

LAMPIRAN A PERHITUNGAN REAKTOR

Fungsi	: Mereaksikan Bauksit dan Asam Sulfat 80% menjadi Aluminium Sulfat
Jenis	: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Fase	: Padat - cair
Sifat reaksi	: Eksotermis
Kondisi operasi	: Tekanan (P) = 1 atm Suhu (T) = 110 °C Konversi (X) = 92%

A. Kinetika Reaksi

Reaksi



Persamaan kecepatan reaksi:

$$(-r_A) = \frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A \cdot C_B$$

$$-r_A = k \cdot C_A \cdot C_B$$

Karena konsentrasi reaktor equimollar, maka $-r_A = k \cdot C_A^2$

Reaksi merupakan reaksi orde 2 (Kirk dan Othmer), dengan :

$$-\int_{C_{AO}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A^2} = k \int dt$$

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

Komponen	BM	Input		ρ kg/m ³	V	
		kmol/jam	kg/jam		m ³	L
Al ₂ O ₃	101,9613	13,7117	1.398,0624	3.990	0,3504	350,3914
Fe ₂ O ₃	159,6922	1,5918	254,1932	5.120	0,0496	49,6471
SiO ₂	60,0843	2,9614	177,9352	2.320	0,0767	76,6962
TiO ₂	79,8788	1,2729	101,6773	4.170	0,0244	24,3830
H ₂ O	18,0152	89,4820	1.612,04	946	1,7048	1.704,7732
H ₂ SO ₄	98,0784	41,6287	4.082,8782	1.727	2,3648	2.364,7961
Total		150,6485	7626,7816	18272	4,5707	4570,6870

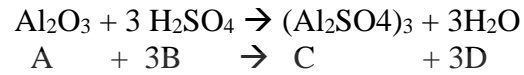
1. Menghitung Konsentrasi Umpan

$$C_{AO} = \frac{\text{mol } A}{\Sigma Fv} = 2.9999 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{BO} = \frac{\text{mol } B}{\Sigma Fv} = 9.1078 \text{ kmol/m}^3$$

2. Menghitung Harga k

Reaksi dapat ditulis dengan:



$$\begin{array}{l} \text{M : } C_{AO} \quad C_{BO} \quad C_{CO} \quad C_{DO} \\ \text{R : } -C_{AO}X_A \quad -3C_{AO}X_A \quad C_{AO}X_A \quad 3C_{AO}X_A \\ \hline \text{S : } C_A - C_{AO}X_A \quad C_{BO} - 3C_{AO}X_A \quad C_{CO} + C_{AO}X_A \quad C_{DO} + 3C_{AO}X_A \end{array}$$

Maka, diketahui

$$\text{Konversi (x)} = 92\%$$

$$t = 3 \text{ jam} = 180 \text{ menit}$$

$$k.t = (1/C_A) - (1/C_{AO})$$

$$k.t = (1/C_{AO}) \cdot (X_A / (1 - X_A))$$

$$\text{Harga k} = 0.7444 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

B. Optimasi Reaktor

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{\text{massa campuran}}{\text{volume campuran}}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 1668.6292 \text{ kg/m}^3$$

$$F_v = 4.5707 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Nilai k} = 0.7444 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

$$\text{Volume} = 4570,6870 \text{ L/jam}$$

$$C_{ao} = 2.9999 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{bo} = 9.1078 \text{ kmol/m}^3$$

$$X_A = 0,92$$

$$M = 3$$

Mencari volume reaktor dan konversi reaktor

$$V_n = \frac{Fv (X_n - X_{n-1})}{k(1 - X_n)}$$

1 Reaktor		
Xa	0,92	
Vreaktor	70,6069	m ³
	1.8652,2344	gallon
Waktu tinggal	15	jam

2 Reaktor		
Xa ₂	0,92	
Xa ₁	0,72	
Vreaktor	15,5675	m ³
	4.112,4672	gallon
Vtotal	31,1350	m ³
Waktu tinggal	3	jam

3 Reaktor		
Xa ₃	0,92	
Xa ₂	0,81	
Xa ₁	0,57	
Vreaktor	8,1093	m ³
	2.142,2406	gallon
Vtotal	24,3280	m ³
Waktu tinggal	2	jam

4 Reaktor		
Xa ₄	0,92	
Xa ₃	0,85	
Xa ₂	0,72	
Xa ₁	0,47	
Vreaktor	5,4048	m ³
	1.427,7905	gallon
Vtotal	21,6193	m ³
Waktu tinggal	1	jam

5 Reaktor		
Xa ₅	0,92	
Xa ₄	0,87	
Xa ₃	0,78	
Xa ₂	0,64	
Xa ₁	0,40	
Vreaktor	4,0352	m ³
	1.065,9785	gallon
Vtotal	20,1760	m ³
Waktu tinggal	1	jam

Menghitung harga total reaktor

Jumlah reaktor	Volume 1 Reaktor (Gallon)	Harga 1 Reaktor (Dollar)	Harga Total (Dollar)
1	18.652,2344	730.200	730.200
2	4.112,4672	244.164	488.328
3	2.142,2406	201.900	605.700
4	1.427,7905	167.000	668.000
5	1.065,9785	160.200	801.000

Berdasarkan hasil perhitungan optimasi maka akan digunakan dua reaktor yang disusun seri.

C. Perancangan Reaktor

Asumsi

- Volume cairan selama reaksi tetap
- Kondisi *isothermal*

Volume cairan dalam reaktor:

$$\begin{aligned} V_{\text{cairan}} &= 15,5675 \text{ m}^3 \\ &= 15567,5027 \text{ L} \\ &= 4112,4672 \text{ gallon} \end{aligned}$$

Untuk menentukan volume desain reaktor digunakan *safety factor* 20% (Peter and Timmerhaus, 1991).

Volume desain reaktor ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} V_{\text{desain}} &= 1,2 \times V_{\text{cairan}} \\ &= 1,2 \times 15,5675 \text{ m}^3 \\ &= 18,6810 \text{ m}^3 \\ &= 18681,0033 \text{ L} \\ &= 4934,9606 \text{ gallon} \end{aligned}$$

1. Menentukan Diameter dan Tinggi Tangki Reaktor

Dipilih RATB berbentuk silinder tegak dengan perbandingan D : H =

$$1 : 1,5$$

(Brownell & young, tabel 3.3, P.43)

$$\begin{aligned} V_{\text{reaktor}} &= 18,6810 \text{ m}^3 \\ V_{\text{reaktor}} &= V_{\text{shell}} + 2 V_{\text{head}} \\ V_{\text{reaktor}} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \end{aligned}$$

(Brownell & Young, P.88)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_{shell}}{\pi}}$$

$$D = 2.8764 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \times D$$

$$H = 4.3145 \text{ m}$$

2. Menentukan Tebal Dinding (*Shell*) Reaktor

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 P} + C$$

(Eq.13-12 , P.25 Brownell &Young)

Dimana :

t_s = Tebal dinding *shell*, in

P = Tekanan desain = 28,1120 psi

r_i = Jari - jari reaktor = 56,6213 in

E = Effisiensi sambungan las = 0,85

f = Tekanan maksimal yang diizinkan = 18.750 psi

C = Korosi yang di izinkan = 0,125 in

Maka $t_s = 0,2250$ in

Digunakan tebal *shell* standar = 0,25 in

ID *shell* = 113.2426 in

OD *shell* = ID *shell* + 2 t_s

= 113.7426 in

OD *standard* = 114 in

ID *standard* = 114 in

3. Menentukan Jenis *Head*

Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA - 167 Grade 304*

Bentuk *head* : *Torishperical dishead*

Dengan pertimbangan dalam pemilihan jenis *head* yaitu :

- *Flanged & Standard Dished head*

Umumnya digunakan untuk tekanan operasi rendah, harganya murah dan digunakan untuk tangki dengan diameter kecil.

- *Torispherical Flanged & Dished Head*

Digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya cukup ekonomis.

- *Elliptical Dished Head*

Digunakan untuk operasi tekanan tinggi dan harganya cukup ekonomis

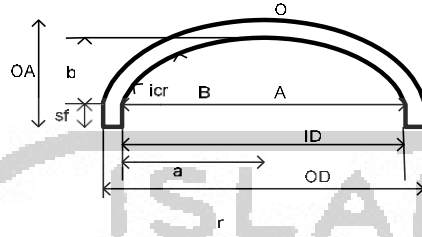
- *Hemispherical Head*

Digunakan untuk tekanan operasi sangat tinggi, kuat, ukuran yang tersedia terbatas dan harganya cukup mahal.

(P-87 Brownell,1959)

Maka digunakan jenis *head Torispherical Flanged & Dished Head*.

4. Menentukan Tebal Head



Keterangan gambar :

ID = diameter dalam head

OD = diameter luar head

a = jari-jari dalam head

t = tebal head

r = jari-jari dalam head

icr = inside corner radius

b = deep of dish

sf = straight of flanged

OA = tinggi head

Tebal head dihitung dengan :

$$th = \frac{0,885 \cdot P \cdot rc}{f \cdot E \cdot 144 - 0,1P} + C$$

Dimana $rc = rc$ (inside spherical or crown radius, in)

Maka $t_{head} = 0,2041$ in

t_{head} standar = 0,25 in

5. Menentukan Ukuran Head

a = ID/2 = 56,75 in

AB = a - icr = 49,8750 in

BC = r - icr = 101,1250 in

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} = 87,9702 \text{ in}$$

$$b = r - AC = 20,0298 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi head} &= Sf + b + t \text{ head} \\ &= 2,5 \text{ in} + 20,0298 \text{ in} + 0,25 \text{ in} \end{aligned}$$

$$= 22,7798 \text{ in}$$

$$= 0,5786 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi reaktor} = 2 \text{ tinggi head} + \text{tinggi shell}$$

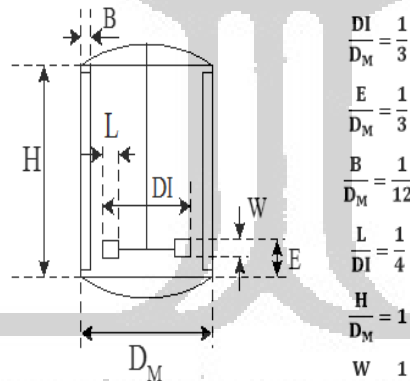
$$= 5,4718 \text{ m}$$

6. Menghitung Pengaduk Reaktor

Fungsi : Untuk mengaduk komponen agar homogen

Tipe pengaduk: *Impeller* turbin dengan 6 *flat blades* dan 4 buah *baffle*

Dari Buku Unit Operation Mc Cabe L. Werren edisi 5 hal : 243



$$\frac{D_I}{D_M} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{E}{D_M} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{B}{D_M} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{L}{D_I} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{H}{D_M} = 1$$

$$\frac{W}{D_M} = \frac{1}{5}$$

$$D_M \text{ (diameter reaktor)} = 2,8956 \text{ m}$$

$$D_I \text{ (diameter pengaduk)} = 0,9652 \text{ m}$$

$$E \text{ (jarak pengaduk dari dasar reaktor)} = 0,9652 \text{ m}$$

$$L \text{ (panjang impeller)} = 0,2413 \text{ m}$$

$$W \text{ (lebar pengaduk)} = 0,5791 \text{ m}$$

$$B \text{ (lebar baffle)} = 0,2413 \text{ m}$$

7. Menghitung Jumlah Pengaduk

$$h \text{ cairan} = \frac{4 V}{\pi D^2}$$

$$h \text{ cairan} = 2.8758 \text{ m}$$

$$= 9.4351 \text{ ft}$$

$$sg = \frac{\rho \text{ cairan}}{\rho \text{ air}}$$

$$\rho_{\text{cairan}} = 1668.6292 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 946 \text{ kg/m}^3$$

$$sg = 2.2588$$

$$WELH = h \text{ cairan} \cdot sg$$

$$WELH = 21.3119 \text{ ft}$$

$$\sum \text{impeller} = \frac{WELH}{D}$$

$$\Sigma_{\text{impeller}} = 2.258$$

Maka jumlah pengaduk = 3 buah

8. Menghitung Kecepatan Pengadukan Reaktor

$$N = \frac{600}{\pi DI} \sqrt{\frac{WELH}{2 DI}}$$

$$N = 110,6915 \text{ rpm}$$

$$= 1.8449 \text{ rps}$$

Maka digunakan standar kecepatan motor 125 rpm

9. Menghitung Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho_L N D I^2}{\mu_L}$$

$$Re = 1.908.637,5081$$

Karena $Re > 2100$ maka alirannya turbulen

Pada fig 10.59, Towler dan Sinnott P. 619 didapatkan nilai $N_p = 7$

10. Menghitung Power

$$P = \frac{N^3 D I^5 \rho N_p}{550 gc}$$

$$P = 151.9179 \text{ Hp}$$

Daya motor , efisiensi motor adalah 82% (figure 14.38 peters hal 521)

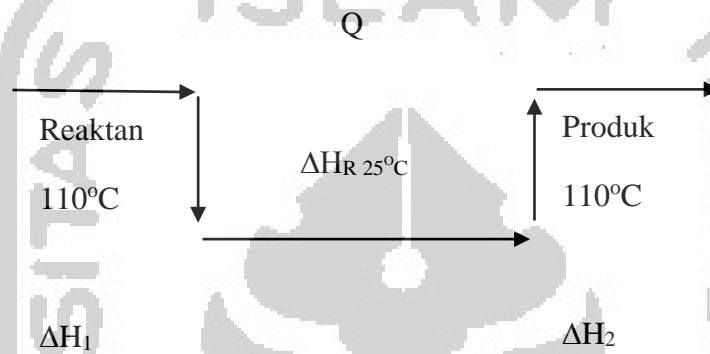
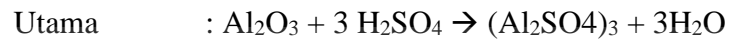
$$\text{Daya motor} = \frac{P}{\eta}$$

$$\text{Daya motor} = 185.2657 \text{ Hp}$$

$$\text{Daya motor standar} = 200 \text{ Hp}$$

D. Menghitung Neraca Panas

Reaksi:



Tabel 1. Panas Reaksi Pembentukan

Komponen	ΔH_f
Al_2O_3	-399.09
Fe_2O_3	-198.50
H_2O	-68.32
H_2SO_4	-193.69
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	-820.99
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	-653.30

Panas reaksi pada reaktor :

1. Reaksi Utama

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{298} + \Delta H_p - \Delta H_r$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -2.418.008,2748 \text{ kj/kmol (eksotermis)}$$

2. Reaksi Samping

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{298} + \Delta H_p - \Delta H_r$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -314.622,6085 \text{ kj/kmol (eksotermis)}$$

Tabel Panas Reaksi Bahan Masuk dan Keluar Reaktor

Komponen	Input (Kj/jam)	Output (Kj/jam)
Al ₂ O ₃	101.111,3684	8088,9095
Fe ₂ O ₃	3.517,9622	1407,1849
SiO ₂	11.946,1167	11.946,1167
TiO ₂	6.426,8433	6.426.8433
H ₂ O	679.189,0629	833.204,2675
H ₂ SO ₄	514.787,5724	11.367,5221
Al ₂ (SO ₄) ₃		68.088,1866
Fe ₂ (SO ₄) ₃		5.374,1321
Total	1.316.978,9259	945.903,1626

Tabel Neraca Panas Bahan Masuk dan Keluar Reaktor

Komponen	Input (Kj/jam)	Output (Kj/jam)
Panas reaksi bahan masuk	1.316.978,9259	
Panas reaksi bahan keluar		945.903,1626
Q reaksi	3.067.636,2894	
Q pendingin		3.438.712.0527
Total	4.384.615,2153	4.384.615,2153

Kebutuhan air pendingin

$$\text{Suhu air pendingin masuk} = 30\text{ }^{\circ}\text{C} = 86\text{ }^{\circ}\text{F} = 303\text{ K}$$

$$\text{Suhu air pendingin keluar} = 50\text{ }^{\circ}\text{C} = 122\text{ }^{\circ}\text{F} = 323\text{ K}$$

$$\text{T rata - rata} = 40\text{ }^{\circ}\text{C} = 104\text{ }^{\circ}\text{F} = 312\text{ K}$$

Sifat fisis air pada 104 °F

$$C_p = 1,2274 \text{ Btu/lbm.F}$$

$$\rho = 68,9330 \text{ lbm/ft}^3$$

$$W = \frac{Q_{\text{pendingin}}}{C_p \times (T_2 - T_1)}$$

$$W = 82104,9019 \text{ lbm/jam}$$

$$= 37275,6255 \text{ kg/jam}$$

E. Merancang Jaket Pendingin

Luas perpindahan panas yang tersedia :

A = Luas selimut reaktor + luas penampang bawah reaktor

$$A = \pi \cdot OD \cdot H_L + \pi/4 \cdot OD^2$$

$$A = 489,3559 \text{ ft}^2$$

Suhu masuk reaktor (T_1) = 110 °C = 230 °F = 383 K

Suhu keluar reaktor (T_2) = 110 °C = 230 °F = 383 K

Suhu pendingin masuk (t_1) = 30 °C = 86 °F = 303 K

Suhu pendingin keluar (t_2) = 50 °C = 122 °F = 323 K

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{\ln \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 125 \text{ °F}$$

Untuk sistem aqueous solution – water , UD = 250 – 500

(Kern, Tabel.8, p.840)

Luas Transfer panas yang dibutuhkan, A:

$$A = \frac{Q}{UD \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$A = 57,9814 \text{ ft}^2$$

1. Menghitung Ukuran Jaket Pendingin

Jarak antara jaket dengan reaktor =

ID (diameter dalam jaket) = 118.1853 in

OD (diameter luar jaket) = 120 in

2. Menghitung Tebal Jaket Pendingin

$$\text{Tebal jaket} = \frac{P \times r}{(S.E) - (0,6 P)} + C$$

$$\text{Tebal jaket} = 0,3247 \text{ in}$$

$$\text{Tebal jaket standar} = 0,375 \text{ in}$$

3. Menghitung Tinggi Jaket

$$\text{Tinggi jaket} = 0,9 \times H_{\text{shell}}$$

$$= 3,8856 \text{ m}$$

KESIMPULAN REAKTOR

Fungsi : Mereaksikan bauksit dan asam sulfat 80% menjadi aluminium sulfat

Jenis : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)

Fase : Padat - cair

Sifat reaksi : Eksotermis

Kondisi operasi : Tekanan (P) = 1 atm

Suhu (T) = 110 oC

Konversi (X) = 92%

Bahan : *Stainless Steel SA - 167 Grade 304*

Reaksi:

Utama : $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{Al}_2\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Samping : $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Maka diperoleh :

Volume reaktor : 18,6810 m³

Tinggi reaktor : 5,4718 m

Tinggi *shell* reaktor : 4,3145 m

Diameter reaktor : 2,8956 m

Tebal *shell* reaktor : 0,25 in

Tebal *head* reaktor : 0,25 in

Jenis <i>head</i> reaktor	: <i>Torispherical Flanged & Dished Head</i>
Jenis pengaduk	: <i>Impeller turbin dengan 6 flat blades dan 4 buah baffle</i>
Jumlah <i>impeller</i>	: 3 buah
Diameter pengaduk	: 0,9652 m
Jarak pengaduk dari dasar	: 0,9652 m
Panjang <i>impeller</i>	: 0,2413 m
Lebar pengaduk	: 0,5791 m
Lebar <i>baffle</i>	: 0,2413 m
Jumlah <i>baffle</i>	: 4
Kecepatan pengadukan	: 125 rpm
Diameter dalam jaket pendingin:	118.1853 in
Diameter luar jaket pendingin:	120 in
Tebal jaket pendingin	: 0,375 in
Tinggi jaket	: 3,8856 m

LAMPIRAN B

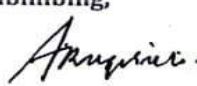
LEMBAR KONSULTASI DOSEN PEMBIMBING

ISLAM

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

Nama Mahasiswa : Kenny Tunjung Wulandaru
 No. MHS : 15521006
 Nama Mahasiswa : Febri Putri Batama
 No. MHS : 15521016
 Judul Prarancangan)* : PRA RANCANGAN PABRIK ALUMINIUM SULFAT
 DARI BAUKSIT DAN ASAM SULFAT DENGAN
 PROSES DORR KAPASITAR 40.000 TON/TAHUN
 Mulai Masa Bimbingan : 08 April 2019
 Batas Akhir Bimbingan : 05 Oktober 2019

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	10 April 2019	Bimbingan Penentuan judul	A
2.	18 April 2019	Menentukan kapasitas	A
3.	25 April 2019	Bimbingan mengenai neraca massa	A
4.	2 Mei 2019	Bimbingan mengenai kinetika reaksi	A
5.	7 Mei 2019	Bimbingan tentang reaktor & rotary dryer	A
6.	13 Mei 2019	Konsultasi mengenai optimasi reaktor	A
7.	17 Juni 2019	Konsultasi mengenai alat keal	A
8.	12 Agustus '19	Konsultasi mengenai pompa dan HE	A
9.	19 Agustus '19	Konsultasi mengenai bagan utilitas	A
10.	22 Agustus '19	Bimbingan mengenai evaluasi ekonomi	A
11.	30 Agustus '19	Bimbingan mengenai penulisan naskah	A
12.	05 oktober '19	Bimbingan mengenai naskah	A

Disetujui Draft Penulisan:
 Yogyakarta, 05 Oktober 2019
 Pembimbing,

 Ir. Aris Sugih Arto Kholil, M.M.

)* Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok
 - Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
 - Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

Nama Mahasiswa : Kenny Tunjung Wulandaru
 No. MHS : 15521006
 Nama Mahasiswa : Febri Putri Batama
 No. MHS : 15521016
 Judul Prarancangan)* : PRA RANCANGAN PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI
 BAUKSIT DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR
 KAPASITAS 10.000 TON /TAHUN
 Mulai Masa Bimbingan : 08 April 2019
 Batas Akhir Bimbingan : 05 Oktober 2019

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	12 April 2019	Konsultasi kapasitas	
2.	19 April 2019	Konsultasi mengenai neraca massa	
3.	6 Mei 2019	Konsultasi mengenai neraca panas	
4.	16 Mei 2019	Konsultasi mengenai Reaktor dan netralizer	
5.	21 Juni 2019	Konsultasi mengenai alat kecil	
6.	27 Juni 2019	Bimbingan alat kecil	
7.	15 Juli 2019	Bimbingan HE	
8.	25 Juli 2019	Bimbingan alat instrumentasi	
9.	22 Agustus '19	Bimbingan utilitas	
10.	29 Agustus '19	Bimbingan evaluasi ekonomi	
11.	10 September '19	Bimbingan mengenai PFD	
12.	05 Oktober '19	Bimbingan naskah total	

Disetujui Draft Penulisan:
 Yogyakarta, 05 Oktober 2019

Pembimbing,

Lucky Wahyu N. S., S.T., M.Eng.

-)* Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok
- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
 - Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy

LAMPIRAN C PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

