

Lampiran

Perhitungan Reaktor

Jenis : Elektrolyzer

Kondisi Operasi:

Suhu : 80 - 138°C

Tekanan : 1 atm

Reaksi : Endotermis, adiabatik non-isothermal

1. Persamaan Matematis Reaktor

a. Neraca Massa Reaktor

Rate in – rate out + rate generation = accumulation

$$F_A|_W - F_A|_{W+\Delta W} + R_A' \Delta W = 0$$

$$\lim_{\Delta W \rightarrow 0} \frac{F_A|_W - F_A|_{W+\Delta W}}{\Delta W} = -r_A'$$

$$\frac{dF_A}{dW} = r_A'$$

Dimana: $F_A = F_{A0}(1-x)$

$$dF_A = -F_{A0}dx$$

$$\Delta W = Ac \cdot \Delta z \cdot \rho_s$$

Dan

$$-r_A' \cdot \rho_s = -r_A$$

Sehingga persamaan (6.1) menjadi:

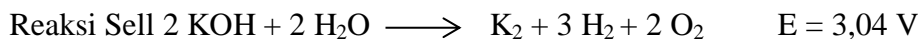
$$\frac{-F_{A0} dx}{Ac \cdot \rho_s \cdot dz} = r_A'$$

$$\frac{dx}{dz} = \frac{-r_A' \cdot Ac \cdot \rho_s}{F_{A0}}$$

$$\frac{dx}{dz} = \frac{-r_A \cdot Ac}{F_{A0}} \quad (6.2)$$

Reaksi Elektro kimia yang terjadi adalah elektrolisis air menjadi hidrogen dan oksigen. Persamaan reaksinya sebagai berikut :

$$E^\circ = E_{\text{anode}}^\circ - E_{\text{cathode}}^\circ$$



Dengan mengikuti konsep over voltage, maka untuk dapat menggerakkan reactor dibutuhkan tegangan deengan nilai lebih dari 2,19 V.

Maka :

$$E^\circ \text{ Cell} = E^\circ \text{ Reduksi} + E^\circ \text{ Oksidasi}$$

$$E^\circ \text{ Cell} = 0 \text{ V} + (2,92 + 0,12) \text{ V}$$

$$= 3,04 \text{ V}$$

b. muatan arus listrik

$$\text{Bilangan Avorgadro (Na)} = 6,022 \times 10^{23} / \text{mol}$$

$$I = \text{mol senyawa} \times \text{Na} \times \text{Energi Coulomb}$$

$$I = (637,6900 \text{ mol/jam}) \times (6,022 \times 10^{23} / \text{mol}) \times (1,602 \times 10^{19} \text{ C})$$

$$I = 615.195.133,1 \text{ C/jam}$$

$$= 170887,537 \text{ C/s}$$

$$= 170.887,537 \text{ A}$$

$$I_{\text{effisien}} = I/\eta$$

$$= 205888,5988 \text{ A}$$

$$= 205,885 \text{ kA}$$

Power Reaktor

$$P = V_{\text{cell}} \times I_{\text{effisien}}$$

$$P = (3,04 \text{ V}) \times (205,885 \text{ kA})$$

$$P = 625,90 \text{ kW}$$

$$= 0,625 \text{ MW}$$

Hambatan Listrik

$$R = \rho \times l/A$$

$$= (0,04\Omega\text{m}) \times (0,005 \text{ m})/(0,04\text{m}^2)$$

Dimensi Sel Elektrolisis

Menggunakan jenis elektroda syncell

$$\text{Current Density} = 4 \text{ kA/m}^2$$

$$\text{Luas Elektroda} = 1,04 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah total modul} = I/\text{Current Density} \times 1/\text{luas Elektroda}$$

$$= 49,492$$

Sehingga jumlah modul pada masing-masing sell adalah 50

Jenis Diafragma

Pada sel diafragma, ruang katoda dipisahkan dari ruang anoda dengan selaput berpori yang dapat dilalui ion-ion, tetapi menahan pencampuran larutan. Sel diafragma terbuat dari bahan polimer yang dapat menghantarkan listrik sehingga tidak menghambat proses elektrolisis.

Nama : Alkaline Elektrolisis Water

Bahan : PVC

Tegangan : 380 V (Disesuaikan)

Konsentrasi : 12%

Ukuran : 1890 x 1000 x 1950

Tekanan : Rendah

Suhu : 30 – 100 °C

c. Neraca Panas Reaktor

Heat input – heat output – heat reaction = heat accumulation

$$H|_z - H|_{z+\Delta z} + H_R = 0$$

$$\sum F_i C_{pi} T|_z - \sum F_i C_{pi} T|_{z+\Delta z} + (-r'_A) \cdot A_c \cdot \rho_s \cdot \Delta z \cdot (-\Delta H_R) = 0$$

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\sum F_i C_{pi} T|_z - \sum F_i C_{pi} T|_{z+\Delta z}}{\Delta z} = (-r_A) \cdot A_c \cdot (-\Delta H_R)$$

$$\sum F_i C_{pi} \frac{dT}{dz} = (-r_A) \cdot A_c \cdot (-\Delta H_R)$$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{(-r_A) \cdot A_c \cdot (-\Delta H_R)}{\sum F_i C_{pi}} \quad (6.7)$$

Substitusi nilai $(-r_A) \cdot A_c$ dengan persamaan (6.2), sehingga persamaan (6.5)

berubah menjadi:

$$\frac{dT}{dz} = \frac{(-ra).(-\Delta H_R)}{\sum F_i C_{pi}} \quad (6.8)$$

Panas Reaksi

Perhitungan panas reaksi menggunakan persamaan berikut ini:

$$\Delta H_R = \Delta H_{R0} + \int_{TR}^T \Delta C_p \cdot dT \quad (6.9)$$

Perhitungan panas pembentukan merujuk kepada (Yaws, 1999) dengan persamaan (untuk senyawa anorganik) sebagai berikut:

$$\Delta H_f = A + B \cdot T + C \cdot T^2 \quad (6.10)$$

Panas reaksi elektrolisis air pada suhu referensi 298 K (fase cair) adalah:

$$\Delta H_{R0} = \sum (n \cdot \Delta H_f)_{produk} - \sum (n \cdot \Delta H_f)_{reaktan} \quad (6.11)$$

$$\Delta H_{R0(298K)} = (-36.852,234) - (-368,522) = 36.483,7121 \text{ kJ/mol}$$

Kapasitas Panas Campuran Gas

Kapasitas panas campuran gas dipengaruhi oleh komponen gas dan suhu:

$$\begin{aligned} \int_{298}^T \Delta C_p \cdot dT &= \int_{298}^T \Delta a \cdot dT + \int_{298}^T \Delta b \cdot T \cdot dT + \int_{298}^T \Delta c \cdot T^2 \cdot dT + \int_{298}^T \Delta d \cdot T^3 dT \\ &+ \int_{298}^T \Delta e \cdot T^4 dT \end{aligned}$$

Adapun harga Cp tiap komponen diperoleh dari (Yaws,1999) dengan persamaan:

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 + E \cdot T^4 \text{ kJ/kmol.K} \quad (6.13)$$

d. Pressure Drop

Pressure drop aliran fluida pada tumpukan katalis menggunakan persamaan

Ergun:

$$\frac{dP}{dz} = - \frac{G_t}{\rho_G \cdot g_c \cdot dp} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \left(\frac{150 \cdot (1-\varepsilon) \mu_M}{dp} + 1,75G \right) g_{cc} \quad (6.14)$$

Keterangan:

P = tekanan (kPa)

ε = porositas

$g_c = 127101600 \text{ kgm.m / jam}^2 \text{ kgf}$ (penyehat satuan)

dp = diameter partikel katalis (m)

μ_M = viskositas campuran gas (kg/m.jam)

z = panjang reaktor pipa (m)

Gt = Kecepatan massa superfisial gas (kg/m².jam)

$g_{cc} = 9,807 \times 10^{-3} \frac{kPa}{kgf/m^3}$ (faktor koreksi)

Viskositas gas

Nilai viskositas dapat dihitung dengan persamaan:

$$\mu_i = A + BT + CT^2 \quad (6.15)$$

Viskositas campuran gas yang masuk dihitung dengan persamaan berikut:

$$\mu_{mix} = \sum (A + BT + CT^2) \cdot y_i \quad (6.16)$$

1. Diamter Reaktor

Diameter reaktor ditentukan dari densitas dan laju alir massa gas umpan ke reaktor. Campuran gas masuk reaktor diasumsikan ideal sehingga dapat digunakan rumus gas ideal:

$$PV = nRT$$

$$PV = \frac{m}{BM_G} RT$$

$$\frac{m}{V} = \frac{P.BM_G}{R.T} = \rho_G \quad (6.17)$$

Dimana ρ_G adalah densitas campuran gas dan $BM_G = \sum y_i BM_i$

Keterangan:

ρ_G = densitas campuran gas (kg/m³)

P = tekanan total gas (atm) = 1 atm

BM_G = berat molekul campuran gas (kg/kmol)

R = 0,0826 (atm.m³/mol.K)

T = suhu gas masuk reaktor (K) = 353 K

Kecepatan massa superfisial campuran gas (G) ditentukan dari nilai kecepatan gas pada luas penampang reaktor tanpa adanya bed. (ulrich, 1984)

$$G_t = U_G \rho_G \quad (6.18)$$

Keterangan:

G_t = kecepatan massa superfisial campuran gas (kg/jam.m²)

U_G = kecepatan linear gas (m/jam)

Luas penampang reaktor dapat dihitung dengan:

$$A_C = \frac{F_{MT0}}{G_t} \quad (6.19)$$

Dimana F_{MT0} adalah laju alir massa gas total yang masuk ke reaktor (kg/jam).

Sehingga diameter reaktor dapat diketahui dengan:

$$ID = \sqrt{\frac{4}{\pi \cdot A_C}} \quad (6.20)$$

2. Panjang Reaktor

Dengan menggunakan persamaan neraca massa, neraca panas, dan pressure drop, kita dapat menentukan panjang reaktor untuk konversi yang diinginkan dengan menggunakan metode Rungge-Kutta.

Tabel 6.1 Kondisi Masuk Reaktor

konversi awal	X_o	0	
posisi awal katalis	Z_o	0	
suhu masuk	T_o	353.15	K
tekanan masuk	P_o	1	atm
aliran molar	F_{Ao}	637.6900	kmol/jam
aliran molar masuk pipa total	F_{To}	637.6900	kmol/jam
Energi aktivasi	E	18860	kkal/kmol
	k_o	2165.0000	
aliran massa masuk pipa	F_{MT0}	11478.4206	kg/jam

Penyehat satuan	gc	127101600	kgm.m / jam ² kgf
Faktor koreksi	gcc	0.009807	kPa/kgf/m ²
Diameter katalis	dp	0.003696	m
Porositas katalis dalam tube	ε	0.384	
panas pembentukan standar	ΔH_{298}	36483.7121	kJ/kmol
Densitas katalis	rho	0	gr/cm ³
Kecepatan Cairan	Ug	2.0000	m/s
Berat molekul campuran	BM	28.56	kg/kmol
Faraday	F	96500	
Konstanta gravitasi	g	12713760000	m ² .jam

Di dapat tinggi Reaktor dengan Rengu Kutta adalah 9 meter

Hasil akhir perhitungan adalah sebagai berikut:

Konversi (X) = 0,99

Suhu gas masuk (Tin) = 353 K = 80 °C

Suhu gas keluar (Tout) = 411 K = 138 °C

Tekanan masuk (Pin) = 1 atm

Tekanan keluar (Pout) = 1 atm

3. Desain Mekanis

Diameter dalam Shell (IDS) = 14,515 m

Tekanan Operasi = 1 atm

= 14 psi

Tekanan Design = 1,2 atm

= 17,6351 psi

Bahan = Loy-Alloy Stell SA 202 (Brownell)

Suhu Operasi = 80 °C = 353 °F

Max Allowable stress= 13.750 psi

Max Eff Sambungan = 0,8

Faktor Korosi = 0,125 in (Brownell)

Jari-jari dalam Shell (r_i) = 7,2258

Suhu Keluar Reaktor = 138 °C

Tebal dinding shell dihitung dengan persamaan

$$t_s = \frac{Pxr}{fxE - 0.6P} + c$$

Dimana:

T_s = tebal dinding *shell* (in)

P = tekanan desain (psi)

R = radius dalam shell (in)

E = efisiensi sambungan

$F = \text{allowable working stress (psi)}$

$C = \text{faktor korosi (in)}$

Tebal Shell = 0,5815 in

Tebal Standar = 11/16 in

Diameter luar shell = $IDS + 2 \cdot \text{tebal shell\#}$

= 570,3323 in

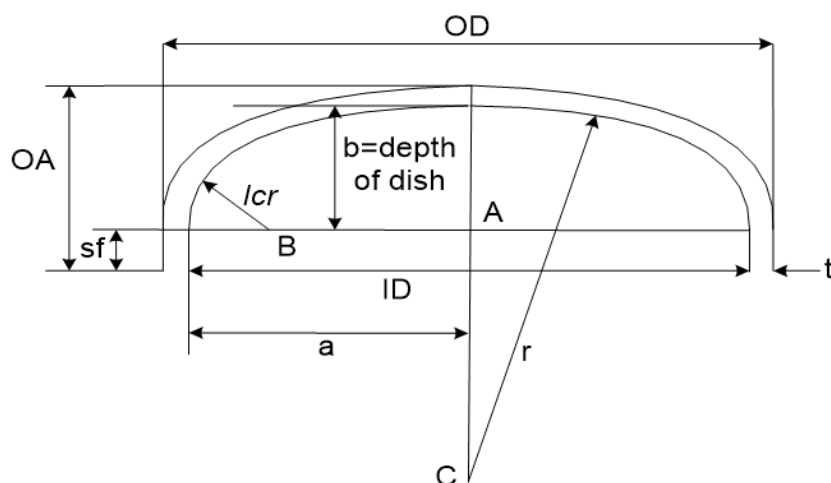
Dipilih ODS = 670 in

= 55,8311 ft

4. Head Reaktor

Bentuk *Head*: Torispherical Dishead

Digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya cukup ekonomis. (Coulson hal.818). Digunakan untuk vessel dengan tekanan antara 15 – 200 psig. (Brownell and Young, 1959)



Gambar 6 Diagram Head Reaktor

$$t_h = \frac{0,885.P.IDS}{F.E - 0,1.P} + C$$

$$R = IDS = 568,95 \text{ in}$$

$$ICR = 34,137 \text{ in}$$

$$\text{Di pilih tenal plateee} = 1 \frac{1}{8} \text{ (Brownell)}$$

$$ICR/OD = 5,0951 \%$$

$$Sf = 3 \text{ in (Brownell)}$$

$$AB = 250,34 \text{ in}$$

$$BC = 534,81 \text{ in}$$

$$AC = 472,61 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi Head (OA)} = 100,4709 \text{ in}$$

$$= 2,5520 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi Total Reaktor} = 11,5520 \text{ m}$$