapatkan suatu persamaan regresi linier sehingga dapat dihitung kebutuhan asam borat di Myanmar pada tahun 2023. berdasarkan persamaan  $y=15,695*x-31539$ , kebutuhan asam borat di Myanmar pada tahun 2023 sebesar 211,985 ton.

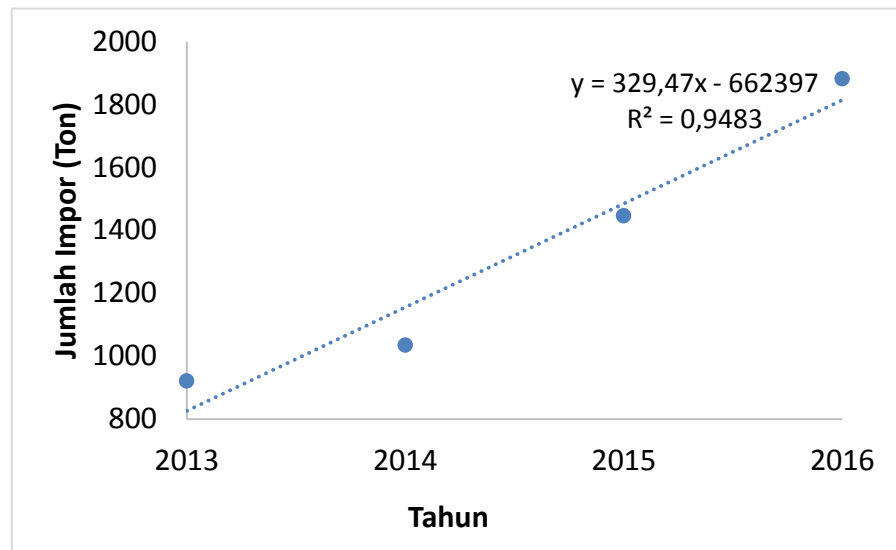
## 5. Singapura

Kebutuhan asam borat di Singapura dapat dilihat dari data impor yang ditunjukkan pada Tabel 1.6.

Tabel 1.6. Data impor asam borat di Singapura

Tahun	Jumlah (Ton)
2013	920,306
2014	1.034,265
2015	1.445,982
2016	1.881,3

(Sumber : [www.data.un.org](http://www.data.un.org), 2018)



Gambar 6. Grafik data impor asam borat di Singapura

Dari Gambar 6 didapatkan suatu persamaan regresi linier sehingga dapat dihitung kebutuhan asam borat di Singapura pada tahun 2023. berdasarkan persamaan  $y=329,47*x-662397$ , kebutuhan asam borat di Singapura pada tahun 2023 sebesar 4120,81 ton.

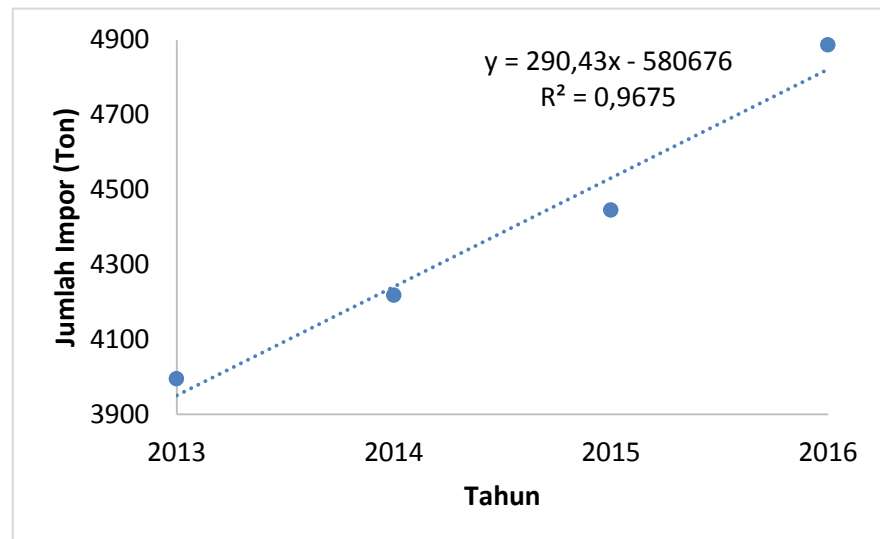
## 6. Vietnam

Kebutuhan asam borat di Vietnam dapat dilihat dari data impor yang ditunjukkan pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7. Data impor asam borat di Vietnam

Tahun	Jumlah (Ton)
2013	3.994,315
2014	4.217,957
2015	4.444,869
2016	4.886,763

(Sumber : [www.data.un.org](http://www.data.un.org), 2018)



Gambar 7. Grafik data impor asam borat di Vietnam

Dari Gambar 7 didapatkan suatu persamaan regresi linier sehingga dapat dihitung kebutuhan asam borat di Vietnam pada tahun 2023. berdasarkan persamaan  $y=290,43 \cdot x-580676$ , kebutuhan asam borat di Vietnam pada tahun 2023 sebesar 6863,89 ton.

Dari perhitungan diatas, total kebutuhan asam borat di negara Indonesia, Australia, Filipina, Thailand, Myanmar, Singapura, dan Vietnam adalah sebesar  $\pm 36.600$  ton.

### 1.2.3. Kapasitas Pabrik yang sudah ada

Untuk mendirikan suatu pabrik, harus diperhatikan juga kapasitas pabrik yang sudah ada untuk mengetahui kapasitas rancangan minimum pabrik. Kapasitas pabrik yang sudah ada akan ditunjukkan pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8. Kapasitas pabrik asam borat di dunia

<b>Pabrik</b>	<b>Kapasitas (Ton/Tahun)</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 pertimbangan diatas, maka akan didirikan pabrik asam borat dari boraks dan asam sulfat dengan proses asidifikasi kapasitas 16.000 ton/tahun dan diharapkan :

1. Dapat membantu memenuhi kebutuhan asam borat dalam negeri pada tahun 2023.
2. Dapat membantu memenuhi kebutuhan asam borat di negara-negara tetangga tahun 2023.
3. Dapat menambah devisa negara karena mencakup pasar ekspor.
4. Membuka peluang bagi industri lain di Indonesia untuk mendirikan pabrik bahan baku asam borat ( $H_3BO_3$ ).
5. Dapat mengurangi jumlah pengangguran di Indonesia.

### 1.2.4. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan asam borat ( $H_3BO_3$ ) adalah boraks ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) dan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Untuk memenuhi kebutuhan bahan baku, boraks diimpor dari Zhengzhou P&B Chemical Ltd. di China. Sedangkan asam sulfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik.



---

### 1.3. Pemilihan Lokasi Pabrik

Letak geografis suatu pabrik sangat 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 :

#### 1. Penyediaan bahan baku

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

#### 2. Letak pabrik dengan daerah pemasaran

Pemasaran merupakan salah satu hal yang sangat mempengaruhi kelayakan suatu proyek. Dengan pemasaran yang tepat akan menghasilkan keuntungan dan menjamin kelangsungan proyek. Daerah Gresik merupakan daerah yang strategis untuk pendirian suatu pabrik karena dekat dengan kawasan industri, industri farmasi, dan industri kaca yang menggunakan asam borat sebagai bahan baku.

#### 3. Transportasi

Kota Gresik memiliki sarana transportasi darat yang cukup memadai, karena berada di jalur pantura yang menghubungkan kota-kota besar di Jawa Timur. Kawasan industri di kota Gresik juga memiliki sarana transportasi laut yang cukup memadai dan letaknya di pesisir pantai pulau Jawa. Pengiriman produk ke daerah pemasaran tidak mengalami masalah. Gresik juga merupakan tempat yang tepat untuk sarana transportasi laut, karena letaknya di pesisir pantai pulau Jawa sehingga memiliki pelabuhan laut yaitu pelabuhan Manyar yang memadai untuk sarana transportasi bahan baku boraks serta pemasaran lewat laut untuk antar pulau.

---

#### 4. Tenaga kerja

Kawasan industri Gresik terletak di daerah Jawa Timur yang syarat dengan lembaga pendidikan formal maupun non formal dimana banyak dihasilkan tenaga kerja ahli maupun non ahli, sehingga tenaga kerja mudah didapatkan.

#### 5. Utilitas

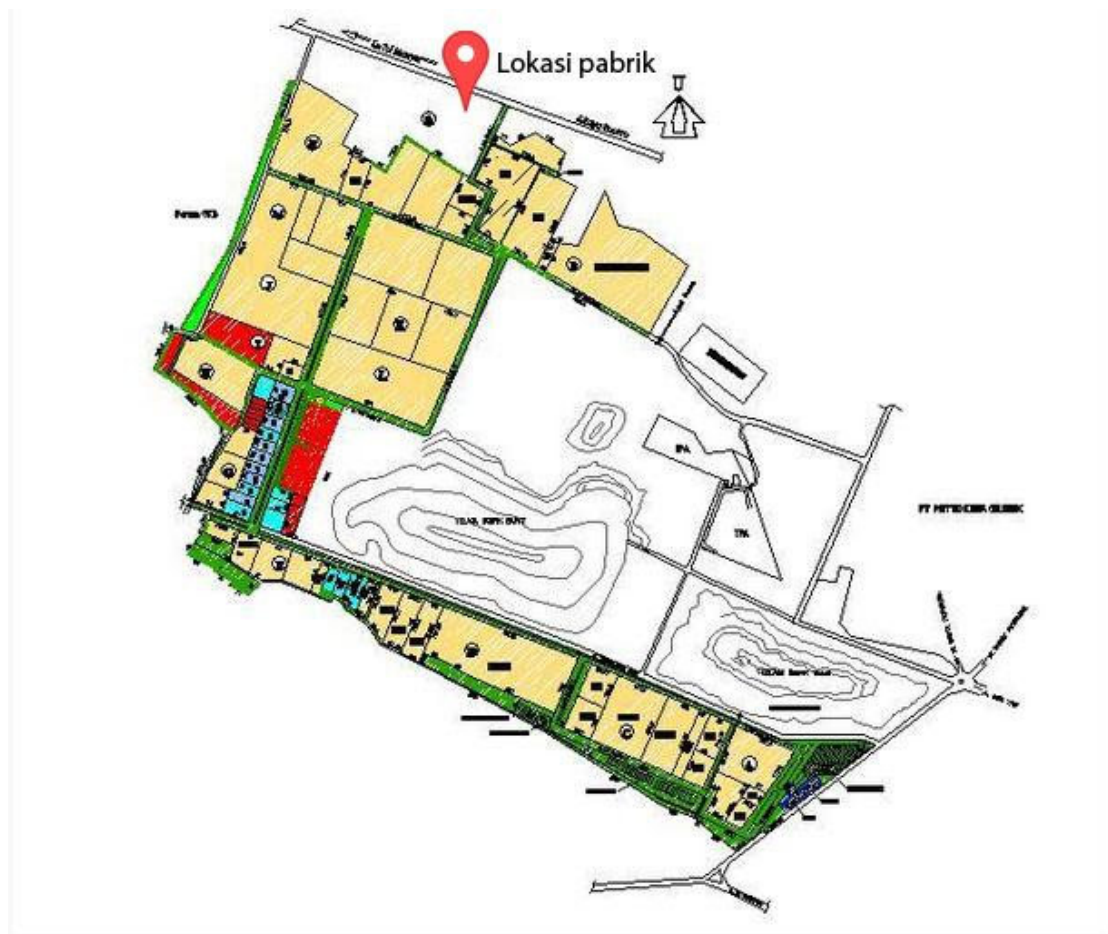
Fasilitas pendukung berupa air, energi, dan bahan bakar tersedia cukup memadai. Kebutuhan utilitas dapat dipenuhi oleh perusahaan penyedia jasa utilitas. Kebutuhan tenaga listrik didapatkan dari PLN yang jalurnya terdapat di kawasan ini dan generator sebagai cadangan apabila listrik dari PLN mengalami gangguan serta bahan bakar diperoleh dari Pertamina. Sedangkan untuk penyediaan air proses, air pendingin dan air umpan boiler dibeli dari PT. Kawasan Industri Gresik..

#### 6. Peraturan daerah

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

#### 7. Keadaan masyarakat

Masyarakat yang membutuhkan pekerjaan akan mendukung pendirian pabrik karena akan menambah lapangan pekerjaan baru sehingga masyarakat mendapat kesempatan untuk ikut bekerjasama.



Gambar 8. Peta lahan pendirian pabrik asam borat  
(Sumber : [www.kig.co.id](http://www.kig.co.id))

## 1.4. Tinjauan Pustaka

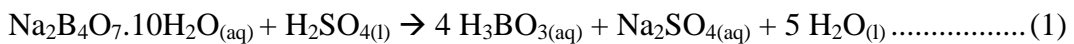
### 1.4.1. Macam-Macam Proses

Ada 2 macam proses untuk pembuatan asam borat, yaitu :

#### 1. Proses Asidifikasi

Pada proses asidifikasi, asam borat dibuat dengan cara mereaksikan granular boraks dengan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) di dalam reaktor dengan ketentuan 1 bagian granular boraks ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ), 0,975 bagian asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), dan 5 bagian air ( $H_2O$ ).

Reaksi :



Proses pembuatan asam borat akan diuraikan sebagai berikut :

Pertama-tama memasukkan boraks dan air ke dalam mixer dengan perbandingan 1 mol granular boraks ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) dan 5 mol air ( $H_2O$ ). Larutan keluaran dari mixer kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dan ditambahkan 0,975 mol asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) tiap mol boraks. Temperatur yang digunakan sebesar  $100^\circ C$  dengan tekanan sebesar 1 atm dan berlangsung selama 60 menit.

(US Patent No. 4,156,654)

Kemudian, larutan yang keluar dari reaktor dimasukkan kedalam *centrifuge* 1 dan dicuci dengan *wash water* untuk dipisahkan endapan  $Na_2SO_4$  dengan  $H_3BO_3$ .  $Na_2SO_4$  yang terpisah kemudian dimasukkan kedalam *dryer* untuk mengurangi kadar airnya. Kemudian  $Na_2SO_4$  akan disimpan didalam silo sebagai produk samping. Larutan  $H_3BO_3$  yang terpisah pada *centrifuge* 1 kemudian masuk kedalam *cooling tank* untuk diturunkan suhunya sampai  $40^\circ C$  agar kristal  $H_3BO_3$  terbentuk. Kemudian, kristal  $H_3BO_3$  dan sisa larutan (*mother liquor*) dipisahkan lagi didalam *centrifuge* 2 dan dicuci dengan *wash water*.  $H_3BO_3$  yang terpisah dimasukkan dalam *dryer* untuk dikurangi kandungan airnya. Kemudian  $H_3BO_3$  disimpan didalam silo sebagai produk utama.

(US Patent No. 2,545,746)

## 2. Proses Ekstraksi Cair-cair

Proses ekstraksi cair-cair untuk industri asam borat dari *brine* sodium borat telah dioperasikan di Searles Lake, Trona, California, oleh North American Chemical Co. sejak tahun 1962 (Kirk-Orthmer, 1997).

Pada proses ini bahan baku yang digunakan berupa *brine* (air garam) yang mengandung borat. Borat yang terkandung dalam *brine* diekstraksi dengan larutan kerosen dari agen *chelating*, seperti 2 etil – 1,3 heksanediol. Borat yang terkandung dalam fase organik kemudian dikirim ke *stripper*. Di dalam *stripper*, larutan asam sulfat ditambahkan untuk memperoleh borat dari *chelate*. Hasil atas pada *stripper* mengandung kerosen dan agen *chelating*, yang dikembalikan ke ekstraktor untuk digunakan kembali. Sedangkan hasil bawah adalah asam borat dan senyawa sulfat. Senyawa sulfat yang terlarut dalam asam borat dihilangkan dengan pengolahan menggunakan karbon aktif, setelah itu asam borat dikristalisasi dari larutannya dalam evaporator dan dilanjutkan kristaliser untuk mendapatkan produk kristal asam borat.

#### 1.4.2. Alasan Pemilihan Proses

Adapun pertimbangan pemilihan proses pembuatan asam borat dapat dilihat pada Tabel 1.9.

Tabel 1.9. 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 pembantu	Tidak memerlukan bahan pembantu	Memerlukan bahan pembantu berupa kerosen dan karbon aktif
3.	Langkah proses	Dalam satu langkah proses, yaitu dengan mereaksikan boraks dengan asam sulfat sudah didapatkan asam borat	Diperlukan dua langkah proses untuk mendapatkan asam borat, yaitu melalui proses ekstraksi yang dilanjutkan dengan proses <i>stripping</i>

Dari Tabel 1.9 dapat disimpulkan bahwa proses asidifikasi lebih baik dari proses ekstraksi cair-cair

#### 1.4.3. Kegunaan Produk

Asam borat secara komersial digunakan pada berbagai macam industri, diantaranya :

a. Industri gelas

Asam borat banyak digunakan pada industri serat gelas. Asam borat akan mempercepat peleburan dan dapat mengikat bahan lain. Asam ini juga dapat memperbaiki warna dan meningkatkan ketahanan terhadap *shock thermal*.

b. Industri keramik

Asam borat digunakan dalam pelapisan barang-barang tembikar, barang pecah belah, ubin, porselen 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.

(Mc. Ketta and Cunningham, 1992)

Selain untuk keperluan di atas, asam borat juga digunakan dalam pembuatan lilin (*wax*) dan digunakan sebagai campuran pada tinta cetak. Asam borat juga digunakan dalam pembuatan barang-barang tahan api. Dalam industri tekstil, asam borat digunakan untuk meningkatkan kekuatan serat kulit dan daya tahan terhadap warna produk.

---

#### 1.4.4. Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku, Bahan Pembantu, dan Produk

##### 1. Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku

###### a. Boraks

Sifat Fisik (Perry *et al*, 2008)

- Rumus molekul :  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Berat molekul : 381,37 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.

###### b. Asam sulfat

Sifat Fisik (Perry *et al*, 2008)

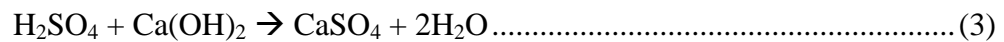
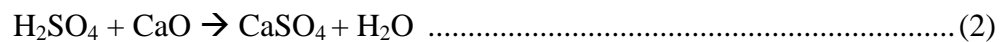
- Rumus molekul :  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Berat molekul : 98,08 g/mol
- Bentuk : cair
- Titik leleh : 10,94 °C
- Titik didih : 340 °C
- Densitas : 1,841 g/cm<sup>3</sup>
- *Specific gravity* : 1,834



---

Sifat Kimia (Kirk and Othmer, 1997)

- 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>.



## 2. Sifat Fisik dan Kimia Produk

### a. Asam borat

Sifat Fisik (Perry *et al*, 2008)

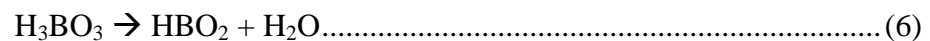
- Rumus molekul : H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>
- Berat molekul : 61,83 g/mol
- Titik leleh : 170,9 °C
- Titik didih : 300 °C
- Bentuk : kristal
- Warna : putih
- *Specific gravity* : 1,435
- Kelarutan asam borat dalam air ditunjukkan pada Tabel 1.10.

Tabel 1.10. Kelarutan asam borat dalam air (Kirk and Othmer, 1997)

No.	Suhu (K)	% Berat H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
1	0	2,52
2	10	3,49
3	20	4,72
4	30	6,23
5	40	8,08
6	50	10,27
7	60	12,97
8	70	15,75
9	80	19,10
10	90	23,27
11	100	27,53

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 kondisis-kondisi lingkungan higroskopis. Asam borat jika dipanaskan diatas 170 °C akan terdehidrasi.



b. Natrium sulfat

Sifat fisik (Perry *et al*, 2008)

- Rumus molekul : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Berat molekul : 142,04 g/mol
- Titik leleh : 884 °C
- Titik didih : 1429 °C
- Bentuk : kristal

- 
- Warna : putih
  - *Specific gravity* : 2,664

Sifat kimia (Kirk and Othmer, 1997)

- 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  $100^\circ\text{C}$ . Pada suhu yang lebih tinggi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sangat relatif.

c. Air

Sifat fisik (Perry *et al*, 1997)

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

#### 1.4.5. Proses Pembuatan yang dipilih

##### 1. Kondisi operasi

Kondisi operasi pada pembuatan asam borat berjalan pada suhu  $100^\circ\text{C}$  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, dan diperoleh konversi sebesar 99%.

(U.S. Patent No. 4,156,654).

Reaksi merupakan reaksi *irreversible*, dan berjalan pada kondisi eksotermis, sehingga dalam proses digunakan reaktor berpendingin untuk menjaga suhu reaksinya. Fase zat pereaksi adalah cair-cair.

Reaksi pembuatan asam borat berlangsung pada kondisi operasi reaktor sebagai berikut :

- a. Tekanan = 1 atm

- b. Temperatur = 100 °C
- c. Konversi = 99%
- d. Fase = cair-cair
- e. Sifat reaksi = eksotermis yang berlangsung searah ke arah produk
- f. Perbandingan mol boraks : mol asam sulfat adalah 1 : 0,975
- g. Reaktor = Batch

(US Patent No. 4,156,654)

## 2. Mekanisme reaksi

Mekanisme reaksi yang terjadi untuk pembentukan asam borat dari boraks dan asam sulfat adalah sebagai berikut :

Reaksi pembentukan asam borat :



## 3. Tinjauan termodinamika

Tinjauan secara termodinamika dilakukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis / eksotermis) dan arah reaksi (*reversible* / *irreversible*). Menurut Patent US No. 4,156,654 reaksi asidifikasi antara boraks dan asam sulfat merupakan reaksi eksotermis. Untuk menentukan besarnya panas reaksi dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada tekanan 1 atm dan suhu 298 K. Pada pembentukan asam borat terjadi reaksi sebagai berikut :

Reaksi pembentukan asam borat :



Harga  $\Delta H_f^\circ$  masing-masing komponen pada suhu 298 K (25°C) dapat dilihat pada Tabel 1.11.

Tabel 1.11. Harga  $\Delta H_f^\circ$  masing-masing komponen

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-6288,60
$\text{H}_2\text{SO}_4$	-813,99
$\text{H}_3\text{BO}_3$	-1072,32
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	-1389,51
$\text{H}_2\text{O}$	-285,83

(Wagman *et al.*, 1982)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_R^\circ &= \Delta H_{f, \text{produk}}^\circ - \Delta H_{f, \text{reaktan}}^\circ \\
 &= (4 \times \Delta H_{f, \text{H}_3\text{BO}_3}^\circ + \Delta H_{f, \text{Na}_2\text{SO}_4}^\circ + 5 \times \Delta H_{f, \text{H}_2\text{O}}^\circ) \\
 &\quad - (\Delta H_{f, \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}}^\circ + \Delta H_{f, \text{H}_2\text{SO}_4}^\circ) \\
 &= [4 \times (-1072,32) + (-1389,51) + 5 \times (-285,83)] \\
 &\quad - [(-6288,6) + (-813,99)] \text{ kJ / mol} \\
 &= -5,35 \text{ kJ / mol} \\
 &= -5350 \text{ J / mol}
 \end{aligned}$$

Nilai negatif menunjukkan bahwa reaksi pembentukan asam borat bersifat eksotermis.

Sedangkan untuk harga  $\Delta G_f^\circ$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 1.12.

Tabel 1.12. Harga  $\Delta G_f^\circ$  masing-masing komponen

Komponen	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-5516,00
$\text{H}_2\text{SO}_4$	-690,00
$\text{H}_3\text{BO}_3$	-968,75
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	-1268,36
$\text{H}_2\text{O}$	-237,13

(Wagman *et al.*, 1982)

- Konstanta kesetimbangan (K) pada keadaan standar

$$\Delta G^{\circ} = -R T \ln K$$

Dimana :

$$\Delta G^{\circ} f \quad = \text{energi Gibbs pada keadaan standar (T = 298 K dan P = 1 atm)} \\ (\text{J/mol})$$

$$\Delta H^{\circ} R \quad = \text{panas reaksi (J/mol)}$$

$$K \quad = \text{konstanta kesetimbangan}$$

$$T \quad = \text{suhu standar}$$

$$R \quad = \text{tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)}$$

Sehingga  $\Delta G^{\circ} f$  dari reaksi tersebut adalah :

$$\Delta G^{\circ} f = \Delta G^{\circ} f \text{ produk} - \Delta G^{\circ} f \text{ reaktan}$$

$$\Delta G^{\circ} f = [(4 \times \Delta G^{\circ} f \text{ H}_3\text{BO}_3) + \Delta G^{\circ} f \text{ Na}_2\text{SO}_4 + (5 \times \Delta G^{\circ} f \text{ H}_2\text{O})] \\ - [\Delta G^{\circ} f \text{ Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \Delta G^{\circ} f \text{ H}_2\text{SO}_4]$$

$$\Delta G^{\circ} f = [(4 \times (-968,75) + (-1268,36) + (5 \times (-237,13))] \\ - [-5516 + (-690)]$$

$$\Delta G^{\circ} f = -123,01 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G^{\circ} f = -123010 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G^{\circ} f = -R T \ln K$$

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta G^{\circ} f}{R T}$$

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

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

$$K_{298} = 3,6514 \times 10^{21}$$

- Konstanta kesetimbangan (K) pada T = 100°C = 373 K

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

Dimana :

- $K_{298}$  = konstanta kesetimbangan pada 298 K  
 $K_{373}$  = konstanta kesetimbangan pada suhu operasi  
 $T_{\text{standar}}$  = suhu standar (298 K)  
 $T_{\text{operasi}}$  = suhu operasi (373 K)  
 $R$  = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)  
 $\Delta H_r^\circ$  = panas reaksi standar pada 298 K

Maka :

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

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

$$\ln K_{373} = 49,2152$$

$$K_{373} = 2,3653 \times 10^{21}$$

Dari perhitungan konstanta kesetimbangan pada suhu reaksi, didapatkan konstanta kesetimbangan reaksi yang relatif besar, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi berlangsung searah yaitu ke kanan (*irreversible*) (Smith and Van Ness, 1975).

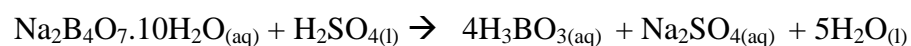
#### 4. Tinjauan Kinetika Reaksi

Dari segi kinetika reaksi dapat diperoleh beberapa langkah berikut,

Diketahui :  $X_A = 99\%$

$$t^? = 60 \text{ menit}$$

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 :

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

$$C_B = C_{BO} - C_{AO}X_A$$

- Boraks = 1180 kg/m<sup>3</sup>

$$BM = 381,37$$

$$\begin{aligned} C_{AO} = 1180 \text{ kg/m}^3 &= \frac{1180 \text{ kg/m}^3}{381,37 \text{ g/mol}} = \frac{1180000 \text{ g/m}^3}{381,37 \text{ g/mol}} = 3094,108 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \\ &= 3,0941 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

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

- Asam sulfat = 98%

$$BM = 98,08$$

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

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

Persamaan kecepatan reaksi :

- $-(ra) = k C_A^2 C_B$

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

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

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



$$\frac{1}{9,9918 - 3,0941} \left( \frac{1}{0,03094} - \frac{1}{3,0941} \right) + \frac{1}{(9,9918 - 3,0941)^2} \ln \frac{9,9918 \times 0,030941}{3,0941 \times 6,9286} = 60k$$

$$k = 0,0773$$

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

$$\blacksquare -(ra) = k C_A C_B^2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$k = 8,7043$$

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

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

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

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

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

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

$$k = 9,0121 \times 10^{-3}$$

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

Sehingga persamaan kecepatan reaksi yang digunakan yaitu :

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

Keteramgan :

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

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

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

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

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

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

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