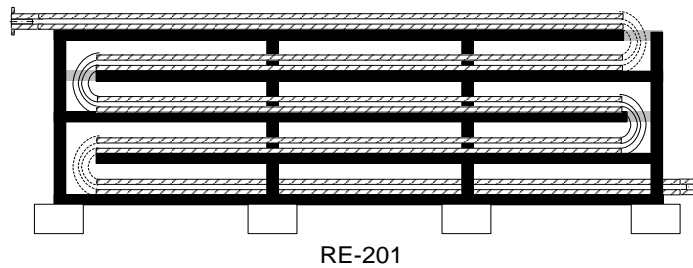


LAMPIRAN F

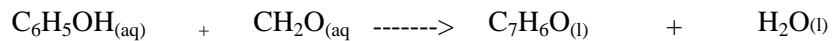
TUGAS KHUSUS REAKTOR RE-201

Fungsi	: Tempat mereaksikan phenol dan formaldehyde menjadi novolak resin	
Tipe	: <i>Plugh flow reactor</i> , Reaktor alir pipa	
Bahan	: <i>Steel pipe SA-283 Grade A</i>	
Pertimbangan	: Tahan terhadap korosi	
Kondisi Operasi	Temperatur fluida	30 °C
	Tekanan	1 Atm



Gambar. Reaktor Novolac Resin

Reaksi yang terjadi :



A. Sifat-sifat fisis :

1. Densitas

Fluida masuk :

Komponen	Massa Masuk (Kg/Jam)	wi	Densitas (Kg/m ³)
C6H5OH	2720.80	0.58	1065.58
CH2O	694.67	0.15	726.04
C2H2O4	31.94	0.01	1684.17
H ₂ O	1218.15	0.26	1000.00
C7H6O	1.23	0.00	1174.06
Total	4666.78	1.00	1002.18

Fluida keluar :

Komponen	Massa Keluar (Kg/jam)	wi	Densitas (Kg/m³)
C6H5OH	544.16	0.12	1000.83
CH2O	0.00	0.00	532.49
C2H2O4	31.94	0.01	1584.31
H2O	1634.95	0.35	998.18
C7H6O	2455.73	0.53	1899.52
Total	4666.78	1.00	1476.80

Sehingga densitas rata-rata fluida dalam reaktor :

$$\begin{aligned} \text{Densitas rata-rata} &= \frac{(1022.46 + 1476.80)}{2} \text{ Kg/m}^3 \\ &= 1239.49 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

2. Viskositas

Fluida masuk :

Komponen	Massa Masuk (Kg/Jam)	wi	Viskositas (cp)
C6H5OH	2720.80	0.58	5.29
CH2O	694.67	0.15	0.07
C2H2O4	31.94	0.01	41.24
H ₂ O	1218.15	0.26	0.40
C7H6O	1.23	0.00	1174.06
Total	4666.78	1.00	3.79

Fluida keluar :

Komponen	Massa Keluar (Kg/Jam)	wi	Viskositas (cp)
C6H5OH	2720.80	0.58	1.13
CH2O	694.67	0.15	0.05
C2H2O4	31.94	0.01	3.16
H ₂ O	1218.15	0.26	0.40
C7H6O	1.23	0.00	1899.52
Total	4666.78	1.00	1.29

sehingga viskositas rata-rata fluida dalam reaktor :

$$\begin{aligned} \text{Viskositas rata-rata} &= \frac{(4.06 + 1.29)}{2} \text{ cp} \\ &= 2.54136 \text{ cp} \end{aligned}$$

3. Tekanan Uap

Fluida masuk :

$$T = 303.2 \text{ K} \quad 30 \text{ C}$$

Komponen	P^{sat}	x	P_{in}
C6H5OH	1E-03	0.2409	0.00024
CH2O	6.127	0.1927	1.18096
C2H2O4	5E-05	0.0030	1.6E-07
H2O	1E-04	0.0001	1.4E-08
C7H6O	0.042	0.5633	0.02373
Total			1.20492

Fluida keluar

$$T = 380.8 \text{ K} \quad 107.634$$

Komponen	P^{sat}	x	P_{in}
CH2O	0.074	0.0482	0.00359
C2H2O4	39.78	0.0000	0
H2O	0.054	0.0030	0.00016
C7H6O	0.011	0.1928	0.00203
Total	1.316	0.7560	0.9952
Total			1.00098

sehingga tekanan uap rata-rata fluida dalam reaktor :

$$P = \frac{(1.2049 + 1.001)}{2} \text{ atm}$$

$$= 1.103 \text{ atm}$$

sehingga Pipa didesain tekanan 10% lebih besar dari tekanan operasi :

$$= 1,1 \times 1,1025 \text{ atm} = 1.21324 \text{ atm}$$

B. Perhitungan Produksi Tiap Jam

Pabrik beroperasi secara kontinyu yaitu selama 24 jam x 330 hari dalam setahun. Kapasitas produksi Novolak Resin adalah 20.000 ton/th :

$$= 20000 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}}$$

$$= 2525,2525 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Bahan baku yang tersedia mempunyai komposisi sebagai berikut :

1. Umpan segar Phenol, (dalam % berat) :

$$\text{Phenol} = 99\%$$

$$\text{Formaldehyde} = 1\%$$

2. Umpan segar Formaldeyde, (dalam % berat) :

$$\text{Formaldehyde} = 37\%$$

$$\text{Air} = 63\%$$

3. Umpan Katalis Oksalic Acid

Oxalic Acid = 99%

Air = 1%

Pada umpan segar, perbandingan berat phenol dan formaldeyhe dan katalis oksalik acid adalah :

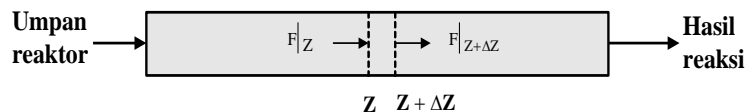
Phenol : Formaldeyhe : Oksalic Acid = 1 : 1.25 : 0.01

C. Neraca di Elemen Volume Reaktor

Reaktor alir pipa selalu bekerja secara steady state kecuali pada saat mulai (start up) dan akhir suatu operasi (shut down), sehingga akumulasi tidak ada.

1. Neraca massa pada elemen volume reaktor :

Skema aliran bahan :



Rate of mass input – rate of mass output – rate of mass reaction

= rate of mass accumulation

$$\Leftrightarrow F_{a|z} - F_{a|z+\Delta} - (-\bar{r}) \cdot \pi/4 \cdot D_i^2 \cdot \Delta Z = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{F_{a|z} - F_{a|z+\Delta}}{\Delta Z} - (-\bar{r}) \cdot \pi/4 \cdot D_i^2 = 0$$

$$\Delta Z \rightarrow 0 : -\frac{dF_a}{dZ} - (-\bar{r}) \cdot \pi/4 \cdot D_i^2 = 0$$

diketahui :

$$\checkmark F_a = F_{a0} \cdot (1 - X)$$

$$\checkmark (-\bar{r}) = k \cdot C_a$$

$$= k \cdot C_{a0} \cdot (1 - X_a)$$

maka :

$$\Leftrightarrow F_{a0} \cdot \frac{dX}{dZ} = \pi/4 \cdot D_i^2 \cdot k \cdot C_{a0} \cdot (1 - X_a)$$

$$\Leftrightarrow \frac{dX}{dZ} = \pi/4 \cdot \frac{D_i^2}{F_{a0}} \cdot k \cdot C_{a0} \cdot (1 - X) \dots\dots\dots 1)$$

dengan :

Fa = kecepatan aliran massa komponen , kmol/j.

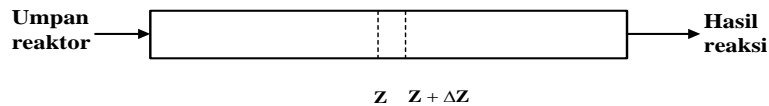
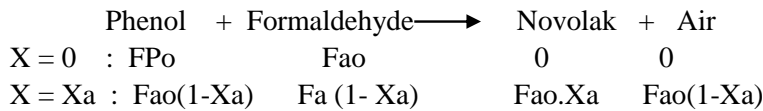
Di = diameter dalam pipa-pipa reaktor, m.

k = konstanta kecepatan reaksi

X_a = konversi terhadap Formaldehyde.
 C_{ao} = konsentrasi mula-mula Formaldehyde, kmol/m³
 Z = panjang reaktor, m.

2. Neraca panas pada elemen volume reaktor :

Untuk konversi akhir X_a , maka :



Basis : Entalpi semua unsur stabil pada suhu standar (TR) nilainya = 0
Rate of heat input – rate of heat output + rate of heat reaction = rate of heat accumulation

sistem operasi kontinu sehingga *rate of heat accumulation = 0*

$$\Leftrightarrow [\sum (F_i \cdot H_i)]_z - [\sum (F_i \cdot H_i)]_{z+\Delta z} + [\sum (\Delta H_R)(-r)]A \cdot \Delta Z = 0$$

$$\Leftrightarrow [\sum (F_i \cdot H_i)]_z - [\sum (F_i \cdot H_i)]_{z+\Delta z} = [\sum (\Delta H_R)(-r)]\pi / 4 \cdot D^2 \cdot \Delta Z$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sum (F_i \cdot H_i)_z - \sum (F_i \cdot H_i)_{z+\Delta z}}{\Delta Z} = [\sum (\Delta H_R)(-r)]\pi / 4 \cdot D^2$$

jika : $\Delta Z \rightarrow 0$, maka :

$$\Leftrightarrow -\frac{d}{dz} [\sum (F_i \cdot H_i)] = [\sum (\Delta H_R)(-r)]\pi / 4 \cdot D^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{d}{dz} [\sum (F_i \cdot H_i)] = [\sum (\Delta H_R)(K \cdot C_{ao}(1 - X))]\pi / 4 \cdot D^2$$

diketahui :

$$dH_i = c_{pi} \cdot dT$$

Oksalic Acid dianggap sebagai inert, sehingga $(dF_i)_{inert} = 0$

$$\Leftrightarrow \frac{dT}{dz} = \frac{(\Delta H_{R,T}) \cdot K \cdot C_{ao}(1 - X) \cdot \pi \cdot D^2}{4 \cdot \sum (F_i \cdot c_{pi})}$$

$$\sum (F_i \cdot c_{pi}) = F_{ao} (C_{Pi} + \Delta CP)$$

$$\Leftrightarrow \frac{dT}{dz} = \frac{(\Delta H_{R,T}) \cdot K \cdot C_{ao}(1 - X) \cdot \pi \cdot D^2}{4 \cdot \sum F_{ao} (C_{Pi} + \Delta CP)} \dots\dots\dots 2)$$

C. Menghitung Panjang Reaktor

data untuk persamaan 1 dan 2

Volume umpan masuk :

Komponen	Mr	kmol/jam	m ³
C6H5OH	94	28.9448	1161.0658
CH2O	30	23.1558	296.44235
C2H2O4	18	0.35485	13.628318
H2O	106	67.675	519.82788
C7H6O	106	0.01156	0.522922
Total		120.142	1991.4873

1. Konsentrasi

$$V_o = 1991 \text{ m}^3$$

$$F_{ao} = 23.16 \text{ Kmol}$$

$$\text{sehingga } C_{ao} = F_{ao}/V_o = 0.01163 \text{ Kmol/m}^3$$

2. Kinetika

dari jurnal diketahui :

$$\ln k = A e^{(-E/RT)}$$

dengan :

$$E = 85.53 \text{ kJ/mol} = 85530 \text{ kJ/kmol}$$

$$A = 8 \text{ h}^{-1} = 0.0023 \text{ s}^{-1}$$

$$R = 8.314 \text{ L atm/ mol K}$$

$$= 8314 \text{ KJ/Kmol K}$$

sehingga :

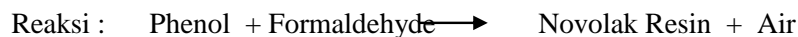
$$k = \exp (A e^{(-E/RT)})$$

$$= \exp (0.0023) e^{((-85530)/(8314 T))}$$

3. Data Entalpi

Kapasitas panas masing-masing komponen adalah sebagai fungsi suhu : Cp phenol, Cp Formaldehyde, Cp Oksalic Acid, Cp Novolak, Cp Air = f (T), maka :

$$\Leftrightarrow \Delta H_{R,T} = \int_T^{TR} \sum (f_i \cdot c_{pi})_{Reaktan} dT + \Delta H_{R,TR}^o + \int_{TR}^T \sum (f_i \cdot c_{pi})_{Produk} dT$$



Untuk panas pembentukan standar :

$$\Delta H_{R,TR}^o = (\Delta H_{R,TR,produk}^o - \Delta H_{R,TR,reaktan}^o)$$

$$\Delta H_{R,TR}^{\circ} = (\Delta H_{f,TR,Novolak}^{\circ} + \Delta H_{f,TR,Air}^{\circ}) - (\Delta H_{f,TR,Phenol}^{\circ} + \Delta H_{f,TR,Formaldehyde}^{\circ})$$

Dengan :

$$\Delta H_{f,TR,NovolakResin}^{\circ} = -69.680 \text{ kJ/kmol.}$$

$$\Delta H_{f,TR,Air}^{\circ} = -242.000 \text{ kJ/kmol.}$$

$$\Delta H_{f,TR,Phenol}^{\circ} = -96.420 \text{ kJ/kmol.}$$

$$\Delta H_{f,TR,Formaldehyde}^{\circ} = -116.000 \text{ kJ/kmol.}$$

$$\text{Sehingga : } \Delta H_{R,TR}^{\circ} = -99.260 \text{ kJ/kmol.}$$

$$C_{pi} = A + BT + CT^2 + DT^3 \text{ KJ/ Kmol K}$$

$$T_R = 25^{\circ}\text{C} = 298.15 \text{ K}$$

$$T_{in} = 30^{\circ}\text{C} = 303.15 \text{ K}$$

Konstanta kapasitas panas

Komponen	Konstanta			
	A	B	C	D
C6H5OH	3.86E+01	1.1E+00	-2.49E-03	2.28E-06
CH2O	4.42E+01	4.0E-01	-1.54E-03	3.03E-06
C2H2O4	-4.27E+01	1.0E+00	-1.97E-03	1.50E-06
C7H6O	-2.79E+02	5.4E+00	-4.81E-03	1.74E-06
H2O	3.22E+01	1.9E-03	1.06E-05	-3.60E-09

dengan :

$\Delta H_{R0,T}$ = Panas reaksi standar pada suhu standar T, KJ/ Kmol.

Fao = Laju alir umpan Formldehyde, kmol/jam.

D = Diameter dalam pipa, m.

X = Konversi reaksi terhadap Formaldehyde

T = Suhu reaksi pada reaktor, K.

Z = Panjang reaktor, m.

Fi = Laju alir komponen i, kmol/jam.

cpi = Panas jenis komponen i, J/mol K

f = koefisien stoikiometri

4. Diameter pipa reaktor

Diameter reaktor dioptimasi menggunakan persamaan :

$$D_{opt} = 0,9 \left(\left(\frac{C_o}{C_i} \right) n. gc \right)^{0,164} (m^{0,459})(\mu^{0,033})(\rho^{-0,328})$$

dengan :

$$\begin{aligned}
 m \text{ (Laju alir massa)} &= 1.2963314 \text{ kg/s} \\
 &= 2.857918 \text{ lb/s} \\
 \rho \text{ (Densitas)} &= 1014.2128 \text{ Kg/m}^3 \\
 &= 63.315275 \text{ lb/ft}^3 \\
 \mu \text{ (Viskositas)} &= 2.675209 \text{ Kg/m jam} \\
 &= 0.0004994 \text{ lb/ft s} \\
 n \text{ (Efisiensi pompa)} &= 0.85 \\
 &= 85\% \\
 C_i \text{ (Biaya tahunan)} &= 5.7 \text{ \$/tahun} \\
 C_o \text{ (Biaya listrik)} &= 840 \text{ Rp/kWh} \\
 &= 7358400 \text{ (\$/tahun)/(lb Ft}^2\text{/s}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

sehingga diameter optimum pipa reaktor :

$$\begin{aligned}
 0.391 \text{ ft} &= 0.1191372 \text{ m} \\
 &= 4.6904421 \text{ in}
 \end{aligned}$$

TABLE 11. DIMENSIONS OF STEEL PIPE (IPS)

Nominal pipe size, IPS, in.	OD, in.	Schedule No.	ID, in.	Flow area per pipe, in. ²	Surface per lin ft, ft. ² /ft.		Weight per lin ft, lb steel
					Outside	Inside	
1/8	0.405	40*	0.269	0.058	0.106	0.070	0.25
		80†	0.215	0.036		0.056	0.32
1/4	0.540	40*	0.364	0.104	0.141	0.095	0.43
		80†	0.302	0.072		0.079	0.54
3/8	0.675	40*	0.493	0.192	0.177	0.129	0.57
		80†	0.423	0.141		0.111	0.74
1/2	0.840	40*	0.622	0.304	0.220	0.163	0.85
		80†	0.546	0.235		0.143	1.09
3/4	1.05	40*	0.824	0.534	0.275	0.216	1.13
		80†	0.742	0.432		0.194	1.48
1	1.32	40*	1.049	0.864	0.344	0.274	1.68
		80†	0.957	0.718		0.250	2.17
1 1/4	1.66	40*	1.380	1.50	0.435	0.362	2.28
		80†	1.278	1.28		0.335	3.00
1 1/2	1.90	40*	1.610	2.04	0.498	0.422	2.72
		80†	1.500	1.76		0.393	3.64
2	2.38	40*	2.067	3.35	0.622	0.542	3.66
		80†	1.939	2.95		0.508	5.03
2 1/2	2.88	40*	2.469	4.79	0.753	0.647	5.80
		80†	2.323	4.23		0.609	7.67
3	3.50	40*	3.068	7.38	0.917	0.804	7.58
		80†	2.900	6.61		0.760	10.3
4	4.50	40*	4.026	12.7	1.178	1.055	10.8

$$\text{ID} = 4.026 \text{ in} = 0.1022604 \text{ m}$$

$$\text{sch} = 40$$

$$\text{OD} = 4.5 \text{ in}$$

$$t = 0.474 \text{ in}$$

$$w = 10.8 \text{ lb/ft}$$

sehingga diperoleh 2 buah persamaan dari neraca massa dan neraca

panas sebagai berikut :

$$\Leftrightarrow \frac{dX}{dZ} = \pi/4 \cdot \frac{D_i^2}{F_{ao}} \cdot k \cdot C_{ao} \cdot (1 - X) \dots\dots\dots 1)$$

dan

$$\Leftrightarrow \frac{dT}{dZ} = \frac{(\Delta H_{R,T}) \cdot K \cdot C_{ao}(1 - X) \cdot \pi \cdot D^2}{4 \cdot \sum F_{ao} (C_{Pi} + \Delta CP)} \dots\dots\dots 2)$$

5. Panjang reaktor

Panjang pipa reaktor diperoleh dengan melanyelesaikan persamaan 1) dan 2) secara simultan dengan bantuan Pemograman Komputer Matlab berupa Simulink Simultan Deffrential Equation diperoleh panjang pipa (untuk konversi 0.9999 = 1) adalah : 229 meter
Volume reaktor = 1.88079 m3

6. Tebal pipa

tebal pipa dihitung menggunakan persamaan :

$$t = \frac{P \times d}{20 \sigma_d + P}$$

dengan :

P = Tekanan desain (lb/in ²)	16.17
d = diameter luar pipa (in)	4.5
σ_d = Design stress (lb/in ²)	1875

Tekanan operasi pipa adalah 1 atm dan diambil faktor keamanan untuk desain 10%, sehingga tekanan desain = 1.1 atm
= 16.165545 lb/in²

$$t = \frac{24.24832 \text{lb/in}^2 \times 4.5 \text{in}}{(20 \times 18750) \text{lb/in}^2 + 24.24832 \text{lb/in}^2} = 0.00194 \text{ in}$$

Berdasarkan Tabel.11 Brownell & Young untuk bahan *steel pipe* diperoleh tebal pipa = 0.474 in sehingga untuk tebal = in memenuhi.

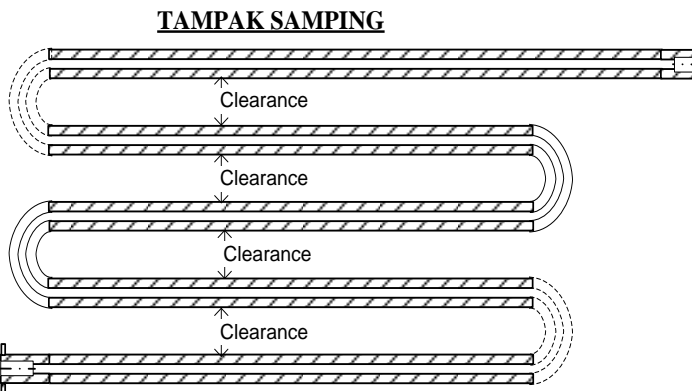
7. Susunan Panjang Pipa

Pipa reaktor sepanjang 229 m tersebut disusun menyerupai huruf s yang berulang dan bertingkat.

Pipa / sambungan	Panjang / Panjang ekuivalen		Jumlah	Total (meter)
	(ft)	(m)		
Pipa Lurus	21	6.4008	16	102.41280
Union	0.06234	0.20452	32	6.54467
Pipa U	7.66953	2.33767	15	115.04295
Panjang keseluruhan				224.00042
tambahan	16.403	5.000	5	4.99958
Total				229

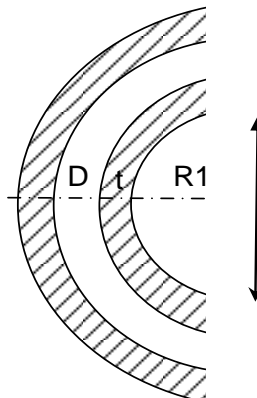
8. Susunan rangka pipa reaktor

Menghitung tinggi rak :



jarak antar lantai adalah = clearance + OD pipa

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 4.5 \text{ in} \\ &= 0.1143 \text{ m} \end{aligned}$$



sedangkan clearance = diameter lingkaran dalam pipa U

Panjang equivalen untuk Pipa U =

1/2 keliling lingkaran dengan jari-jari
dari ID pipa U dari sumbu lingkaran.

$$2.338 = 2 (\text{Pi}) R$$

dengan :

$$R = 1/2 \text{ OD} + R1$$

$$R = 0.05715 + R1$$

sehingga :

$$2.338 = 2 (3.14) (0.05715 + R1)$$

$$2.338 = 0.359 + 6.28 R1$$

$$R1 = 0.315 \text{ m}$$

$$\text{sehingga clearance} = 0.63 \text{ m}$$

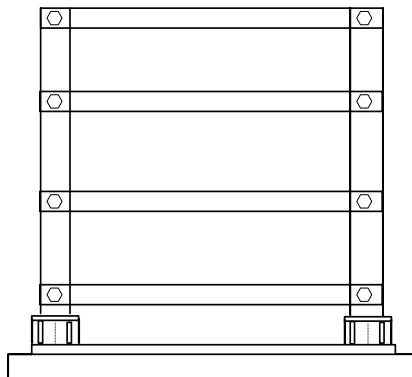
$$\text{jadi jarak antar lantai} = \text{clearance} + \text{OD}$$

$$= 0.7443 \text{ m}$$

$$\text{karena ada 4 lantai, jadi tinggi rak} = 2.9772 \text{ m}$$

9. Dimensi rak penyangga pipa :

PENYANGGA PIPA REAKTOR



-
- 1 Rak disusun menjadi 4 lantai bertingkat
 - 2 Pipa lurus disusun sebanyak 4 buah untuk tiap rak
 - 3 Rak penyangga disambung dengan sistem baut

$$\begin{aligned}\text{Panjang rak} &= \text{Panjang pipa lurus} + 2 \text{ OD} \\ &= 6.6294 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar rak} &= 4 (\text{OD} + \text{clearance}) \\ &= 2.9772 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Tinggi rak} = 2.9772 \text{ m}$$

8 Rak Penyangga pipa reaktor

<i>Frequency</i>	<i>Output Power in hp</i>					
<i>60 Hz</i>	<i>0.5</i>	<i>0.75</i>	<i>1</i>	<i>1.5</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
	<i>15</i>	<i>20</i>	<i>25</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>

Table 9.1b (Nema motors)

$$\text{Static Pressure (P)} = \frac{h \text{ (ft)} \times SG}{2.31} \text{ (psi)}$$

5	7.5	10
60	75	100