

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu sektor industri yang sedang di kembangkan di Indonesia adalah industri kimia, karena meningkatnya kebutuhan akan penunjang dalam industri di dalam negeri menjadi salah satu alasannya. Untuk itu perlu dibangun pabrik-pabrik baru yang tidak hanya memenuhi kebutuhan dalam negeri tetapi juga berorientasi ekspor. Salah satunya adalah penghasil natrium tiosulfat pentahidrat atau biasa disebut dengan hipo. Kegunaan terbesar natrium tiosulfat pentahidrat adalah dalam bidang fotografi untuk melarutkan garam perak yang tidak tereduksi selama pencucian film dan dalam industri tekstil sebagai antiklorinator (Chotani *et al.*, 2012). Selain digunakan dalam bidang fotografi, natrium tiosulfat pentahidrat juga banyak digunakan dalam industri farmasi, industri penyamakan kulit, dll. Di bidang industri farmasi sodium tiosulfat digunakan 15% dari impor pertahunnya (Smith, 2016).

Digunakan dalam fotografi, kemurnian natrium tiosulfat pentahidrat umumnya 99%, yang merupakan kristal tidak berwarna dengan bentuk prisma memanjang dan termasuk dalam sistem monoklinik. Kristal tiosulfat stabil di bawah kondisi sekitar dan meleleh pada 483°C, sedangkan pada 105°C mereka mengalami dehidrasi total. Pada 223°C, bentuk anhidrat akan terurai (Onainor, 2019).

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pendirian pabrik natrium tiosulfat pentahidrat dengan bahan baku natrium sulfit dan belerang dapat memberikan solusi bagi industri kimia di Indonesia. *Sodium Sulfit* dan sulfur dipilih menjadi bahan baku dengan beberapa pertimbangan diantaranya mudah didapatkan dan harganya pun sangat murah.

Karena selama ini Indonesia masih mengimpor beberapa bahan kimia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, maka dengan mendirikan pabrik *Sodium Thiosulfate Pentahydrat* dapat mengurangi devisa negara untuk mengimpor bahan kimia tersebut. Dan pabrik *Sodium Thiosulfate Pentahydrat*

sampai saat ini belum ada di Indonesia sehingga daerah pemasaran meliputi seluruh Indonesia dan ekspor.

Melihat prospek yang cukup bagus, maka ada rencana untuk membangun pabrik *Sodium Thiosulfate Pentahydrate*, barang yang sedang dipertimbangkan untuk diproduksi di Indonesia, apalagi dengan persaingan dunia industri yang semakin ketat. Jika kita bisa memproduksi natrium tiosulfat pentahidrat di dalam negeri, tentu kita akan mengurangi ketergantungan kita pada produk luar negeri, menghemat biaya devisa, meningkatkan ekspor, dan meningkatkan tingkat teknologi kita.

Maka berdasarkan pertimbangan tersebut, pabrik natrium tiosulfat pentahidrat dengan bahan baku natrium sulfit dan belerang akan memiliki prospek yang baik.

1.1.1 Alasan Pendirian Pabrik

Sodium Thiosulfate Pentahydrate atau sering dikenal *hypo* merupakan kristal putih, tidak berbau, dan tidak beracun. Secara komersil *Sodium Thiosulfate Pentahydrate* di Indonesia digunakan sebagai bahan baku beberapa industri. Penggunaan Natrium Thiosulfat Pentahidrat terbesar pada industri fotografi (90%) digunakan untuk melarutkan garam perak yang tidak tereduksi pada pencucian film. Sisanya digunakan pada industri kertas, tekstil, dan farmasi. Selama ini Indonesia masih mengimpor Sodium Thiosulfat Pentahidrat dari beberapa negara dan pada bidang fotografi saat ini merupakan bidang yang berkembang pesat dan dikenal oleh banyak orang. Dari tahun ke tahun, bidang fotografi semakin berkembang dan berkembang. Oleh karena itu, permintaan natrium tiosulfat pentahidrat juga akan meningkat. Hal ini merupakan kesempatan besar untuk dilakukan pendirian pabrik untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan bahkan luar negeri.

Ditinjau dari harga bahan baku pembuatan dan harga produk Natrium Thiosulfat Pentahidrat, ternyata harga produk Natrium Thiosulfat Pentahidrat lebih mahal dibandingkan bahan bakunya.

Berikut harga bahan baku dan harga produk Sodium Thiosulfat Pentahidrat.

Tabel 1. 1 Harga bahan baku dan produk

Bahan	Harga (US\$/kg)
Bahan Baku	
1. Na ₂ SO ₃	0,29
2. S	0,15
Produk	
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	1,50

(Alibaba, 2021)

Dari beberapa pertimbangan tersebut, maka pendirian pabrik Sodium Thiosulfat Pentahidrat di Indonesia layak didirikan dengan alasan sebagai berikut:

- a. Dapat memenuhi kebutuhan Sodium Thiosulfat Pentahidrat di dalam negeri bahkan luar negeri, artinya dapat mengurangi nilai impor sekaligus dapat menambah nilai ekspor.
- b. Membuka lapangan pekerjaan sehingga mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Sodium Thiosulfat Pentahidrat

Sodium Thiosulfate atau Na₂S₂O₃ merupakan jenis thiosulfat yang paling dikenal dan banyak digunakan selain Ammonium Sulfat. Thiosulfat ini pertama kali dibuat oleh Chaussier pada tahun 1799 dari reaksi natrium sulfat (Na₂SO₃) dan arang. Pada tahun 1813, Gay Lussac menamai zat sodium hyposulphite dan meningkatnya menjadi hypo. Nama baru natrium tiosulfat diciptakan oleh Van Wagner pada tahun 1817 untuk membedakannya dari garam belerang lainnya, terutama ditionit (S₂O₄²⁻) yang juga dikenal sebagai hiposulfit atau hydrosulfit.

Dalam dunia komersial dikenal 2 jenis tiosulfat, yaitu natrium tiosulfat anhidrat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dan natrium tiosulfat pentahidrat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) yang dikenal dengan istilah “Hypo”. Penggunaan terbesar natrium tiosulfat adalah dalam fotografi untuk melarutkan garam perak yang tidak tereduksi selama pencucian film dan dalam industri tekstil sebagai antiklorinator. (Chotani *et al.*, 2012). Selain digunakan dalam bidang fotografi, natrium tiosulfat pentahidrat juga banyak digunakan dalam industri farmasi, industri penyamakan kulit, dll. Di bidang industri farmasi sodium thiosulfat digunakan 15% dari impor pertahunnya (Smith, 2016).

Digunakan dalam fotografi, kemurnian natrium tiosulfat pentahidrat umumnya 99%, yang merupakan kristal tidak berwarna dengan bentuk prisma memanjang dan termasuk dalam sistem monoklinik. Kristal tiosulfat stabil di bawah kondisi sekitar dan meleleh pada 483°C , sedangkan pada 105°C mereka mengalami dehidrasi total. Pada 223°C , bentuk anhidrat akan terurai (Onainor, 2019).

1.2.2 Kegunaan Sodium Thiosulfate Pentahydrate

Natrium Thiosulfat Pentahidrat paling sering digunakan dalam fotografi. Dalam bidang fotografi, natrium tiosulfat pentahidrat digunakan sebagai bahan pencuci karena mudah menghancurkan perak bromida tereduksi pada lapisan film untuk membentuk campuran larutan kompleks perak tiosulfat. Permintaan bahan fotografi ini sendiri telah mencapai 90% dari permintaan natrium tiosulfat pentahidrat di bidang lain.

Bidang fotografi saat ini merupakan bidang yang berkembang pesat dan dikenal oleh banyak orang. Dari tahun ke tahun, bidang fotografi semakin berkembang dan berkembang. Akibatnya, kebutuhan natrium tiosulfat dan pentahidrat itu sendiri juga akan meningkat. Selain fotografi, natrium tiosulfat pentahidrat juga digunakan dalam industri penyamakan seperti produksi klorin tawas diklorat, di industri

tekstil digunakan untuk mordant dalam pewarnaan dan pencetakan tekstil, industri kertas digunakan untuk memutihkannya bubuk kertas, industri farmasi digunakan untuk produksi lotion pengobatan panu dan bahan injeksi untuk pengobatan keracunan sianida, proses ekstraksi emas, pemutih wol dan gading. (US Patent 9,345,724)

1.2.3 Proses Pemilihan Sodium Thiosulfate Pentahydrate

Sodium tiosulfat pentahidrat dapat diproduksi secara komersial dalam beberapa cara yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Reaksi Sodium Sulfit dengan sulphur

Larutan natrium sulfit bereaksi dengan belerang dengan perbandingan mol 1:4 dalam reaktor aliran berpengaduk tanpa menggunakan katalis yang beroperasi pada suhu 80°C dan tekanan 1 atm dengan waktu reaksi kurang lebih 2 jam, kemudian terbentuk natrium tiosulfat. Larutan natrium tiosulfat yang terbentuk kemudian disaring, dipisahkan dalam evaporator, dikristalkan lalu dikeringkan. Pada proses ini, rendemen/kemurnian produk yang diperoleh sekitar 99%. (US Patent 1,219,819)

Reaksi :

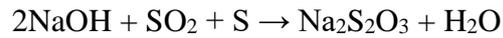


Harga bahan baku sulfur relatif murah serta merupakan cara yang paling umum dipakai dalam industri (Faith & Keyes, 1957).

2. Dari hasil samping pembuatan *Sulfurydes*

Produk sampingan dari produksi pewarna belerang adalah belerang dan soda kaustik. Kedua bahan tersebut larut dalam air. Campuran dimasukkan ke dalam bejana reaksi, di mana gas SO₂ menggelembung melalui campuran. Campuran reaksi dipisahkan dengan penyaringan dan filtrat dimurnikan dengan karbon aktif, dilanjutkan dengan pemekatan dan terakhir kristalisasi. Kemurnian hasil hanya 96% (Faith and Keyes, 1957).

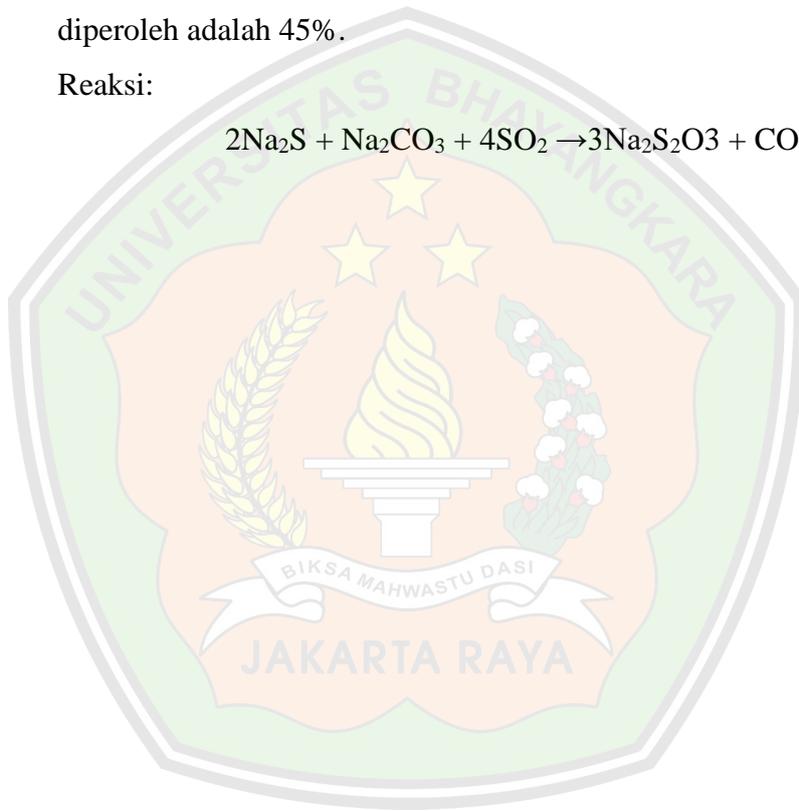
Reaksi :



3. Dari hasil samping produksi *Sodium Sulfide*.

Hasil samping dari pabrik sodium sulfida adalah cairan yang mengandung Na_2S 8%,. Hasil buangan ini direaksikan dengan gas SO_2 dalam reaktor gelembung menghasilkan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang kemudian difiltrasi, dipekatan dalam evaporator dan dikristalkan. Kekurangan proses ini adalah harga bahan baku Na_2S relatif mahal. Yield yang diperoleh adalah 45%.

Reaksi:



Tabel 1. 2 Perbandingan proses pembuatan Sodium Thiosulfate Pentahydrate

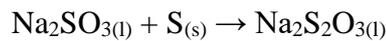
Proses	Bahan Baku	Reaksi	Jenis reaktor	Harga Bahan Baku	Katalis	Kondisi Operasi	Kemurnian	Kelebihan	Kekurangan
Pembuatan Sodium Thiosulfate dengan Mereaksikan Sodium Sulfit dan Sulfur	<ul style="list-style-type: none"> • Sodium Sulfide • Sulfur 	$\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{aq}) + \text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$	RATB	Rp. 620.529	-	T = 80 °C P = 1 atm	99 %	Prosesnya sederhana Bahan baku kuruh dan mudah didapatkan	Instalasi alat sederhana
Pembuatan Sodium Thiosulfat Dari Hasil Samping Produksi Sulfurydes	<ul style="list-style-type: none"> • Sodium Hidrokside • Sulfur Dioksida • Sulfur 	$2\text{NaOH} + \text{SO}_2 + \text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$	Reaktor Gelembung	Rp.312.146,25	-	T = 80 °C P = 1 atm	96 %	Prosesnya cukup sederhana	Bahan bakunya berasal dari pabrik lain, sehingga sangat tergantung pada pabrik lain.
Pembuatan Sodium Thiosulfat Dari Hasil Samping Produksi Sodium Sulfide	<ul style="list-style-type: none"> • Sodium Sulfide • Sodium Carbonate • Sulfur Dioksida 	$2\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + 4\text{SO}_2 \rightarrow 3 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$	Reaktor Gelembung	Rp.1.042.315,8	-	T = 80 °C P = 1 atm	45 %	Prosesnya cukup sederhana	Bahan bakunya berasal dari pabrik lain, sehingga sangat tergantung pada pabrik lain.

Berdasarkan pertimbangan pada Tabel perbandingan proses pembuatan Sodium Thiosulfat Pentahidrat, Maka dipilih proses pembuatan Sodium Thiosulfat Pentahidrat dengan mereaksikan *Sodium Sulfit* dengan *Sulphur*.

1.2.4 Konsep Reaksi

1.2.4.1 Dasar Reaksi

Sodium Thiosulfate Pentahydrate terbentuk dari reaksi *Sodium Sulfit* dan belerang. Tiosulfat yang terbentuk dalam larutan kemudian dapat langsung disaring untuk menghilangkan belerang yang tidak digunakan. Larutan yang mengandung sedikit sulfit ini dapat dikristalkan untuk menghasilkan kristal natrium tiosulfat. (US Patent 2.763.531)



Variabel yang penting diperlukan agar hasil Natrium Thiosulfat Pentahidrat yang maksimal adalah perbandingan *Sodium Sulfit* dengan *Sulphur* yang berlebih. Apabila komposisi *Sulphur* lebih banyak dari *Sodium Sulfit* maka reaksi dapat berjalan dengan cepat. (US Patent 1,219,819)

1.2.4.2 Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada Reaktor Alir Tangki Berpengaduk yang digunakan dalam prarancangan pabrik *Sodium Thiosulfate Pentahydrate* ini adalah sebagai berikut :

Temperatur	: 80°C
Tekanan	: 1 atm
Sifat reaksi	: Eksotermis
Fase	: Cair-Padat
Rasio Mol (H ₂ O:Na ₂ SO ₃ :S:)	: 22 : 1 : 4

1.2.4.3 Tinjauan Termodinamika

Untuk menentukan sifat reaksi apakah berjalan secara eksotermis atau endotermis, maka pada pembuktian dengan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298°K dari reaktan dan produk.

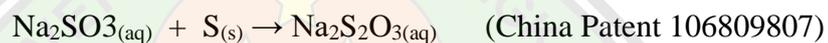
Diketahui data (ΔH°_f) pada suhu 25°C dan Tekanan 1 atm sebagai berikut:

Tabel 1. 3 Data (ΔH°_f) pada suhu 25°C

Komponen	ΔH°_f (Kj/mol)
Na ₂ SO ₃	-1115,87
S	0
Na ₂ S ₂ O ₃	-1132,40

(Lange's Handbook)

Reaksi Pada Reaktor :



$$\Delta H^\circ_f \text{ reaksi} = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$= -1132,40 - (-1115,87 + 0)$$

$$= - 16,53 \text{ Kj/mol}$$

$$= - 3,9507648 \text{ kkal/mol}$$

Dari perhitungan ΔH°_f reaksi diatas bernilai negatif, maka dapat disimpulkan bahwa reaksi termasuk eksotermis, sehingga reaksi melepas panas.

Untuk mengetahui apakah reaksi bersifat bolak balik (reversible) atau searah (irreversible) dapat ditentukan dengan menghitung Energi Gibbs (ΔG)

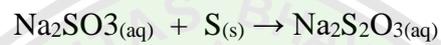
Diketahui data (ΔG°_f) pada suhu 25°C dan Tekanan 1 atm sebagai berikut:

Tabel 1. 4 Data ($\Delta G^{\circ}f$) pada suhu 25°C

Komponen	$\Delta G^{\circ}f$ (Kj/mol)
Na ₂ SO ₃	-1010,44
S	0
Na ₂ S ₂ O ₃	-1046,0

(Lange's Handbook)

Reaksi Pada Reaktor



(China Patent 106809807)

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

$$= -1046,0 - (-1010,4 + 0)$$

$$= -35,6 \text{ Kj/mol}$$

$$= -8,508604 \text{ Kkal/mol}$$

$$\Delta G_{353} = -R.T \ln K_{353}$$

$$= - (1,987 \times 10^{-3} \text{ kkal/mol.K})(353\text{K})(13,3301)$$

$$= -9,349858016 \text{ kkal/mol}$$

Dari perhitungan diatas, ΔG° dan ΔG_{353} bernilai negatif, maka dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan *Sodium thiosulfate pentahydrat* pasti terjadi dan bersifat spontan.

Perhitungan harga konstanta kesetimbangan reaksi dapat ditinjau dari rumus sebagai berikut:

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

Atau

$$\ln K = \frac{\Delta G}{-RT}$$

Dimana:

ΔG° = Energi Bebas Gibbs Standar di reaktor (-8,508604 Kkal/mol)

R = Tetapan Gas Ideal ($1,987 \times 10^{-3}$ kkal/mol.K)

T = Suhu Pada 298 °K (25 °C)

T1 = Suhu Pada 353 °K (80 °C)

K_{298} = Konstanta Kesetimbangan pada 298 K (25°C)

K_{353} = Konstanta Kesetimbangan Di Reaktor Pada 353°K (80 °C)

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan pada $T_{\text{referensi}}$ 298K adalah sebagai berikut:

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

$$\ln K_{298} = \frac{-8,508604 \text{ kkal/mol}}{-\left(1,987 \times \frac{10^{-3} \text{ kkal}}{\text{mol}} \cdot \text{K}\right) \times (298 \text{ k})}$$

$$\ln K_{298} = 14,3695835$$

$$K_{298} = 1740326,845 \text{ atau}$$

$$K_{298} = 1,740326845 \times 10^6$$

Reaksi pada Reaktor dijalankan pada suhu 80°C (353°K), maka konstanta kesetimbangan pada suhu 80°C dapat dihitung menggunakan persamaan **Van't Hoff** sebagai berikut:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$$

(Levenspiel, 1999)

$$\int_{K_1}^{K_2} d \ln K = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\ln K_2 - \ln K_1 = \frac{\Delta H^\circ}{R} \times \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

$$\ln K_{353} - \ln K_{298} = \frac{\Delta H^\circ}{R} \times \left[\frac{1}{T_{298}} - \frac{1}{T_{353}} \right]$$

$$\ln K_{353} = \frac{\Delta H^\circ}{R} \times \left[\frac{1}{T_{298}} - \frac{1}{T_{353}} \right] + \ln K_{298}$$

$$= \frac{-3,9507648 \frac{\text{kkal}}{\text{mol}}}{1,987 \times 10^{-3} \frac{\text{kkal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \times \left[\frac{1}{298} - \frac{1}{353} \right] + 14,3695835$$

$$= 13,33001041$$

$$K_{353} = 615389,3341$$

$$K_{353} = 6,15389334 \times 10^5$$

$$K \gg 1$$

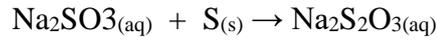
Harga K pada suhu 353°K sebesar $6,153893346 \times 10^5$ menunjukkan bahwa reaksi pembentukan *Sodium Thiosulfate Pentahydrate* bersifat searah (Irreversible). Reaksi bersifat irreversible berarti reaksi yang berlangsung dari reaktan ke arah produk dan produk yang telah bereaksi tidak dapat bereaksi kembali menjadi zat asalnya.

1.2.4.4 Tinjauan Kinetika Reaksi

Data yang didapat dari literatur/sumber sebagai berikut:

- Kondisi Operasi = 80°C (H.E Watson & M. Raja)
- Waktu Reaksi = 1 jam (H.E Watson & M. Raja)
- Rasio Mol Na₂SO₃:S:H₂O = 1:4:22 (H.E Watson & M. Raja)
- Reaktor = CSTR (US Patent 1,219,819)
- Konversi = 99% (Faith & Keyes)

Reaksi Pada Reaktor



Dalam hal kinetika, persamaan reaksi dapat ditulis sebagai berikut:



Dalam jurnal “*Reaction Between Sodium Sulphite And Sulphur*” reaksi ini reaksi heterogen orde 1 dengan rasio mol $\text{Na}_2\text{SO}_3 : \text{S}$ adalah 1:4 dan natrium sulfit sebagai limiting reactan, reaksi berlangsung selama 1 jam.

- **Persamaan kinetika**

$$-r_A = k \cdot C_A$$

Dimana :

-r_A = Kecepatan laju reaksi (mol/liter.menit)

k = Konstanta laju reaksi, untuk reaksi berorde 1 bersatuan (/det) (Arrhenius 1889)

C_A = Konsentrasi (mol/liter)

- **Neraca Mol terhadap A**

$$R_{in} - R_{out} + R_{gen} = R_{acc}$$

$$V_A \cdot C_{AO} - V_A \cdot C_A + (-r_A \cdot V) = \frac{d(C_A \cdot v)}{dt}$$

- **Stoikiometri**

Komponen	Mula-mula	Reaksi	Sisa
A	N _{AO}	-N _{AO} ·X _A	N _{AO} ·(1-X _A)
B	N _{BO}	-N _{AO} ·X _A	N _{BO} -N _{AO} ·X _A
C	-	+N _{AO} ·X _A	+N _{AO} ·X _A

$$C_A = \frac{N_A}{V_O} = \frac{N_{AO} \cdot (1 - X_A)}{V_O} = C_{AO} \cdot (1 - X_A)$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} -r_A &= k \cdot C_A \\ &= k \cdot C_{AO} (1-X_A) \end{aligned}$$

- **Kombinasi**

Jika steady state maka acc = 0

$$V_0 \cdot C_{AO} - V_a \cdot C_A = (-r_A \cdot V)$$

$$V_0 \cdot C_{AO} - V_a \cdot C_{AO} \cdot (1-X_A) = k \cdot C_{AO} (1-X_A) \cdot V$$

$$V_0 \cdot C_{AO} - V_a \cdot C_{AO} + V_a \cdot C_{AO} \cdot (1-X_A) = k \cdot C_{AO} (1-X_A) \cdot V$$

$$V_0 \cdot C_{AO} \cdot (1-X_A) = k \cdot C_{AO} (1-X_A) \cdot V$$

$$\frac{V}{V_0} \cdot C_{AO} \cdot X_A = k \cdot C_{AO} (1-X_A)$$

$$t = \frac{X_A}{k \cdot (1-X_A)}$$

Berdasarkan Journal The reaction Between Sodium Sulphite and sulphur reaksi antara ke duanya berlangsung selama 1 jam.

Maka,

$$t = \frac{0,99}{k \cdot (1-0,99)}$$

$$k = \frac{0,99}{1 \text{ jam} \cdot (1 - 0,99)}$$

$$k = 99/\text{jam}$$

- **Menghitungkan nilai Vo dan CA**

Massa Masuk Reaktor

Komponen	Massa (Kg/jam)	Kmol (Kmol/jam)	pi (Kg/m3)	Xi	Xi/pi
Na2SO3	2590,07636	20,54963789	2635	0,193257277	7,33424E-05
S	2630,35	82,19855156	2046	0,196262547	9,5925E-05
H2O	8149,622943	452,7568301	995,65	0,608080117	0,000610737
Na2S2O3	32,16612214	0,203441415	1810,929772	0,002400059	1,32532E-06
Σ	13402,22	555,708461	7487,579772	1	0,00078133

$$\begin{aligned} \text{Densitas Campuran} &= 1279,869663 \text{ Kg/m}^3 \\ - \quad V_0 &= \frac{\text{massa total masuk Reaktor}}{\text{densitas campuran}} \\ V_0 &= \frac{13402,22 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{1279,869663 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \end{aligned}$$

$$V_0 = 10,47154993 \text{ m}^3/\text{Jam}$$

$$\text{Maka, } F_{A0} = 555,708461 \text{ Kmol/jam}$$

$$F_{A0} = C_{A0} \times V_0$$

$$\begin{aligned} - \quad C_{A0} &= \frac{(F_{A0})}{(v_0)} \\ &= \frac{555,708461 \text{ kmol/jam}}{10,47154993 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 53,06840582 \text{ Kmol/m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga, C_A

$$\begin{aligned} C_A &= C_{A0} \times (1 - X_A) \\ &= 53,06840582 \times (1 - 0,99) \\ &= 0,530684058 \text{ Kmol/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } -r_A &= k \cdot C_A \\ -r_A &= 99/\text{jam} \times 0,530684058 \text{ Kmol/m}^3 \\ &= 52,53772176 \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{jam} \\ &= 0,052537722 \text{ kmol/liter} \cdot \text{jam} \end{aligned}$$