
BAB III

DESKRIPSI PROSES

3.1 Konsep Proses

3.1.1 Dasar Reaksi

Dasar reaksi nitration pada pembuatan nitroselulosa dengan bahan baku selulosa dan asam nitrat menggunakan katalis asam sulfat adalah sebagai berikut.



3.1.2 Kondisi Operasi

Pembuatan nitroselulosa dilakukan dengan proses nitration selulosa, dalam hal ini yaitu selulosa padat berbentuk serbuk. Reaksi nitration dalam proses pembuatan nitroselulosa menggunakan selulosa dan asam nitrat bersifat eksotermik, *irreversible*, dan isothermal. Temperatur operasi pembentukan nitroselulosa yaitu 40°C dengan tekanan 1 atm.

3.1.3 Tinjauan Kinetika

3.1.3.1 Menentukan waktu tinggal di reaktor

Berdasarkan *United States Patent Office* No. 2950278, untuk mengubah selulosa dan asam nitrat dengan katalis asam sulfat menjadi nitroselulosa membutuhkan waktu tinggal sekitar dua puluh (20) menit.

3.1.3.2 Menentukan Konstanta Kecepatan Reaksi

Konstanta kecepatan reaksi dipengaruhi oleh tinggi rendahnya temperatur reaksi. Kenaikan temperatur suatu reaksi saat proses akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi tersebut. Hal ini dapat ditinjau dari persamaan Arrhenius berikut.

$$k = A \cdot e^{-E/RT}$$

Dengan k adalah konstanta/tetapan kecepatan reaksi, A adalah faktor frekuensi tumbukan, E adalah energi aktivasi, R adalah konstanta/tetapan gas ideal, dan T adalah temperatur dengan satuan Kelvin. Dalam reaksi ini pun menggunakan katalis yang berfungsi untuk menekan energi aktivasi sehingga reaktan dapat lebih mudah bergerak dan mengakibatkan reaksi menjadi lebih cepat. Adapun data hasil eksperimen adalah sebagai berikut (Ronggur *et al.*, 2017).

Tabel 10. Data Hasil Eksperimen

Komponen Persamaan	Simbol	Data Hasil Eksperimen
Faktor frekuensi tumbukan	A	1,421 x 1024
Energi aktivasi	E	33465,034 J/mol
Konstanta/tetapan	R	8,314 J/mol.K
Temperatur	T	313,2 K
Reaksi orde		2

Berdasarkan data hasil eksperimen tersebut diperoleh data konstanta laju reaksi (k) sebagai berikut.

$$k = 1,421 \times 1024 e^{-33465,034/RT}$$

$$k = 0,0038$$

3.1.4 Tinjauan Termodinamika

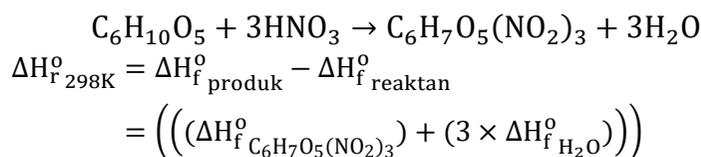
Sifat dan arah suatu reaksi dalam proses ini dapat diketahui dengan melakukan tinjauan secara termodinamika. Sifat reaksi dapat diketahui atau ditentukan apakah bersifat eksotermik ataupun endotermik melalui perhitungan dengan menggunakan panas pembentukan standar atau biasa disebut ΔH_f° pada kondisi 1 atm dari reaktan dan produk. Berikut disajikan tabel data entalpi dan energi Gibbs.

Tabel 11. Data Entalpi dan Gibbs Pembentukan Komponen

Komponen	ΔG_f° (Kkal/mol)	ΔH_f° (Kkal/mol)
$(C_6H_{10}O_5)_n$	-35,77	-229,14
HNO ₃	-17,93	-32,42
H ₂ SO ₄	-156,8	-176,4
[C ₆ H ₇ O ₅ (NO ₂) ₃]	26,26	-199,35
H ₂ O	-54,86	-58,03

Sumber: (Jessup & Prosen, 1950; Yaws, 1999)

Berikut merupakan reaksi yang terjadi pada proses pembentukan nitroselulosa.



$$\begin{aligned}
 & - \left((\Delta H_f^\circ \text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) + (3 \times \Delta H_f^\circ \text{HNO}_3) \right) \\
 = & \left((-199,35) + (3 \times (-58,03)) \right) \\
 & - \left((-229,14) + (3 \times (-32,42)) \right) \\
 = & (-373,44) - (-326,4) \\
 = & -47,04 \text{ Kkal/mol atau } -196 \text{ kJ/mol.}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang ada, nilai $\Delta H_f^\circ_{298\text{K}}$ diperoleh sebesar $-47,04$ Kkal/mol. Oleh karena $\Delta H_f^\circ_{298\text{K}}$ yang diperoleh bernilai negatif maka reaksi dalam proses pembuatan nitroselulosa dengan selulosa dan asam nitrat adalah bersifat eksotermik.

Sedangkan nilai konstanta kesetimbangan reaksi (K) dapat diperoleh apabila nilai $\Delta G_f^\circ_{298\text{K}}$ diketahui. Berikut merupakan persamaan penyelesaiannya.

$$\Delta G_f^\circ = -RT \cdot \ln K$$

Dengan keterangan,

- $\Delta G_f^\circ_{298\text{K}}$: Energi Gibbs pada keadaan standar T=298k dan P=1 atm. (Kkal/mol)
- ΔH_f° : Panas reaksi (Kkal/mol)
- K : Konstanta kesetimbangan
- T : Temperatur standar yaitu 298K
- R : Tetapan gas ideal yaitu 1,987 (Kkal/mol.K)

Sehingga nilai $\Delta G_r^\circ_{298\text{K}}$ pada reaksi tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \Delta G_f^\circ_{298\text{K}} & = \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\
 & = \left((\Delta G_f^\circ \text{C}_6\text{H}_7\text{O}_5(\text{NO}_2)_3) + (3 \times \Delta G_f^\circ \text{H}_2\text{O}) \right) \\
 & \quad - \left((\Delta G_f^\circ \text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) + (3 \times \Delta G_f^\circ \text{HNO}_3) \right) \\
 & = \left((26,26) + (3 \times (-54,86)) \right) \\
 & \quad - \left((-35,77) + (3 \times (-17,93)) \right) \\
 & = (-138,32) - (-89,56) \\
 & = -48,76 \text{ Kkal/mol atau } -203,17 \text{ kJ/mol.}
 \end{aligned}$$

$$\ln K_{298k} = -\frac{\Delta G_f^{\circ}}{RT} = -\frac{-48,76(\text{Kkal/mol})}{1,987 (\text{Kkal/mol.K}) \cdot 298\text{K}} = 0,082$$

$$K = 1,085$$

Berdasarkan data yang ada, maka diperoleh nilai konstanta kesetimbangan pada kondisi temperatur 298K dan tekanan 1 atm yaitu sebesar 1,085. Dengan menggunakan nilai konstanta kesetimbangan ini, dapat diperoleh nilai konstanta kesetimbangan pada kondisi temperatur 313,2K dan tekanan 1 atm adalah sebagai berikut.

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H_f^{\circ}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{1,085} = \frac{-(-47,04)(\text{Kkal/mol})}{1,987 (\text{Kkal/mol.K})} \left(\frac{1}{313,2} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{1,085} = -0,0039$$

$$\frac{K_2}{1,085} = e^{-0,0039}$$

$$K_2 = 1,08$$

Berdasarkan data yang ada, maka diperoleh nilai K pada kondisi 313,2K dengan tekanan 1 atm yaitu sebesar 1,08.

3.2 Langkah Proses

Langkah proses pembuatan nitroselulosa dari selulosa dan asam nitrat menggunakan katalis asam sulfat dengan reaksi nitrasi yang bersifat eksotermik adalah sebagai berikut.

3.2.1 Persiapan Bahan

Selulosa pada SL-01, asam sulfat 60% pada T-01, dan asam nitrat 60% pada T-02 masing – masing disimpan dengan kondisi temperatur 27°C dan tekanan 1 atm. Asam sulfat diencerkan terlebih dahulu hingga diperoleh kadar 22% dengan menggunakan mixer (Mx-01).

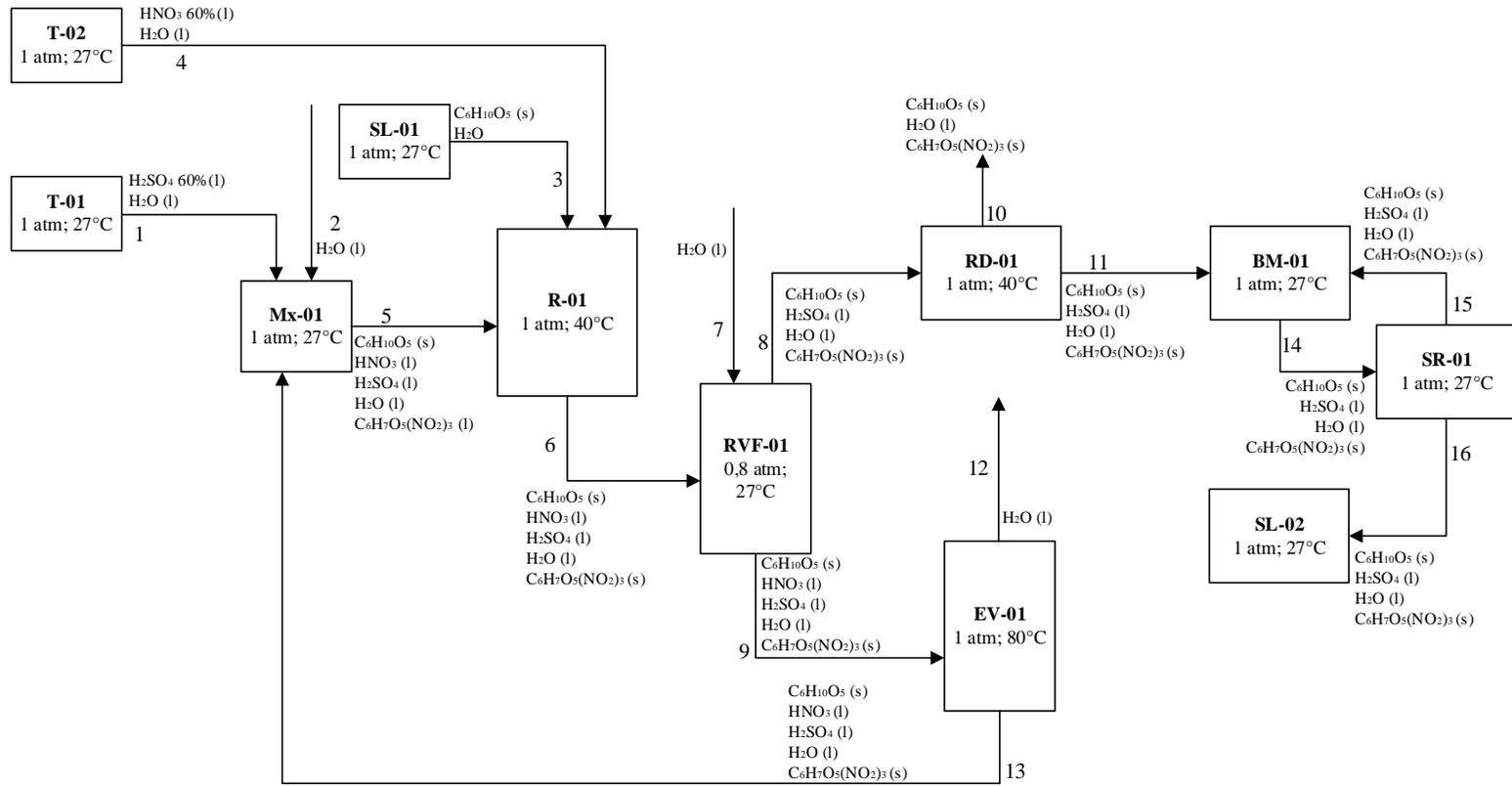
3.2.2 Pereaksian

Selulosa pada SL-01 dan asam nitrat pada T-02 diumpangkan ke dalam reaktor tangki berpengaduk R-01. Selanjutnya asam sulfat dari Mx-01 dialirkan menuju R-01. Pada R-01 ini terjadi adanya reaksi nitrasi yang berlangsung selama 10 menit dengan kondisi temperatur 40°C pada 1 atm. Hasil reaksi yang menjadi produk reaktor berupa nitroselulosa dan sisa reaktan kemudian dialirkan ke *Rotary Vacuum Filter* (RVF-01)

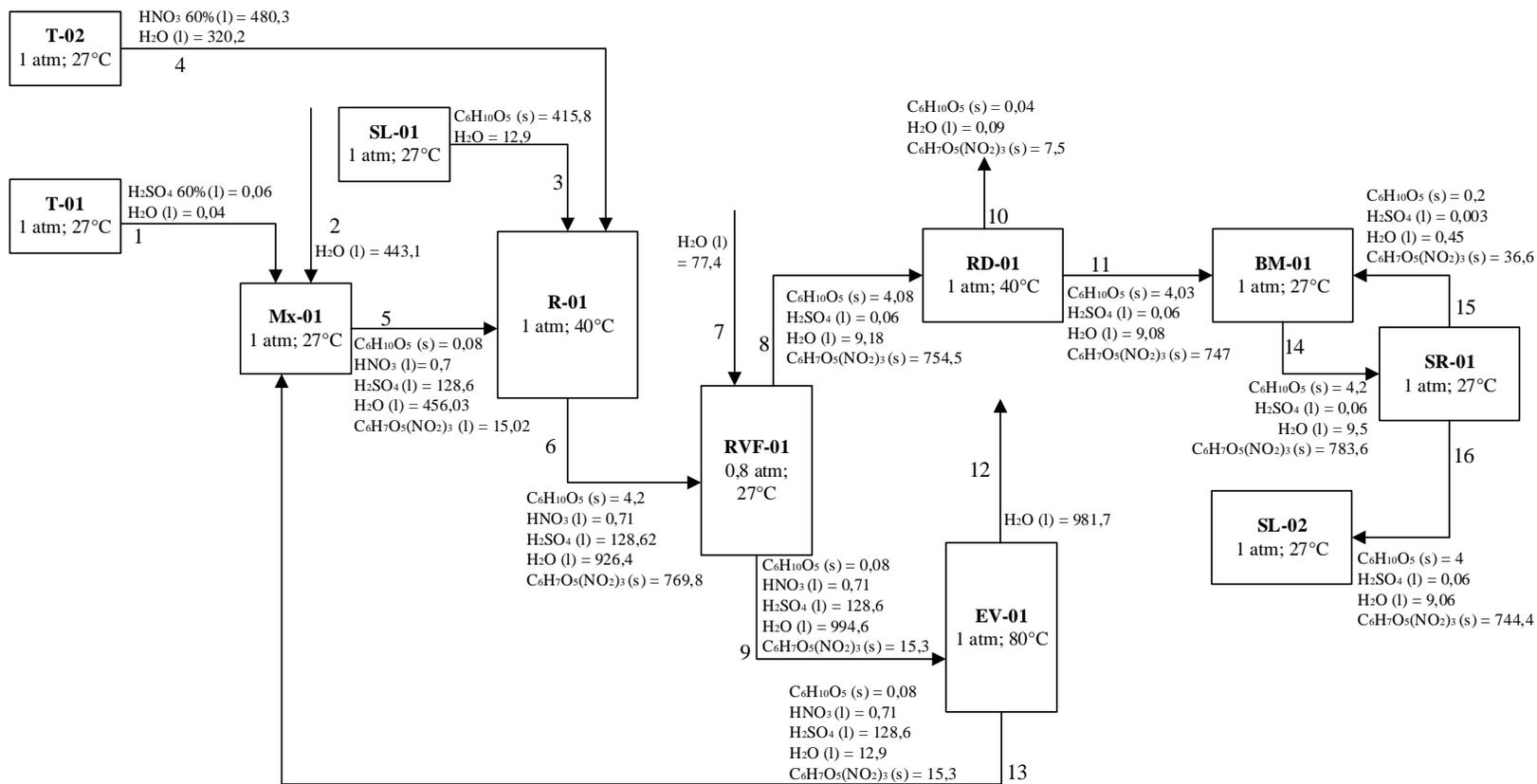
untuk dilakukan pemisahan antara produk dengan sisa reaktan dan pencucian produk.

3.2.3 Perlakuan Akhir

Produk RVF-01 selanjutnya dialirkan menuju *rotary dryer* (RD-01) untuk mengurangi kadar air dalam nitroselulosa. Sedangkan sisa reaktan berupa campuran asam dialirkan menuju Evaporator (EV-01) guna menguapkan kandungan air sehingga campuran asam tersebut dapat digunakan kembali pada proses produksi berikutnya. Kemudian nitroselulosa dialirkan menuju *Ball Mill* (BM-01) guna memperkecil ukuran gumpalan padatan nitroselulosa menjadi sebesar 60 mesh. Produk BM-01 kemudian dialirkan menuju *screener* (SCR-01) guna menyeragamkan ukuran serbuk nitroselulosa yang kemudian dipindahkan ke tangki penyimpanan produk (SL-02) dengan bantuan *Bucket Elevator* (BE-01). Produk disimpan pada SL-02 dan siap untuk dilakukan pengemasan oleh unit pengemasan.



Gambar 3. Diagram Alir Kualitatif



Gambar 4. Diagram kuantitatif