

## Bab 3

### Perancangan Berdasarkan API 650

#### 3.1 Data Perancangan

Data diperoleh dari bagian proses PT. IKPT pada proyek terminal transit utama di Tuban Jawa Timur. Dibawah ini tabel data perancangan tangki:

Tabel 3.1 Data perancangan tangki<sup>[4]</sup>

Referensi perancangan	API 650 edisi 11 tahun 2007	
Referensi <i>software</i> elemen hingga	ansys versi 11	
Kapasitas tangki	30.000	m <sup>3</sup>
Fluida	minyak tanah	
Massa jenis fluida	831	kg/m <sup>3</sup>
<i>Specify gravity</i>	0,831	
<i>Corrosion allowance</i>		
- pelat alas	1,5	mm
- pelat dinding	1,5	mm
- pelat atap	1,5	mm
Tekanan <i>internal</i> perancangan	101000	Pa
Temperatur perancangan	70	<sup>0</sup> C
Kecepatan angin perancangan	126	km/jam
Zona gempa	3	
Debit aliran masuk	4.550 m <sup>3</sup> /jam	
Bukaan ( <i>opening</i> )	<i>free vent</i> dia 10 in	
	<i>roof manhole</i> diameter 24 in	
	<i>gauge hatch</i> diameter 8 in	
	<i>tank gauge</i> diameter 8 in	
	<i>outlet</i> diameter 32 in	

### 3.2 Kriteria Perancangan

Pada analisis perancangan tangki ini hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan API 650

- a. Defleksi yang terjadi pada struktur atap harus kurang  $1/200L$  dengan  $L$  adalah panjang batang *rafter* atau *girder*.
- b. Modulus section minimum yang dibutuhkan pada struktur atap harus lebih kecil dari modulus section material yang dipilih.
- c. Untuk kolom radius girasi minimum pipa yang diperlukan harus lebih kecil dari radius pipa yang dipilih dan tegangan aktual yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan maksimum yang diijinkan berdasarkan nilai *slenderness ratio*.
- d. Tangki harus stabil terhadap beban angin. Tangki akan stabil terhadap momen yang diakibatkan oleh angin jika:

1.  $0.6 M_w + M_{pi} < MDL/1.5$

2.  $M_w + 0.4 M_{pi} < (MDL + MF)/2$

Dengan :

$M_{pi}$  = momen pada sambungan dinding dan pelat dasar karena tekanan *internal*

$M_w$  = momen balik terhadap sambungan dinding dan pelat dasar dari tekanan horizontal dan tekanan vertikal angin

$MDL$  = momen pada sambungan dinding dan pelat dasar akibat berat dari dinding dan atap yang disangga dinding

$MF$  = momen pada sambungan dinding dan pelat dasar karena fluida yang tersimpan di tangki

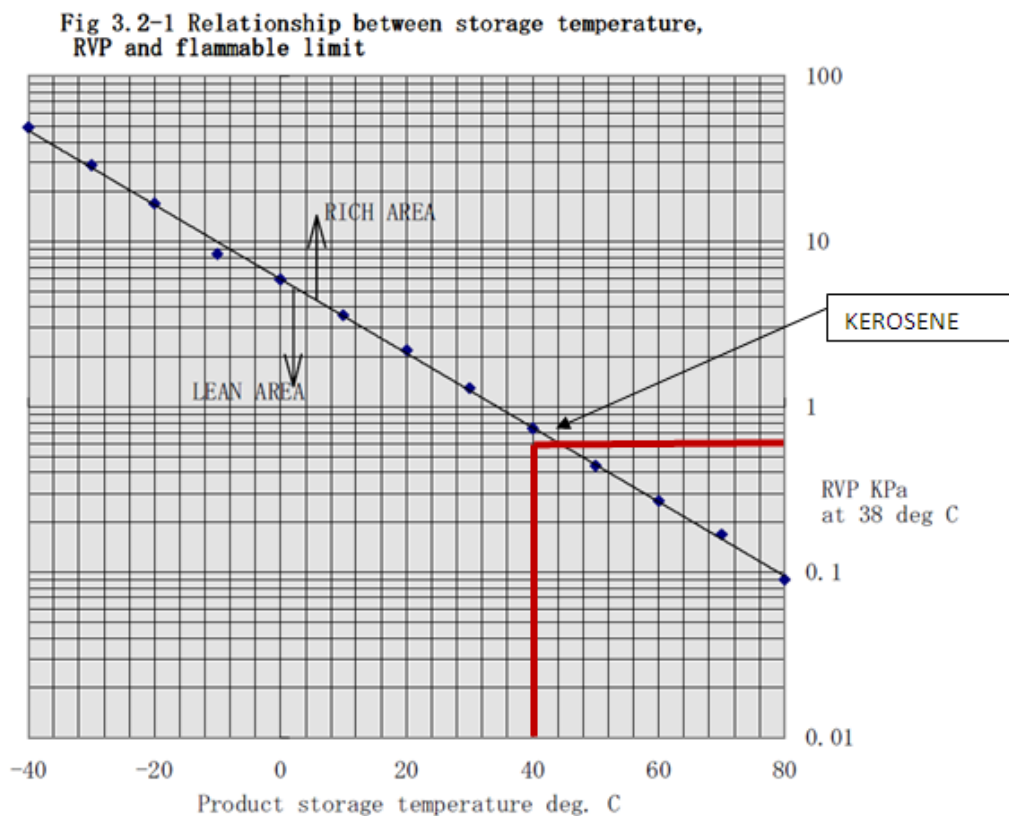
- e. Tangki harus stabil terhadap beban gempa. Tangki akan stabil terhadap beban gempa jika tegangan tekan longitudinal maksimum pada *shell* ( $b/1.000t$ ) lebih kecil dari tegangan maksimum yang diijinkan ( $F_a$ ) berdasarkan hasil perhitungan.

2. Tegangan yang terjadi harus kurang dari tegangan luluh material ( 250 MPa).

### 3.3 Pemilihan tipe tangki<sup>[12]</sup>

Tipe tangki dipilih berdasarkan standar praktis dari JGC 210-120-1-58E. Hal utama yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan tipe tangki adalah karakteristik dari fluida yang disimpan dan biaya konstruksinya.

Pada kasus pemilihan tipe tangki apakah menggunakan Fixed Roof ataukah Floating Roof dapat dilihat dari karakteristik fluida yang akan disimpan. Grafik 3.2-1 pada standar praktis JGC di bawah ini dapat digunakan untuk menentukan apakah fluida akan disimpan di tangki dengan atap tetap (*fixed roof*) atau atap mengapung (*floating roof*).



Gambar 3.1 Rich dan lean area<sup>[12]</sup>

Penggunaan grafik di atas didasarkan pada karakteristik fluida yang disebut dengan Reid *Vapor Pressure* (RVP) yaitu pengukuran dari tekanan uap cairan dalam pound per square inch pada 100 derajat Fahrenheit. Ini merupakan indikasi kecenderungan cairan menguap. Semakin besar nilai RVP semakin mudah cairan untuk menguap. Penentuan nilai RVP dilakukan dengan menggunakan alat test di laboratorium.

Pada daerah RICH AREA fluida mudah menguap sehingga meningkatkan kerugian penyimpanan sedangkan pada LEAN AREA fluida lebih sukar menguap. Jika cairan yang disimpan berada pada daerah LEAN AREA, maka tangki yang digunakan untuk menyimpan sebaiknya menggunakan tangki atap kerucut.

Jika cairan yang disimpan berada pada daerah RICH AREA, maka tangki yang digunakan sebaiknya menggunakan tipe floating roof agar kerugian akibat penguapan bisa dikurangi atau menggunakan tangki atap kerucut namun harus ada selimut gas nitrogen yang di semburkan ke permukaan cairan yang disimpan, gunanya untuk mencegah kontak antara cairan dengan oksigen yang bisa menyebabkan kebakaran. Engineer proses akan mempelajari manakah tangki yang lebih ekonomis untuk dipakai bila cairan yang disimpan berada pada RICH AREA, apakah menggunakan floating roof atukah cone roof dengan selimut gas nitrogen.

Pertimbangan yang kedua adalah biaya konstruksi tangki. Dilihat dari segi harga dapat diurutkan investasi yang diperlukan untuk mengkonstruksi tangki berdasarkan standar praktis JGC sebagai berikut :

*INTERNAL FLOATING ROOF (IFR) > EXTERNAL FLOATING ROOF (EFR) > DOME ROOF > CONE > OPEN TOP*

*Internal floating roof* memerlukan biaya paling besar untuk konstruksinya, sedangkan tangki tanpa atap terbuka (*open top*) memerlukan biaya paling murah. Dengan melihat urutan harga tangki maka dapat diperkirakan tipe tangki yang akan dibangun, disesuaikan dengan anggaran yang ada dan dengan tidak mengabaikan standar keselamatan.

Karakteristik fluida yang disimpan dapat dilihat pada gambar ini

9. PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES	
9.1	Physical State at 15° C and 1 atm: Liquid
9.2	Molecular Weight: Not pertinent
9.3	Boiling Point at 1 atm: 392-500°F = 200-260°C = 473-533°K
9.4	Freezing Point: -50°F = -45.6°C = 227.6°K
9.5	Critical Temperature: Not pertinent
9.6	Critical Pressure: Not pertinent
9.7	Specific Gravity: 0.80 at 15°C (liquid)
9.8	Liquid Surface Tension: 23-32 dynes/cm = 0.023-0.032 N/m at 20°C
9.9	Liquid Water Interfacial Tension: 47-49 dynes/cm = 0.047-0.049 N/m at 20°C
9.10	Vapor (Gas) Specific Gravity: Not pertinent
9.11	Ratio of Specific Heats of Vapor (Gas): Not pertinent
9.12	Latent Heat of Vaporization: 110 Btu/lb = 60 cal/g = $2.5 \times 10^5$ J/kg
9.13	Heat of Combustion: -18,540 Btu/lb = -10,300 cal/g = $-431.24 \times 10^5$ J/kg
9.14	Heat of Decomposition: Not pertinent
9.15	Heat of Solution: Not pertinent
9.16	Heat of Polymerization: Not pertinent
9.17	Heat of Fusion: Currently not available
9.18	Limiting Value: Currently not available
9.19	Reid Vapor Pressure: 0.1 psia

Gambar 3.2 RVP minyak dan temperatur penyimpanan minyak<sup>[17]</sup>

Berdasarkan tabel di atas nilai RVP kerosene adalah 0.1 psia (0.6894757 kPa). Temperature maksimum penyimpanan kerosene sama dengan temperatur flash point pada tabel 2-20 *Refining Process Handbook* yaitu 40<sup>0</sup> C<sup>[17]</sup>. Data karakteristik fluida diplot ke dalam grafik 3.2-1 pada standar praktis JGC seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.

Berdasarkan dua pertimbangan di atas yaitu karakteristik fluida dan biaya konstruksi tangki maka tangki tipe cone roof memenuhi syarat. Untuk selanjutnya perancangan yang dilakukan menggunakan tipe atap ini.

### 3.4 Penentuan dimensi tangki

Standar API 650 tidak mengatur pemilihan dimensi tangki dengan kapasitas lebih besar dari 16.442 m<sup>3</sup>. Oleh karena itu, dimensi tangki dipilih berdasarkan standar praktis JGC

Tabel 3.1 Kapasitas dan dimensi tangki<sup>[12]</sup>

#### APPENDIX-I TANK CAPACITY LIST (>5000KL)

Tank size > 5000 kl	Stage	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
2430mm	Height	10.985	12.2	13.415	14.63	15.845	17.06	18.275	19.49	20.705	21.92	23.135	24.35
6.080mm	Diameter												
	capacity m3												
10	19.35	3230	3588	3945	4302	4660	5017	5374	5731	6089			
11	21.28	3907	4339	4771	5203	5635	6068	6500	6932	7364	7796		
12	23.22	4652	5166	5681	6195	6710	7224	7739	8253	8768	9282	9797	
9120mm													
9	26.12	5886	6537	7188	7839	8490	9141	9793	10444	11095	11746	12397	13048
10	29.02	7266	8069	8873	9677	10480	11284	12088	12891	13695	14499	15302	16106
11	31.93		9769	10742	11715	12688	13661	14633	15606	16579	17552	18525	19498
12	34.83			12782	13939	15097	16255	17412	18570	19728	20885	22043	23200
11980mm													
10	38.13				16706	18093	19481	20868	22255	23643	25030	26418	27805
11	41.94				20211	21890	23568	25247	26925	28604	30282	31961	33639
12	45.76				24061	26059	28057	30055	32053	34052	36050	38048	40046
13	49.57				28234	30579	32924	35268	37613	39958	42303	44648	46992
14	53.38				32741	35460	38179	40898	43617	46336	49055	51775	54494
15	57.2				37595	40717	43839	46961	50083	53206	56328	59450	62572
16	61.01				42770	46322	49874	53426	56978	60530	64081	67633	71185
17	64.82				48278	52288	56297	60307	64316	68326	72335	76344	80354
18	68.64				54136	58632	63128	67624	72120	76616	81112	85608	90104
19	72.45				60313	65322	70331	75340	80349	85358	90366	95375	100384
20	76.26				66823	72373	77922	83472	89022	94571	100121	105670	111220
21	80.08				73686	79805	85925	92044	98163	104283	110402	116522	122641
22	83.89				80864	87580	94295	101011	107726	114442	121158	127873	134589
23	87.7				88376	95715	103055	110394	117734	125073	132413	139752	147092
24	91.52				96242	104235	112228	120221	128213	136206	144199	152192	160185
25	95.33				104422	113094	121767	130439	139111	147783	156455	165127	173799
26	99.14				112936	122315	131694	141073	150453	159832	169211	178590	187969



Dari tabel di atas dilakukan iterasi untuk memperoleh tangki yang optimal dengan kapasitas netto dengan tahap perhitungan sebagai berikut:

#### 1. Menentukan diameter

Diamter tangki yang dipilih untuk iterasi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Dimensi tangki yang akan diiterasi

Diameter (m)	Tinggi (m)
49,570	18,275
49,570	17,060
49,570	19,490
53,380	15,845
45,760	20,706

2. Menentukan jarak minimum antara dasar tangki dengan pusat lingkaran bukaan berdasarkan standar tabel 5-6. Berdasarkan tabel tersebut dan dengan menggunakan diameter pipa 32 inchi maka diperoleh jarak minimumnya sebesar 820 mm.
3. Menghitung nilai LLL dan HLL

Definisi mengenai kapasitas tangki dapat dijelaskan sebagai berikut :

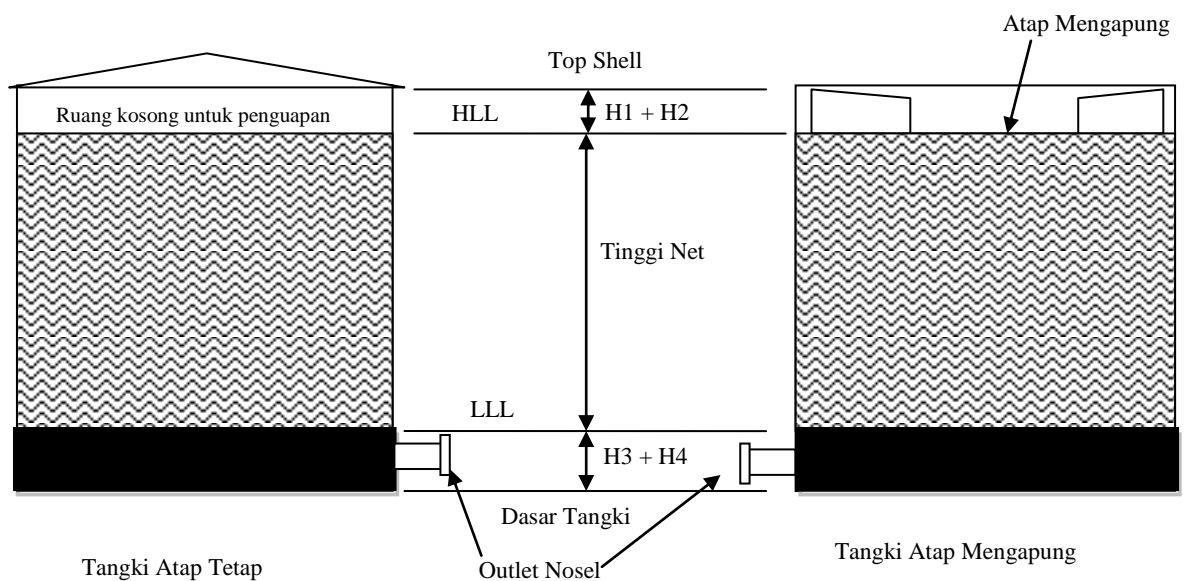
- a) Kapasitas Geometri adalah volume dari keseluruhan silinder tangki vertikal.
- b) Kapasitas penyimpanan adalah volume dari dasar tangki sampai fluida tertinggi (HLL).
- c) Kapasitas Net adalah volume dari titik rendah fluida (LLL) sampai titik tertinggi fluida (HLL).

Catatan :

LLL : Low Liquid Level ( titik rendah fluida)

HLL : High Liquid Level (titik tertinggi fluida)

Dibawah ini gambar mengenai penjelasan kapasitas tangki.



**Gambar 3.3 Rincian kapasitas tangki<sup>[12]</sup>**

Pada gambar 3.3 fluida yang dapat digunakan hanya fluida yang ditandai dengan arsir titik-titik, sedangkan yang diblok warna hitam tidak dapat digunakan karena tidak bisa dikeluarkan dari tangki, kecuali untuk pada saat tangki dikuras atau dibersihkan saja.

Untuk menentukan H3 + H4 sesuai dengan manual dari JGC adalah sebagai berikut ini :

a.  $H3+H4 = [\text{Minimum ketinggian nosel di tabel 5-6 API 650}] + [\frac{1}{2} \text{ Diameter pipa nosel } ]+300\text{mm}$

Catatan : rumus ini berlaku untuk nosel *outlet*  $\geq 12$  inchi

b.  $H3+H4 = [\text{Minimum ketinggian nosel di tabel 5-6 API 650}] + [\frac{1}{2} \text{ Diameter pipa nosel } ]+150\text{mm}$

Catatan : rumus ini berlaku untuk nosel *outlet*  $\leq 10$  inchi

Tinggi H1 + H2 dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut ini :

- H1 : umumnya diambil 0 jika tidak ada peralatan yang perlu dipasang dari HLL sampai ke top *shell*
- H2 : 150 mm atau 30 menit pertambahan ketinggian fluida karena pengisian, diambil yang terbesar.

Hasil perhitungan iterasi dimensi tangki ditunjukkan pada tabel di bawah ini

Tabel 3.3 Hasil iterasi dimensi tangki

Diameter (m)	Tinggi (m)	luas (m <sup>2</sup> )	H3 + H4 (m)	H1 + H2 (m) min 0, 15	Tinggi netto (m)	total tinggi (m)	selisih (m)
49,570	18,275	1.930,645	1,633	1,178	15,539	18,350	0,075
49,570	17,060	1.930,645	1,633	1,178	15,539	18,350	1,290
49,570	19,490	1.930,645	1,633	1,178	15,539	18,350	-1,140
53,380	15,845	2.238,833	1,633	1,016	13,400	16,049	0,204
45,760	20,706	1.645,268	1,633	1,383	18,234	21,250	0,544

Berdasarkan tabel hasil perhitungan diatas dipilih dimensi tangki yang memiliki selisih antara tinggi hasil perhitungan dan tinggi pada tabel yang paling kecil yaitu sebagai berikut:

- a. Diameter tangki : 49,57 m
- b. Tinggi tangki : 18,275 m
- c. Tinggi fluida : 17,50 m

Material yang digunakan:

- a. Untuk *shell* A-573-70 / A-36
- b. Roof A-36
- c. Botom A-36
- d. Structural A-36

### 3.5 Perancangan Dinding Tangki

Perhitungan ketebalan dinding menggunakan metode 1-foot pada API 650. Perkiraan jumlah dan lebar pelat yang akan dipakai sesuai ketinggian tangki dan pelat yang ada di pasaran. Dinding terdiri dari 8 *course* dengan lebar untuk *course* 1-7 adalah 2.400 mm sedangkan *course* ke-8 paling atas adalah 1.475 mm. Material yang digunakan adalah A-36 dengan sifat seperti di tabel bawah ini.

#### a. Pemilihan material

Tabel 3.4 Tegangan design dan tegangan tes hidrostatik material A-36M

<i>Course shell</i>	Spesifikasi Material	Grup material	Sd (MPa)	St (MPa)
8	A-36M	II	160	171
7	A-36M	II	160	171
6	A-36M	II	160	171
5	A-36M	II	160	171
4	A-36M	II	160	171
3	A-36M	II	160	171
2	A-36M	II	160	171
1	A-36M	II	160	171

b. Perhitungan

Untuk *course* pertama dihitung berdasarkan metode 1-foot pada standar API 650 paragraf 5.6 sebagai berikut:

$$t_d = \frac{4,9D(H - 0,3)G}{S_d} + CA$$
$$t_t = \frac{4,9D(H - 0,3)}{S_t}$$

Keterangan:

- $T_d$  = ketebalan rancangan dinding (mm)
- $T_t$  = ketebalan tes hidrostatik dinding (mm)
- $D$  = diameter nominal tangki (m)
- $H$  = rancangan ketinggian fluida (m)
- $G$  = specific gravity dari fluida yang akan disimpan
- $CA$  = tebal korosi yang diijinkan (mm)
- $S_d$  = tegangan yang diijinkan untuk kondisi perancangan (MPa)
- $S_t$  = tegangan yang diijinkan untuk kondisi tes hidrostatik (MPa)

$$t_d = \frac{4,9 \times 49,57(17,50 - 0,3)0,831}{160} + 1,5 \text{ mm}$$

$$t_d = 23,2 \text{ mm}$$

$$t_t = \frac{4,9 \times 49,57(17,50 - 0,3)}{171} \text{ mm}$$

$$t_t = 24,43 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas tebal minimum pelat yang dipakai adalah 24,43 mm. Sedangkan berdasarkan API 650 paragraf 5.6.1.1 ketebalan minimum pelat untuk tangki dengan diameter  $36 < D < 60$ m adalah 8 mm. Ketebalan korosi yang diijinkan adalah 1,5 mm. Jadi tebal pelat yang dipakai minimum 25,93 mm dan karena dipasaran yang tersedia paling dekat adalah 26 mm maka pelat yang digunakan adalah 26 mm.

Dengan cara perhitungan yang sama dengan diatas, maka diperoleh hasil seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.5 Hasil perhitungan ketebalan pelat *shell*

Course	Lebar	H	$t_d$	$t_t$	Tbal perhitungan	Tbal min API 650	Tbal min digunkn	Tbal terpakai
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
# 1	2.400,00	17.500,00	23,20	24,43	24,43	8	25,93	26
# 2	2.400,00	15.100,00	20,17	21,02	21,02	8	22,52	24
# 3	2.400,00	12.700,00	17,14	17,61	17,61	8	19,11	20
# 4	2.400,00	10.300,00	14,12	14,20	14,20	8	15,70	16
# 5	2.400,00	7.900,00	11,09	10,80	11,09	8	12,59	14
# 6	2.400,00	5.500,00	8,06	7,39	8,06	8	9,56	12
# 7	2.400,00	3.100,00	5,03	3,98	5,03	8	6,53	8
# 8	1.475,00	700,00	2,00	0,57	2,00	8	3,50	8

### 3.6 Perancangan Alas Tangki

Tangki ini termasuk tangki ukuran besar ( $36 < D < 60m$ ). Berdasarkan API 650 paragraf 5.4.1. ketebalan minimum pelat dasar adalah 6 mm dengan berat persatuan luasnya 49,8 kg/m<sup>2</sup>. Ketebalan korosi yang diijinkan adalah 1,5 mm sehigga ketebalan pelat minimum yang dipakai 7,5 mm. Karena ketebalan pelat di pasaran yang paling dekat adalah 8 mm maka ketebalan pelat yang dipilih adalah 8 mm.

#### Perancangan Pelat Anular Tangki

Langkah menentukan tabal pelat annular sebagai berikut:

- a) Menentukan besarnya tegangan hidrostatik tes pada *shell* pertama

Ketebalan *shell course* pertama adalah 26 mm

$$t_t = \frac{4,9D(H - 0,3)}{S_t}$$

$$S_t = \frac{4,9D(H - 0,3)}{t_t}$$

$$S_t = \frac{4,9 \times 49,57(17,50 - 0,3)}{26}$$

$$S_t = 160,68 \text{ MPa}$$

b) Pemilihan ketebalan pelat annular berdasarkan tabel

Tabel 3.6 Ketebalan pelat dasar annular

**Table 5-1—Annular Bottom-Plate Thicknesses ( $t_{br}$ )**

Plate Thickness <sup>a</sup> of First Shell Course (mm)	SI Units			
	Stress <sup>b</sup> in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 38$	8	11	14	17
$38 < t \leq 45$	9	13	16	19

Ketebalan minimum pelat Annular berdasarkan perhitungan diatas dan tabel 5-1 API 650 paragraf 5.5.3 adalah 6 mm. Karena ketebalan korosi yang diijinkan adalah 1,5 mm maka ketebalan minimum pelat *annular* adalah 7,5 mm. Berdasarkan ketersediaan pelat yang ada di pasaran maka yang digunakan adalah 8 mm.

c) Menentukan lebar radial pelat annular dihitung

Berdasarkan API 650 paragraf 5.5.2, lebar radial pelat annular minimum adalah 600 mm. Perhitungan lebar radial pelat annular ditentukan dengan rumus:

$$L = \frac{215t_b}{(HG)^{0.5}}$$

$$L = \frac{215 \times 26}{(17,50 \times 0,831)^{0.5}}$$

$$L = 1465.9 \text{ mm}$$

Karena dari hasil perhitungan nilainya 1.465,9 mm maka lebar radial pelat annular yang dipakai yang lebih besar yaitu 1800 mm sesuai dengan minimum persyaratan API-650 dan ketersediaan material pelat di pasaran yang nilainya terdekat.

### 3.7 Perancangan penguat antara pada *shell* tangki (*intermediate wind girder*)

Penguat ini berupa profil L yang dipasang melingkar pada pertengahan arah vertikal *shell* tangki yang bertujuan untuk memperkuat tangki dari pengaruh

beban angin. Penguat antara ini diperlukan jika nilai lebar *transpose course shell* melebihi ketinggian maksimum tangki tanpa penguat antara.

Perhitungan lebar *transpose course shell* bawah menggunakan rumus API 650 paragraf 5.9.7.2 sebagai berikut:

$$W_{tr} = W \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{aktual}}\right)^5}$$

Keterangan:

$W_{tr}$  = lebar *transpose* dari masing-masing *course shell* (mm)

$W$  = lebar aktual dari masing-masing *course shell* (mm)

$t_{uniform}$  = tebal *course shell* paling atas (mm)

$t_{aktual}$  = tebal *course shell* yang akan dihitung *transposenya* (mm)

Dengan memasukkan nilai  $W = 2400$  mm,  $t_{uniform} = 8$  mm,  $t_{aktual} = 8$  mm, untuk *course shell* paling atas maka akan diperoleh lebar *transpose* sebagai berikut:

$$W_{tr} = 2400 \sqrt{\left(\frac{8}{8}\right)^5} \text{ mm}$$

$$W_{tr} = 2.400 \text{ mm}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh lebar *transpose* seperti tabel dibawah ini:

Tabel 3.7 Hasil perhitungan tebal *transpose*

Course	$W$	$t_u$	$t_a$	$W_{tr}$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
# 1	2.400	8	26	126
# 2	2.400	8	24	153
# 3	2.400	8	20	242
# 4	2.400	8	16	424
# 5	2.400	8	14	592
# 6	2.400	8	12	870
# 7	2.400	8	8	2.400
# 8	1.200	8	8	2.400
lebar <i>transpose</i> total				7.210

Jadi  $W_{tr}$  adalah 7,21 m

Untuk mengecek apakah perlu dipasang penguat antara atau tidak dilakukan perhitungan ketinggian maksimum tangki tanpa penguat dengan rumus API 650 paragraf 5.9.7.1 sebagai berikut:

$$H_1 = 9,47t \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \left(\frac{190}{V}\right)^2} m$$

Dengan:

$H_1$  = jarak vertikal penguat antara dengan penguat atas (m)

$t$  = tebal *course shell* paling atas (mm)

$D$  = diameter nominal tangki (m)

$V$  = kecepatan angin perancangan (km/h)

Dengan memasukkan nilai  $t = 8$  mm,  $D = 49,57$  m,  $V = 126$  km/h maka tinggi maksimumnya:

$$H_1 = 9,47 \times 8 \sqrt{\left(\frac{8}{49,57}\right)^3 \left(\frac{190}{126}\right)^2} m$$

$$H_1 = 11,168 m$$

Karena  $H_1 > W_{tr}$  maka tangki tersebut tidak perlu diberi penguat antara.

### 3.8 Perancangan penguat atas pada *shell* tangki (*Top-Angle*)

Untuk tangki umum perancangan penguat atas dapat dilakukan dengan memilih dimensi profil L sesuai tabel pada API 650 paragraf 5.1.5.9 huruf e sebagai berikut:

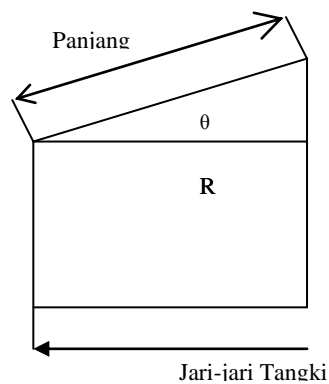
Tabel 3.8 Ukuran minimum penguat berdasarkan diameter tangki<sup>[3]</sup>

Diameter tangki (D)	Ukuran minimum penguat (mm)
$D \leq 11$ m	51 x 51 x 4,8
$11 \text{ m} \leq D \leq 18$ m	51 x 51 x 6,4
$D \geq 18$ m	76 x 76 x 9,5

Karena tangki yang di perancangan diameternya 49,57 m maka ukuran penguat atas minimum adalah 76 x 76 x 9,5 mm.

### 3.9 Perancangan Atap Tangki

Atap yang akan dirancang adalah atap kerucut berpenyangga utama kolom (supported cone roof). Tangki ini menggunakan atap *structurally supported conical roof* (atap kerucut dengan struktur penyangga). Di bawah ini skema atap tersebut



**Gambar 3.4 Struktur payangga atap**

$$\begin{aligned} \text{Kemiringan} &= 1 : 16 \\ \Theta &= 3,58^{\circ} \\ \text{CA} &= 1,5 \text{ mm} \\ \text{R} &= 24,785 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Ketebalan Pelat Atap

Ketebalan pelat atap kurucut minimum berdasarkan API 650 paragraf 5.10.2.2 adalah 3/16 in atau 5 mm.

Ketebalan pelat yang digunakan:

$$T_{\text{min}} + \text{CA} = 5 + 1,5 \text{ mm} = 6,5 \text{ mm}$$

Pelat dipasaran yang mendekati adalah 8 mm sehingga pelat atap yang dipakai adalah 8 mm.

### 3.10 Perancangan Struktur Penyangga Atap

Pembebanan *rafter* dimodelkan dengan pembebanan berbentuk trapezium. Beban berasal dari beban pelat atap yang disebut beban mati, dan beban minimum tambahan sebesar  $101.9716 \text{ kg/m}^2$  yang disebut beban hidup. Disamping itu berat sendiri dari *rafter* juga diperhitungkan dalam model pembebanan.

Langkah-langkah perhitungan dalam perancangan struktur penyangga atap tangki:

a) Penentuan jumlah ring

Penentuan jumlah ring *rafter* ini berdasarkan diameter tangki dan ketersediaan panjang profil *rafter* dipasaran. Panjang profil standar dipasaran adalah 6 m, 9 m dan 12 m.

Pada kasus ini ditentukan panjang profil yang dipakai 6 meter.

$$\begin{aligned} D &= 49,57 \text{ m} \\ R &= D/2 \text{ (radius tangki)} \\ &= 49,57/2 \\ &= 24,785 \text{ m} \end{aligned}$$

Kemiringan 1: 16 maka sudutnya  $\tan^{-1}(1/16) = 3.58^{\circ}$

Panjang total *rafter* =  $R/\cos \theta$

$$\begin{aligned} L &= \frac{24,785}{\cos 3,58^{\circ}} \\ &= 24,834 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah ring ditentukan dengan membagi radius dengan panjang profil *rafter* yang dipilih.

$$\begin{aligned} n &= \frac{24,834}{6} \\ &= 4,14 \end{aligned}$$

Angka hasil perhitungan di atas dibulatkan menjadi 5

### 3.10.1 Menentukan jumlah *rafter*

Kemiringan penyangga adalah 1:16, berdasarkan API 650 paragraf 5.10.4.4 jarak antar penyangga pada lingkaran paling luar atau lingkaran diatas *shell* adalah 1,914 m, sedangkan pada lingkaran dalam 1,7 m.

$$N = \frac{2.\pi.r}{l}$$

Keterangan:

N= jumlah penyangga minimum

r = jari-jari tangki (m)

l = jarak maksimum antar penyangga (m)

Dengan memasukkan nilai r = 4,785 m, dan l = 1,7 m, diperoleh jumlah penyangga minimum:

$$\begin{aligned}rafter &= \frac{2.\pi.4,785}{1.7} \\rafter &= 17,68\end{aligned}$$

Untuk mempermudah pemasangan digunakan penyangga sebanyak 24 buah sehingga sudut juring yang terbentuk adalah 15<sup>0</sup>. Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh jumlah dan panjang *rafter* ring 2,3,4, dan 5 seperti pada tabel 3.9.

Tabel 3.9 Jumlah *rafter*

No <i>rafter</i>	Lokasi jari-jari luar	Jumlah <i>rafter</i> total	Panjang maksimum (m)	Jarak antar <i>rafter</i> (m)
1	4,785	24	4,785	1,249
2	9,785	48	5,641	1,279
3	14,785	60	5,717	1,548
4	19,785	84	5,706	1,447
5	24,785	84	5,496	1,893

### 3.10.2 Menentukan beban *rafter*

Beban yang dikenai *rafter* ada dua jenis yaitu beban mati akibat berat atap dan berat *rafter* itu sendiri dan beban hidup. Dibawah ini perhitungan beban untuk *rafter* ring 1.

1. Beban mati = beban berat pelat atap + berat *rafter* itu sendiri

a. Pelat atap:

$$berat = \rho At$$

Keterangan:

$\rho$  = massa jenis material atap ( $\text{kg/m}^3$ )

A = luas juring ( $\text{m}^2$ )

T = tebal pelat atap (m)

$$berat = 7.850 \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot 15}{4.360} \times 0,008$$

$$berat = 7.850 \times \frac{\pi \cdot 9,57^2 \cdot 15}{4.360} \times 0,008$$

$$berat = 188,23 \text{ kg}$$

b. Berat *rafter*

Berat *rafter* diasumsikan dulu, sebagai *trial & error* dipilih *rafter* ukuran C 50 x 75 x 6.5 x 10 dengan berat persatuan panjang 18,6 kg/m. Maka berat *rafter* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Berat *rafter* = berat persatuan panjang x panjang *rafter*

$$= 18,6 \text{ kg/m} \times 4,785 \text{ m}$$

$$= 89 \text{ kg}$$

Beban mati = 188,23 kg + 89 kg

$$= 277,23 \text{ kg}$$

Jadi total beban mati adalah 277,23 kg

2. Beban hidup

Beban hidup merupakan beban tambahan sesuai dengan API 650 paragraf 5.2.1 huruf e, baban hidup minimum adalah 1 kPa atau 101,9716  $\text{kg/m}^2$ .

Berat tambahan = luas juring x beban tambahan sesuai API

$$= \frac{\pi \cdot D^2 \cdot 15}{4 \cdot 360} m^2 \times 101,9716 \text{ kg/m}^2$$

$$= 305,61 \text{ kg}$$

### 3. Beban total

Berat total = berat beban mati + berat beban hidup

$$= 277,23 + 305,61$$

$$= 582,85 \text{ kg}$$

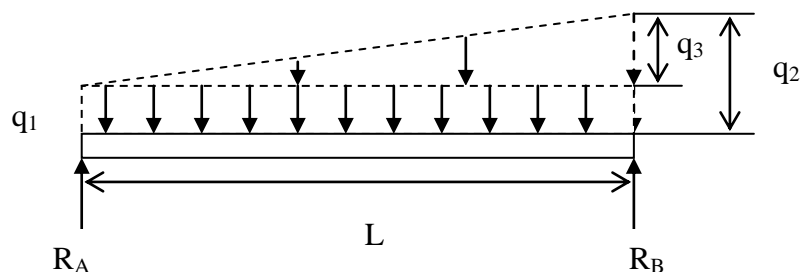
Jadi beban total yang dikenai oleh *rafter* ring 1 adalah 582,85 kg.

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh beban total yang dikenai oleh *rafter* ring 2,3,4, dan 5 seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.10 Beban pada *rafter*

Ring	Beban mati (kg)	Beban hidup (kg)	Beban total (kg)
1	277,23	305,61	582,84
2	442,89	548,76	991,65
3	568,39	750,27	1.318,67
4	943,88	1.335,04	2.278,92
5	1.142,07	1.663,00	2.805,07

Beban total *rafter* ring 1 diatas terdistribusi dalam bentuk trapesium seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3.5 Distribusi beban

Beban  $q_1$  dan  $q_2$  di tentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_1 &= (\text{lebar radius dalam} \times \text{beban hidup}) + (\text{lebar radius dalam} \times \text{tebal} \\ &\quad \text{pelat} \times \text{masa jenis pelat}) + (\text{berat } \textit{rafter} \text{ per satuan panjang}) \\ &= (0 \times 101,9716) + (0 \times 0,008 \times 7.850) \text{ kg/m} + (18,6) \text{ kg/m} \\ &= 18,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_2 &= (\text{lebar radius luar} \times \text{beban hidup}) + (\text{lebar radius luar} \times \text{tebal pelat} \\ &\quad \times \text{masa jenis pelat}) + (\text{berat } \textit{rafter} \text{ per satuan panjang}) \\ &= (1.249 \times 101,9716) + (1.249 \times 0,008 \times 7.850) \text{ kg/m} + (18,6) \text{ kg/m} \\ &= 224,40 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_3 &= q_2 - q_1 \\ &= 224,40 - 18,6 \text{ kg/m} \\ &= 205,80 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai  $q_1$ ,  $q_2$ , dan  $q_3$  untuk ring 2,3,4,dan 5 seperti tabel di bawah ini.

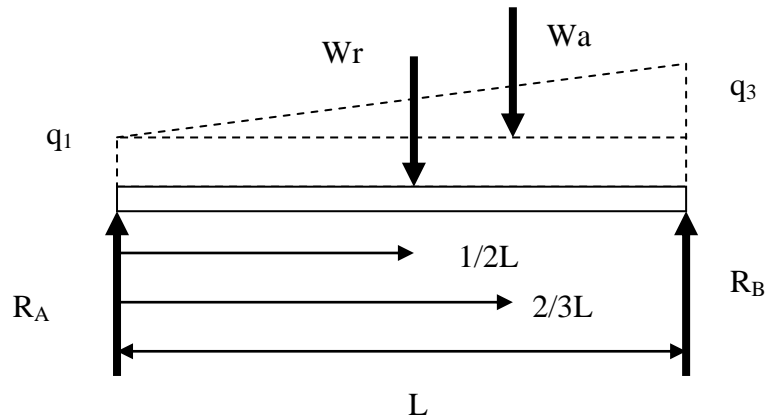
Tabel 3.11 Nilai  $q$

Ring	$q_1$ (kgm)	$q_2$ (kgm)	$q_3$ (kgm)
1	18,60	224,40	205,80
2	121,85	229,73	107,89
3	187,51	273,82	86,31
4	344,96	452,84	107,89
5	452,84	560,73	107,89

### 3.10.3 Analisis Mekanika Struktur Penyangga

#### a. Menentukan reaksi penyangga $R_A$ dan $R_B$

Reaksi penyangga dihitung dengan kesetimbangan momen. Sebelumnya dilakukan perhitungan analisis distribusi tegangan. Distribusi tegangan dibagi menjadi komponen beban segitiga dan persegi panjang seperti gambar 3.6.



**Gambar 3.6 Reaksi penyangga**

Distribusi tegangan dapat disederhanakan menjadi satu komponen yang letaknya di titik berat bangun sederhana tersebut. Untuk persegi panjang di \$L/2\$ sedangkan untuk segitiga di \$L/3\$.

Untuk ring 1 nilai \$R\_A\$ dan \$R\_B\$ di hitung dengan rumus sebagai berikut:<sup>[15]</sup>

$$\begin{aligned}
 R_A \times L &= \frac{1}{2} q_1 L^2 + \frac{1}{6} q_3 L^2 \\
 R_A &= L \left( \frac{1}{2} q_1 + \frac{1}{6} q_3 \right) \\
 &= 4,785 \left( \frac{1}{2} \cdot 18,6 + \frac{1}{6} \cdot 205,80 \right) \text{ kg} \\
 &= 208,63 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Reaksi pada penyangga \$R\_B\$

$$\begin{aligned}
 R_B &= W - R_A \\
 &= 582,84 - 208,63 \\
 &= 374,21 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

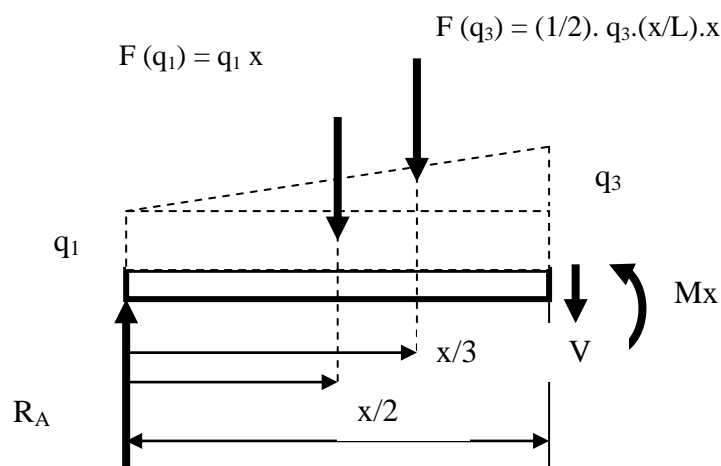
Jadi nilai reaksi tumpuan \$R\_A\$ dan \$R\_B\$ ring 1 adalah 208,63 kg dan 374,21 kg. Dengan cara yang sama diperoleh reaksi tumpuan \$R\_A\$ dan \$R\_B\$ untuk ring 2,3,4, dan 5 seperti pada tabel 3.12.

Tabel 3.12 Nilai reaksi tumpuan  $R_A$  dan  $R_B$

Ring	$R_A$ (kg)	$R_B$ (kg)
1	208,63	374,21
2	445,11	546,54
3	618,21	700,45
4	631,83	1.190,83
5	1.352,77	1.452,30

### b. Menentukan tegangan geser dan momen maksimum

Untuk menghitung tegangan geser dan momen maksimum dilakukan dengan metode pemotongan.



Gambar 3.7 Tegangan geser dan momen

#### 1. Menentukan tegangan geser

Tegangan geser dihitung dengan rumus sebagai berikut:

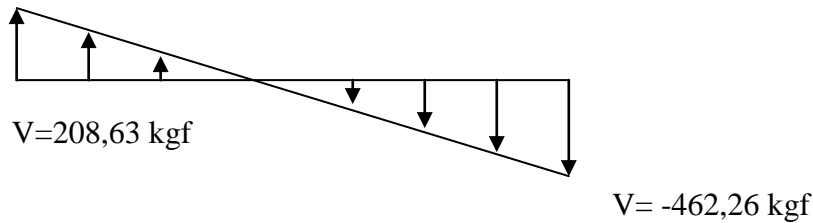
$$R_A - F(q_1) - F(q_3) - V = 0$$

$$208,63 - 18,6x - \frac{1}{2} \cdot 205,80 \left(\frac{x}{5}\right)x - V = 0$$

$$V = -20,58x^2 - 18,6x + 208,63$$

Pada  $x = 0$ , tegangan geser = 208,63 kgf  
 $x = L$ , tegangan geser = -462,26 kgf

Berikut ini gambar diagram tegangan geser:



**Gambar 3.8 Diagram tegangan geser**

Dengan cara yang sama diperoleh nilai tegangan geser pada *rafter* ring 2,3,4, dan 5 seperti tabel di bawah ini:

Tabel 3.13 Nilai tegangan geser

Ring	x = 0	x = L
1	208,63	-462,26
2	445,11	-528,34
3	618,21	-688,81
4	1.088,10	-1.176,08
5	1.352,77	-1.429,16

## 2. Menentukan momen maksimum

Besar momen  $M_x$  pada tiap titik sepanjang *rafter* dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$M_x = R_A x - \left[ \left( \frac{q_1}{2} x^2 \right) + \left( \frac{1}{3} x \cdot \frac{1}{2} q_3 \cdot \frac{x}{5} \cdot x \right) \right]$$

$$M_x = R_A x - \left[ \left( \frac{q_1}{2} x^2 \right) + 0,03 \cdot q_3 x^3 \right]$$

Nilai x berubah dari x = 0 pada tumpuan A dan x = L pada tumpuan B. Momen maksimum terjadi bila gaya geser (*shear force*) nilainya 0 (nol). Titik dimana gaya geser nilainya 0 terjadi pada saat nilai V = 0.

$$V = -20,58x^2 - 18,6x + 208,63 = 0$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan kuadrat dan untuk menyelesaikannya bisa digunakan rumus determinan sebagai berikut:

$$x_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$x_1 = \frac{-(-18,6) + \sqrt{(-18,6)^2 - 4x(-20,58)x208,63}}{2x(-20,58)}$$

$$= -3,67 \text{ m}$$

$$x_1 = \frac{-(-18,6) - \sqrt{(-18,6)^2 - 4x(-20,58)x208,63}}{2x(-20,58)}$$

$$= 2,76 \text{ m}$$

Dari kedua nilai x tersebut nilai yang mungkin adalah nilai x<sub>2</sub>, karena nilai x<sub>1</sub> negatif. Jadi momen maksimum *rafter* ring 1 terjadi pada x = 2,76 m. Dengan cara yang sama diperoleh nilai x untuk ring 2,3,4, dan 5 seperti tabel di bawah ini:

Tabel 3.14 Nilai x<sub>1</sub> dan x<sub>2</sub>

Ring 1	x <sub>1</sub> (m)	x <sub>2</sub> (m)
1	-3,67	2,76
2	-16,55	2,99
3	-29,03	2,96
4	-41,30	2,93
5	-53,20	2,83

Dengan memasukkan nilai x = 2,76 ke dalam persamaan momen diperoleh nilai momen maksimum *rafter* ring 1 sebagai berikut:

$$M_x = R_A x - \left[ \left( \frac{q_1}{2} x^2 \right) + 0,03 q_3 x^3 \right]$$

$$M_x = 208,63x2,76 - \left[ \left( \frac{18,6}{2} (2,76)^2 \right) + 0,03x205,806x(2,76)^3 \right]$$

$$M_{max} = 375,22 \text{ kgm}$$

$$= 37.522 \text{ kgcm}$$

Jadi nilai momen maksimum *rafter* ring 1 adalah 37.522 kgcm. Dengan cara yang sama nilai momen maksimum untuk *rafter* ring 2,3,4, dan 5 diperoleh seperti tabel di bawah ini:

Tabel 3.15 Nilai momen maksimum

Ring	M <sub>x</sub> (kgcm)
1	37.522,06
2	70.546,19
3	94.581,24
4	163.142,96
5	194.648,69

**c. Menentukan *modulus section minimum profil***<sup>[15]</sup>

Modulus section minimum dari profil yang di butuhkan dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Z = \frac{M}{f_y}$$

Keterangan:

Z = modulus section dari struktur

f<sub>y</sub> = tegangan leleh dari material penyangga.

**d. Menentukan defleksi maksimum**<sup>[15]</sup>

Defleksi maksimum yang terjadi dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$y = -\left( \frac{5q_1L^4}{384EI} + \frac{5q_3L^4}{768EI} \right)$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja ( 2.10<sup>5</sup> MPa)

I = momen inersia dari penyangga

Tanda negatif menunjukkan bahwa arah defleksi ke bawah, sedangkan positif bila defleksi ke atas.

**e. Melakukan *trial and error***

*Trial and error* dilakukan dengan memilih ukuran penyangga dan memasukkan *properties* penyangga tersebut ke dalam persamaan di atas. *Flowchart* untuk *trial and error* ditunjukkan pada gambar 3.9.

Pada *trial and error* pertama ini di pilih material *rafter* ring 1 profil C dengan ukuran 150 x 75 x 6.5 x 10 dengan sifat-sifat mekanik sebagai berikut:

Berat per satuan panjang	= 18,6 kg/m
Modulus section (Z)	= 115 cm <sup>3</sup>
Momon inersia (I)	= 861 cm <sup>4</sup>
Tegangan luluh (f <sub>y</sub> )	= 250 MPa
	= 2.549,29 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas (E)	= 200.000 MPa
	= 2.039.432 kg/cm <sup>2</sup>

1. Menentukan defleksi maksimum yang terjadi pada penyangga

Catatan : semua angka dalam satuan panjang yang dimasukan ke persamaan diubah dalam satuan centimeter.

$$L = 4,785 \text{ m, di ubah menjadi } 478,5 \text{ cm}$$

$$q_1 = 18,6 \text{ kg/m, di ubah menjadi } 0,186 \text{ kg/cm}$$

$$q_3 = 205,80 \text{ kg/m, di ubah menjadi } 2,058 \text{ kg/cm}$$

$$y = -\left(\frac{5q_1L^4}{384EI} + \frac{5q_3L^4}{768EI}\right)$$

$$y = \left(\frac{5 \times 0,186 \times 478,5^4}{384 \times 2.039.432 \times 861} + \frac{5 \times 2,058 \times 478,5^4}{768 \times 2.039.432 \times 861}\right)$$

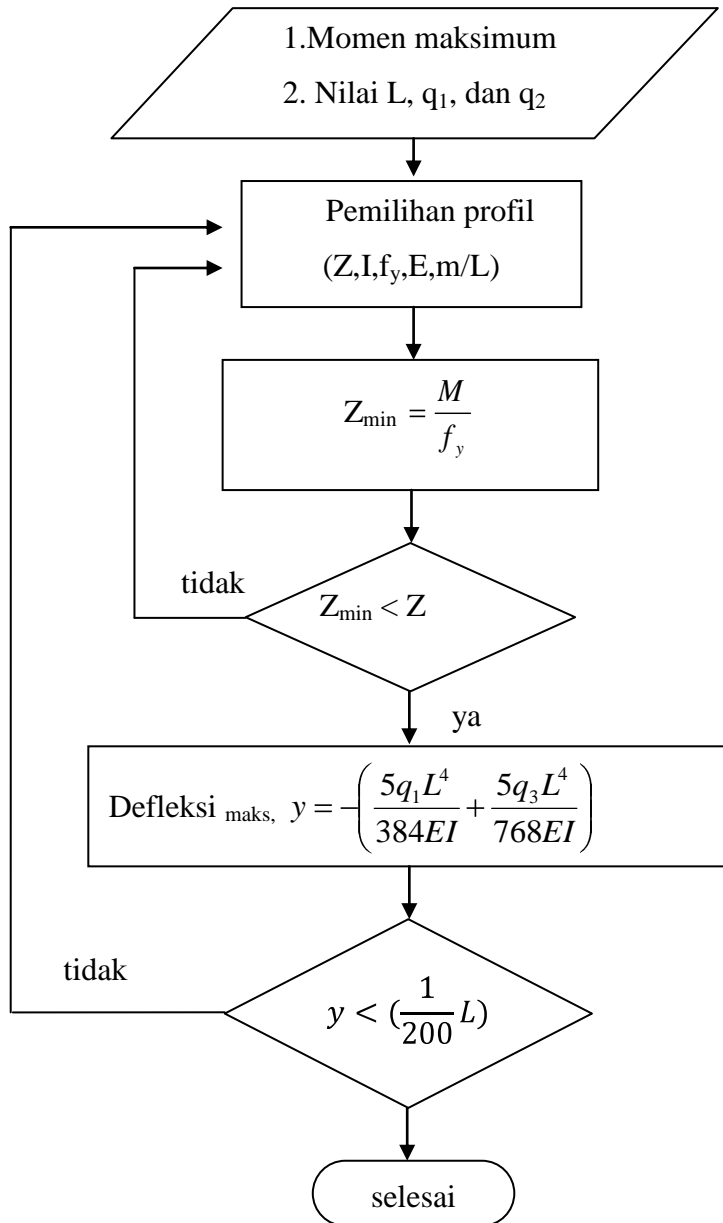
$$y = -0,47 \text{ cm}$$

Batasan defleksi maksimum yang di ijinakan pada penyangga berdasarkan standar AISC adalah 1/200 L

$$= 1/200 \times 478,5 \text{ cm}$$

$$= 2,39 \text{ cm}$$

Dibawah ini *flowchart* pemilihan profil *rafter*:



Gambar 3.9 Flochart pemilihan profil *rafter*

2. Menentukan defleksi maksimum yang terjadi pada penyangga

Catatan : semua angka dalam satuan panjang yang dimasukkan ke persamaan diubah dalam satuan centimeter.

$$L = 4,785 \text{ m, di ubah menjadi } 478,5 \text{ cm}$$

$$q_1 = 18,6 \text{ kg/m, diubah menjadi } 0,186 \text{ kg/cm}$$

$$q_3 = 205,80 \text{ kg/m, diubah menjadi } 2,058 \text{ kg/cm}$$

$$y = -\left(\frac{5q_1L^4}{384EI} + \frac{5q_3L^4}{768EI}\right)$$

$$y = \left(\frac{5 \times 0,186 \times 478,5^4}{384 \times 2.039.432 \times 861} + \frac{5 \times 2,058 \times 478,5^4}{768 \times 2.039.432 \times 861}\right)$$

$$y = -0,47 \text{ cm}$$

Batasan defleksi maksimum yang di ijinan pada penyangga berdasarkan standar AISC adalah  $1/200 L$

$$= 1/200 \times 478,5 \text{ cm}$$

$$= 2,39 \text{ cm}$$

Kesimpulan *trial and error* pertama

Berdasarkan hasil pengecekan di atas yaitu :

a) Modulus section dari penyangga yang dipilih ( $115 \text{ cm}^3$ ) lebih besar dari modulus section minimum yang diperlukan ( $24,53 \text{ cm}^3$ ) karena pembebanan.

b) Defleksi yang terjadi ( $0,47 \text{ cm}$ ) lebih kecil dari defleksi yang di ijinan ( $2,39 \text{ cm}$ ).

Maka profil C 150 x 75 x 6.5 x 10 memenuhi syarat sebagai *rafter* ring 1.

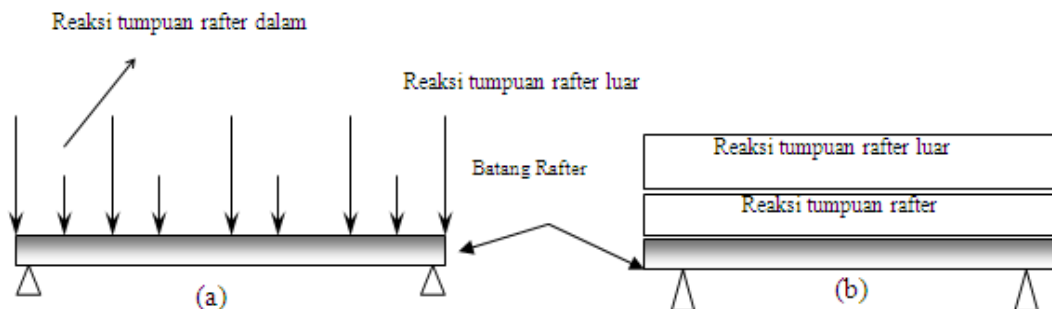
Dengan cara yang sama diperoleh profil untuk ring 2,3,4, dan 5 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.16 Nilai momen maksimum

Ring	Profil	Modulus (Z)		Defleksi		Keterangan
		yang diperlukan (cm <sup>3</sup> )	yang tersedia (profil) (cm <sup>3</sup> )	defleksi yang terjadi (cm)	Defleksi maksimum yang diijinkan (cm)	
1	C 150 x 75 x 6.5 x 10	24,53	115	-0,47	2,39	aman
2	C 150 x 75 x 6.5 x 11	27,67	115	-1,32	2,82	aman
3	C 150 x 75 x 6.5 x 12	37,1	115	-1,83	2,86	aman
4	H 200 x 100 x 5,5 x 8	106,67	184	-1,47	2,86	aman
5	H 200 x 100 x 5,5 x 9	127,27	184	-1,65	2,86	aman

### 3.11 Perancangan Penyangga Girder

*Girder* merupakan penyangga *rafter*. Profil yang umum digunakan untuk *girder* adalah batang profil WF (H dan I) tergantung ketersediaan dipasaran. Perhitungan kekuatan *girder* sama dengan perhitungan pada *rafter*. Model pembebanan seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.10 (a) Beban aktual pada girder (b) penyederhanaan model

Analisa pembebanan aktual terlalu rumit karena beban merupakan beban titik yang diakibatkan oleh tumpuan *rafter*. Untuk membuat analisa menjadi lebih mudah, pembebanan aktual disederhanakan menjadi beban terdistribusi merata. Total beban karena reaksi tumpuan *rafter* dalam dan *rafter* luar dijumlahkan dan didistribusikan merata keseluruhan *girder*.

### 3.11.1 Pembebanan

Beban yang diterima *girder* adalah jumlah semua reaksi tumpuan dari *rafter* dalam dan *rafter* luar yang menumpu pada *girder*.

Beban dari reaksi tumpuan *rafter* dalam untuk ring 1

$$\begin{aligned} W_1 &= \text{jumlah } \textit{rafter} \text{ dalam} \times \text{reaksi tumpuan} \\ &= 4 \times 208,63 \text{ kg} \\ &= 1.496,86 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban dari reaksi tumpuan *rafter* luar

$$\begin{aligned} W_2 &= \text{jumlah } \textit{rafter} \text{ luar} \times \text{reaksi tumpuan} \\ &= 8 \times 374,21 \\ &= 3.560,87 \text{ kg} \end{aligned}$$

Total beban

$$\begin{aligned} W &= 1.496,86 + 3.560,87 \text{ kg} \\ &= 5.057,72 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, pembebanan pada *girder* ring 2,3, dan 4 ditabelkan seperti dibawah ini:

Tabel 3.17 Pembebanan *girder*

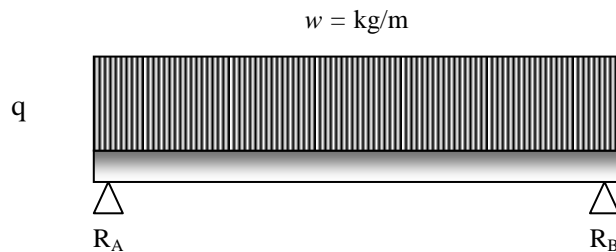
Ring	w <sub>1</sub> (kg)	w <sub>2</sub> (kg)	total (kg)
1	1.496,86	3.560,87	5.057,72
2	3.279,25	4.636,61	7.915,86
3	4.202,71	5.370,57	9.573,27
4	7.144,95	8.116,64	15.261,59

Beban ini akan didistribusikan merata sepanjang *girder* ring 1. Panjang *girder* ring 1 dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Jumlah } \textit{girder} = 6$$

$$\begin{aligned}
 \text{Radius girder} &= 4,785 \text{ m} \\
 \text{Panjang girder} &= 2R \sin\left(\frac{360}{2 \times \text{Girder}}\right) \\
 &= 2 \times 4,785 \sin\left(\frac{360}{2 \times 6}\right) \\
 &= 4,785 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Distribusi beban sepanjang girder ring 1 per unit panjang di modelkan seperti gambar di bawah ini:



**Gambar 3.11 Distribusi beban pada girder**

$$\begin{aligned}
 q &= 5.287,24 \text{ kg/5m} \\
 &= 1.057,45 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

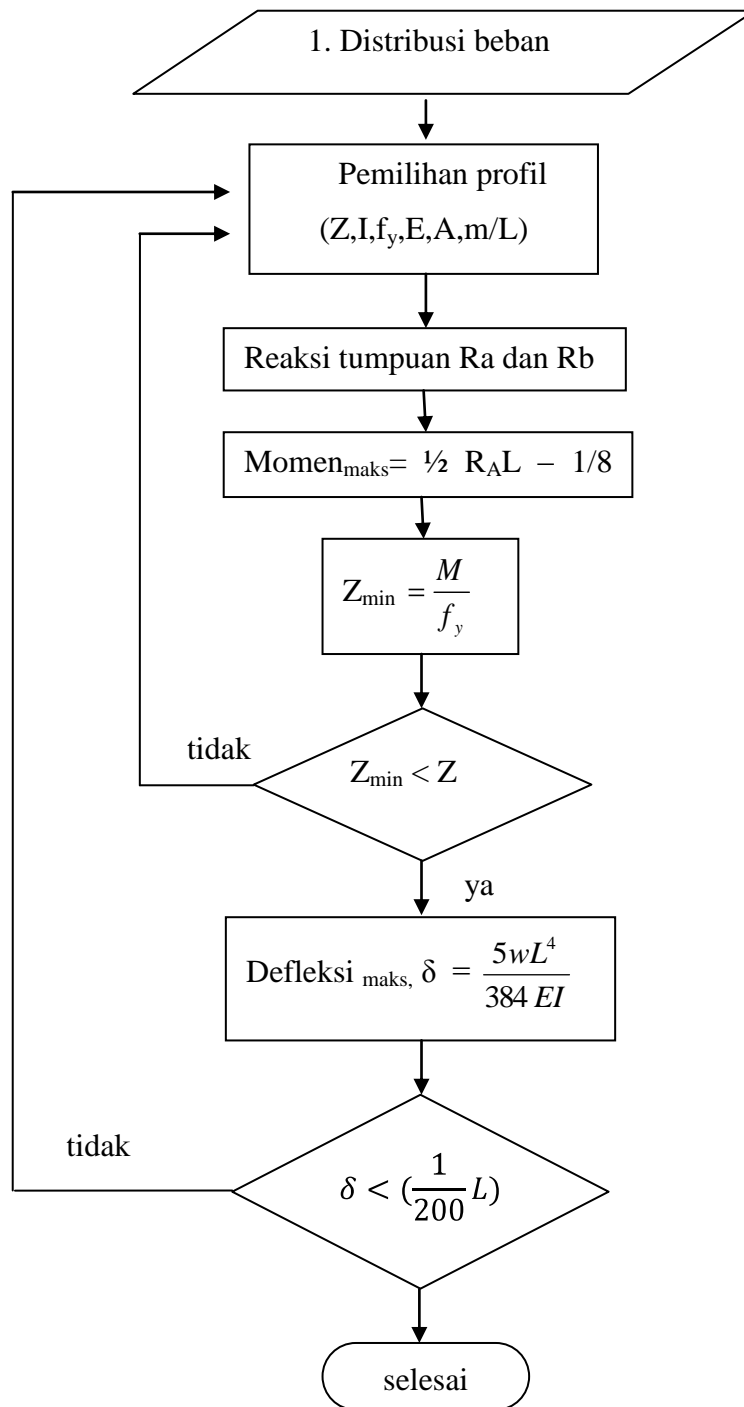
Dengan cara yang sama diperoleh panjang girder dan distribusi beban seperti tabel di bawah ini:

Tabel 3.18 Panjang dan distribusi beban pada girder

Ring	Jumlah girder	Panjang (m)	distribusi beban (kg/m)
1	6	4,785	1.057,00
2	8	7,489	1.057,00
3	10	9,138	1.047,63
4	14	8,805	1.733,29

### 3.11.2 Trial and error

*Trial and error* dilakukan dengan memilih ukuran penyangga dan memasukkan *properties* penyangga tersebut ke dalam persamaan di atas. *Flowchart* untuk *trial and error* ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Flowchart pemilihan material girder

Beban berat sendiri, yaitu berat profil yang dipakai merupakan salah satu variable dalam *trial and error*. Berat profil persatuan panjang diasumsikan terlebih dahulu yaitu profil : H 350 x 175 x 7 x 11 yang mempunyai sifat mekanik sebagai berikut:

Berat/ panjang	= 49,6 kg/m
Area	= 63,14 cm <sup>2</sup>
Momen inersia (I)	= 13.600 cm <sup>4</sup>
Modulus section (Z)	= 775 cm <sup>3</sup>
fy	= 1.529,4 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas (E)	= 200.000 MPa
	= 2.039.432 kg/cm <sup>2</sup>

• Berat total *girder* ring 1 = 49,6 x 4,785 = 237,34 kg

• Beban total per unit panjang *girder* ring1

$$\begin{aligned}
 w &= 1.056,99 + 49,6 \\
 &= 1.106,6 \text{ kg/m} \\
 &= 11,07 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

• Reaksi tumpuan  $R_A$  dan  $R_B$  dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_A &= \frac{1}{2} \times 4,785 \times 1.106,6 \\
 &= 2.647,53 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_B &= \frac{1}{2} \times 4,785 \times 1.106,6 \\
 &= 2.647,53 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dibawah ini perhitungan beban per unit panjang dan reaksi tumpuan untuk ring 2,3,dan 4:

Tabel 3.19 Beban per satuan panjang dan reaksi tumpuan

Ring	Beban/panjang (kg/cm)	Reaksi tumpuan $R_A = R_B$ (kg)
1	11,07	2.647,53
2	11,07	4.143,66
3	10,97	5.013,26
4	17,83	7.849,16

- Momen maksimum yang terjadi dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{mak}} &= \frac{1}{2} R_{AL} - \frac{1}{8} wL^2 \\
 &= (\frac{1}{2} \times 2.647,53 \times 4,785) - (\frac{1}{8} \times 1.106,6 \times 4,785^2) \\
 &= 3.167,11 \text{ kgm} \\
 &= 316.710 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

- Modulus section minimum yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{min}} &= \frac{M_{\text{mak}}}{f_y} \\
 Z_{\text{min}} &= \frac{316.710}{1.529,4} \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 207,08 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

- Menentukan defleksi yang diijinkan dan defleksi maksimum yang terjadi

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi yang diijinkan} &= \frac{1}{200} \times 478,5 \text{ cm} \\
 &= 2,39 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Defleksi yang terjadi

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{5wL^4}{384 EI} \\
 &= \frac{5 \times 11,06 \times 478,5^4}{384 \times 2.039.432 \times 13.600} \\
 &= 0,27 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Kesimpulan

Untuk *girder* ring 1 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Modulus section* minimum yang dibutuhkan ( $207,08 \text{ cm}^3$ ) lebih kecil dari *modulus section* profil yang dipilih ( $775 \text{ cm}^3$ ).
2. Defleksi yang terjadi ( $0,27 \text{ cm}$ ) lebih kecil dari batas defleksi yang diijinkan ( $2,39 \text{ cm}$ ).

Jadi profil H 350 x 175 x 7 x 11 memenuhi syarat sebagai *girder* ring 1.

Perhitungan selengkapnya ditabelkan seperti dibawah ini:

Tabel 3.20 Modulus section dan defleksi

Ring	Momen (kgcm)	Modulus (Z) (cm <sup>3</sup> )		Defleksi (cm)	
		yang diperlukan	tersedia (profil)	hitungan	batas
1	316.710,83	207,08	775	0,27	2,39
2	775.796,08	507,26	775	1,63	3,74
3	1.145.279,12	748,84	775	3,59	4,57
4	1.727.795,76	1.129,72	775	5,03	4,40

Dari tabel diatas *girder* ring 3 nilai defleksinya mendekati batas maksimumnya sedangkan *girder* ring 4 defleksinya sudah melewati batas maksimum sehingga harus dilakukan iterasi lagi dengan melakukan pemilihan profil. Iterasi dengan profil : H 400 x 200 x 8 x 13 yang mempunyai sifat mekanik sebagai berikut:

Berat/ panjang	= 66 kg/m
Area	= 84,12 cm <sup>2</sup>
Momen inersia (I)	= 23.700 cm <sup>4</sup>
Modulus section (Z)	= 1.190 cm <sup>3</sup>
fy	= 1.529,4 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas (E)	= 200.000 MPa
	= 2.039.432 kg/cm <sup>2</sup>

Pada iterasi ini beban yang dikenakan sama seperti tabel 3.17 dan tabel 3.18 dengan tambahan beban berat sendiri sebesar 66 kg/m. Dengan perhitungan yang sama diperoleh tabel distribusi beban, momen, dan defleksi sebagai berikut:

Tabel 3.21 Beban dan reaksi tumpuan *girder*

Ring	Beban/panjang (kgf/cm)	Reaksi tumpuan Ra = Rb (kgf)
3	11,14	5.088,19
4	17,99	7.921,36

Tabel 3.22 Modulus dan defleksi

Ring	Momen (kgcm)	Modulus (Z) (cm <sup>3</sup> )		Defleksi (cm)	
		yang diperlukan	tersedia (profil)	yang terjadi	batas material
3	1.162.397,24	760,03	1.190	2,09	4,57
4	1.743.689,01	1.140,11	1.190	2,91	4,40

Berdasarkan tabel 3.22 diatas, modulus section yang diperlukan untuk menyangga beban yang dikenai lebih kecil dari modulus section profil, sedangkan defleksi yang terjadi lebih kecil dari batas maksimum defleksi yang diijinkan. Jadi profil H 400 x 200 x 8 x 13 memenuhi syarat sebagai *girder* ring 3 dan 4.

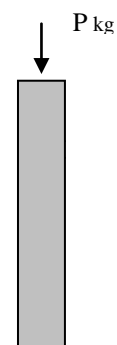
### 3.12 Perancangan kolom

Tiang penyangga utama struktur atap biasanya menggunakan pipa. Tiang dibebani tekanan aksial atau kompresi berupa berat struktur *rafter*, *girder* dan atap tangki. Pengecekan kekuatan pipa dilakukan dengan mempertimbangkan adanya beban tekuk. Referensi yang digunakan selain API 650 adalah AISC *Part 3 column design*.

#### 3.12.1 Pembebanan

Beban yang ditopang oleh tiang adalah reaksi tumpuan pada struktur *rafter* ring 1 (Ra) untuk kolom pusat sedangkan beban yang disangga oleh kolom ring 1,2,3, dan 4 adalah reaksi tumpuan *girder*. Kolom pusat menumpu 24 *rafter* sehingga beban aksial yang diterima oleh kolom 24 kali reaksi tumpuan Ra.

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 24 \times 208,63 \text{ kgf} \\ &= 5.007,02 \text{ kgf} \end{aligned}$$



Gambar 3.13 Pipa kolom

Beban yang dikenai oleh kolom lainnya ditabelkan seperti dibawah ini:

Tabel 3.23 Beban pada kolom

Kolom	Beban (kgf)
pusat	5007,02
ring 1	5295,06
ring 2	8287,31
ring 3	10176,38
ring 4	15842,72

### 3.12.2 Perhitungan kekuatan kolom

Langkah-langkah untuk melakukan perhitungan kekuatan kolom terhadap beban aksial sebagai berikut:

a) Menentukan radius girasi minimum kolom

$$r_{\min} = \text{Panjang kolom}/180$$

Panjang kolom pusat (L) dihitung secara matematis dan hasilnya = 19.826 mm, sehingga

$$\begin{aligned} r_{\min} &= 19.826 / 180 \text{ mm} \\ &= 10,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya ditabelkan seperti di bawah ini:

Tabel 3.24 Panjang kolom dan radius girasi

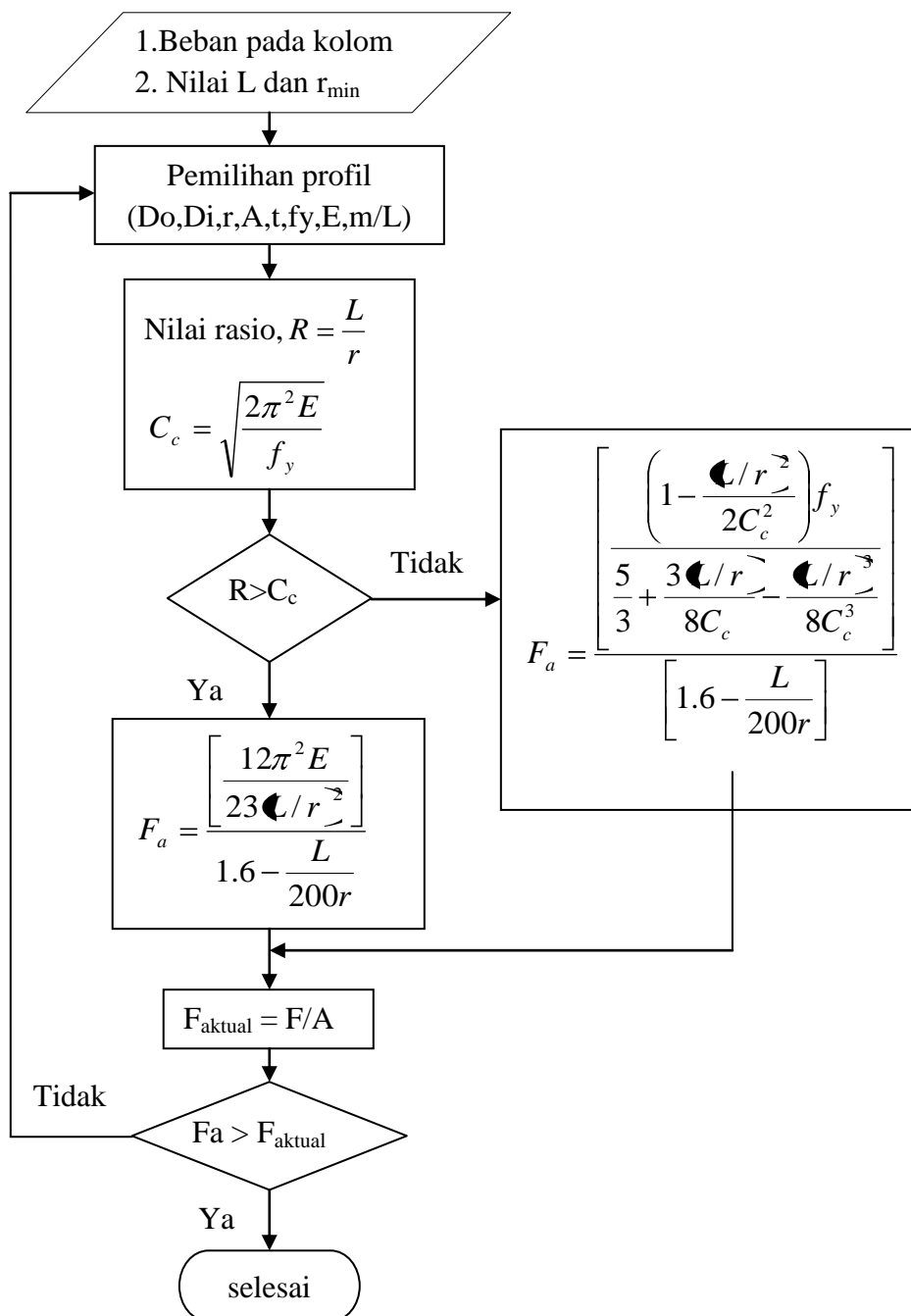
Kolom	Panjang kolom (m)	$r_{\min}$ (mm)
pusat	19,826	110,14
ring 1	19,526	106,74
ring 2	19,214	106,74
ring 3	18,900	105,00
ring 4	18,588	103,27

b) *Trial and error*

*Trial and error* dilakukan dengan memilih ukuran penyangga dan memasukkan *properties* penyangga tersebut ke dalam persamaan di atas.

*Flowchart* untuk trial and error ditunjukkan pada gambar 3.12.

Sebagai asumsi awal ditentukan ukuran pipa yang akan digunakan, jika pengecekan menghasilkan kesimpulan aman maka ukuran pipa yang dipilih memenuhi syarat, tetapi bila belum aman maka ukuran pipa harus diperbesar.



Gambar 3.14 Flowchart pemilihan profil kolom

Pada *trial and error* pertama ini digunakan pipa 12 in sch 20 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Diameter luar	= 323,85 mm
Diameter dalam	= 311,15 mm
Radius girasi	= 112,3 mm
Area metal	= 63,35 cm <sup>2</sup>
Tebal	= 6,35 mm
f <sub>y</sub>	= 204,96 MPa
	= 2090 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas (E)	= 200.000 MPa
	= 2.039.432 kg/cm <sup>2</sup>
Berat per unit panjang	= 49,675 kg/m

c) Menentukan rasio panjang kolom/radius girasi pipa kolom pusat

$$R = \frac{L}{r}$$

$$R = \frac{19,826}{112,3}$$

$$R = 176,54$$

d) Menentukan slenderness rasio kolom pusat dengan persamaan

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{f_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{204,96}}$$

$$C_c = 138,84$$

e) Menentukan tegangan maksimum diijinkan pada kolom berdasarkan nilai *slenderness rasio*

Jika nilai  $L/r$  lebih kecil atau sama dengan  $C_c$  maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_a = \frac{\left[ \frac{\left(1 - \frac{L/r^2}{2C_c^2}\right) f_y}{\frac{5}{3} + \frac{3L/r^2}{8C_c} - \frac{L/r^3}{8C_c^3}} \right]}{\left[ 1.6 - \frac{L}{200r} \right]}$$

Jika nilai  $L/r$  melebihi nilai  $C_c$  digunakan persamaan

$$F_a = \frac{\left[ \frac{12\pi^2 E}{23L/r^2} \right]}{1.6 - \frac{L}{200r}}$$

Karena hasil perhitungan menunjukkan nilai  $L/r$  lebih besar dari  $C_c$  maka tegangan ijin maksimum kolom di hitung dengan persamaan kedua.

$$F_a = \frac{\left[ \frac{12\pi^2 \times 200000}{23 \times (176,54)^2} \right]}{1.6 - \frac{176,54}{200}}$$

$$= 46,10 \text{ MPa}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai  $R$ ,  $C_c$ , dan  $F_a$  untuk kolom ring 1,2,3,dan 4 seperti tabel berikut:

Tabel 3.25 Nilai  $R$ ,  $C_c$ , dan  $F_a$

Kolom	R (mm)	$C_c$	$F_a$ (MPa)
pusat	176,54	138,83	46,10
ring 1	173,87	138,83	46,66
ring 2	171,10	138,83	47,29
ring 3	168,30	138,83	47,97
ring 4	165,52	138,83	48,71

f) Menentukan tegangan aktual yang terjadi karena pembebanan struktur dan atap dengan persamaan :

$$F_{\text{aktual}} = F/A$$

Dengan F adalah beban total struktur dan atap ditambah berat pipa sendiri dan A adalah area metal dari pipa kolom

$$\begin{aligned} F &= 5.007,02 \text{ kg} + (49,675 \text{ kg/m} \times 19,826\text{m}) \\ &= 5.991,87 \text{ kg} \\ F_{\text{aktual}} &= 5.991,87 \text{ kg}/63,35 \text{ cm}^2 \\ &= 94,58 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 9,28 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Radius girasi pipa yang dipilih lebih besar dari radius girasi minimum yang diperlukan
2. Tegangan aktual yang terjadi pada pipa lebih kecil daripada tegangan maksimum yang diijinkan

Jadi pipa yang dipilih untuk kolom memenuhi syarat untuk dijadikan kolom pusat. Perbandingan nilai tegangan yang diijinkan dan tegangan yang terjadi untuk ring selanjutnya ditabelkan seperti di bawah ini.

Tabel 3.26 Perbandingan nilai  $F_a$  dan  $F_{\text{aktual}}$

Kolom	$F_{\text{aktual}}$ (MPa)	$F_a$ (MPa)	Keterangan
Pusat	9,28	46,10	Aman
ring 1	9,69	46,66	Aman
ring 2	14,30	47,29	Aman
ring 3	17,21	47,97	Aman
ring 4	25,95	48,71	Aman

### 3.13 Perancangan bukaan ( *shell opening* )

Bukaan yang akan dirancang meliputi *nozzle*, *manhole*, dan *flush-type clean out*. Data perancangan:

1. Diameter nozzle : 32 inchi
2. Debit aliran : 4.550 m<sup>3</sup>/jam

Ketentuan umum berdasarlam paragraf 5.7.2.1 standar API 650:

1. Tebal pelat *reinforcing* adalah sama dengan pelat pelat *shell* yang diberi *reinforcing*.
2. Diameter *reinforcing* adalah dua kali diameter nosel

Dibawah ini tabel kebutuhan bukaan:

Tabel 3.27 Bukaan

No	Diameter	Fungsi
1	32	<i>inlet</i>
2	32	<i>outlet</i>
3	24	<i>roof manhole</i>
4	10	<i>free vent</i>
5	8	<i>gauge hatch</i>

### 3.13.1 Nosel

#### a. Menentukan lokasi nosel

Jarak nosel dengan lasan harus memenuhi aturan gambar 5-6 standar API 650 seperti pada gambar lampiran B1. Berdasarkan gambar tersebut diperoleh:

1. Jarak A = 8W atau 250 mm (10 in)
2. Jarak B = 8W atau 250 mm (10 in)
3. Jarak C = 8W atau 250 mm (10 in), 75 mm ( 3 in) untuk S-N
4. Jarak D = sesuai tabel 5-6
5. Jarak E = 8W atau 150 mm (6 in)
6. Jarak A = 8t atau  $\frac{1}{2} r$
7. Jarak A = 8t

#### b. Menentukan dimensi *nozzle*

Dimensi *nozzle* ditentukan berdasarkan tabel 5-6 standar API 650. Diameter *nozzle inlet* dan *outlet* adalah 32 inchi sehingga berdasarkan tabel tersebut diperoleh:

1. Diameter lubang pada pelat *reinforcing* ( $D_R$ ) : 816 mm

2. Diameter pelat *reinforcing* (L=DO) : 1.645 mm
3. Lebar pelat *reinforcing* (W) : 1.995 mm
4. Jarak minimum dari *shell* ke *flange face* : 325 mm
5. Jarak minimum dari alas tangki ke pusat nosel ( C ) : 820 mm

**c. Menentukan dimensi *shell nozzle*: pipa, pelat, dan *schedule* pengelasan**

Dimensi pipa, pelat, dan *schedule* pengelasan dapat di pilih berdasarkan tabel 5-7 standar API 650. Untuk nosel *inlet* dan *outlet* ketebalan pelat *reinforcing* sama dengan ketebalan pelat tempat nosel tersebut dipasang. Nosel *inlet* dipasang di bagian *course shell* paling atas sedangkan *outlet* di pasang di *course shell* paling bawah. Oleh karena itu ketebalan pelat *reinforcing* untuk nosel *inlet* adalah 8 mm sedangkan untuk nosel *outlet* adalah 25 mm. Berdasarkan tabel lampiran B.3 diperoleh data sebagai berikut:

Nosel *inlet*:

1. Ketebalan *flange* nosel dinding pipa minimum : 12,5 mm
2. Diameter lubang maksimum :  $D_p + 16$  mm
3. Ukuran filet lasan B : 8 mm
4. Ukuran filet lasan A : 6 mm

Nosel *outlet*:

1. Ketebalan *flange* nosel dinding pipa minimum : 12,5 mm
2. Diameter lubang maksimum :  $D_p + 20$  mm
3. Ukuran filet lasan B : 25 mm
4. Ukuran filet lasan A : 11 mm

**d. Menentukan dimensi *flange nosel shell***

Dimensi *flange* nosel ditentukan berdasarkan tabel 5-8 standar API 650. Berdasarkan tabel tersebut diperoleh dimensi sebagai berikut ini:

1. Tebal minimum *flange* (Q) : 57 mm
2. Diameter luar *flange* (A) : 1.060 mm
3. Diameter *raised face* (D) : 910 mm
4. Diameter lingkaran baut (C) : 908 mm

- 5. Jumlah lubang baut : 28
- 6. Diameter lubang baut : 42 mm
- 7. Diameter baut : 28 mm
- 8. Diameter bor : diameter dalam pipa
- 9. Diameter hub minimum pada lasas : diameter luar pipa + 2tn

### 3.13.2 *Manhole*

#### a. Menentukan ketebalan pelat tutup *shell manhole* dan *bolting flange*

Ketebalan pelat tutup dipilih berdasarkan tabel 5-3 standar API 650. Ketinggian fluida yang disimpan adalah 17,5 m sehingga berdasarkan tabel pada lampiran B5 dipilih ketinggian rancangan maksimum 18,6 m dan diameter *manhole* 600 mm sehingga diperoleh data sebagai berikut:

- 1. Ketebalan minimum pelat tutup = 18 mm
- 2. Ketebalan minimum *bolting flange* = 14 mm

#### b. Menentukan ketebalan *shell manhole neck*

*Manhole* merupakan saluran keluar masuk orang untuk melakukan pengecekan ke dalam tangki. Posisi *manhole* berada di atap tangki. Ketebalan *shell manhole neck* dipilih berdasarkan tabel 5-4 standar API 650.

Ketebalan *shell* dan pelat *reinforcing* adalah 8 mm dan diameter *manhole* yang dirancang adalah 24 in oleh karena itu berdasarkan tabel tersebut diperoleh ketebalan *shell manhole neck thickness* sebesar 6 mm.

#### c. Menentukan ukuran diameter lingkaran baut ( $D_b$ ) dan diameter pelat tutup ( $D_c$ ) untuk *shell manhole*

Diameter lingkaran baut dan diameter pelat tutup dipilih berdasarkan tabel 5-5 standar API 650 seperti pada lampiran B7. Diameter *manhole* adalah 600 mm sehingga berdasarkan tabel tersebut diperoleh:

- 1. Diameter lingkaran baut ( $D_p$ ) : 756 mm
- 2. Diameter pelat tutup ( $D_c$ ) : 820 mm

### 3.13.3 *Flush-type clean out*

*Flush-type clean out* berbentuk seperti pintu digunakan untuk membuang sisa-sisa fluida pada tangki pada saat dibersihkan.

#### a. Menentukan dimensi *flush-type clean out fitting*

Dimensi *flush-type clean out* ditentukan berdasarkan tabel 5-9 standar API 650. Material yang dipakai adalah grup II oleh karena itu dipilih ukuran 1200 x 1200. Berdasarkan tabel 4.11.8 di atas diperoleh data sebagai berikut:

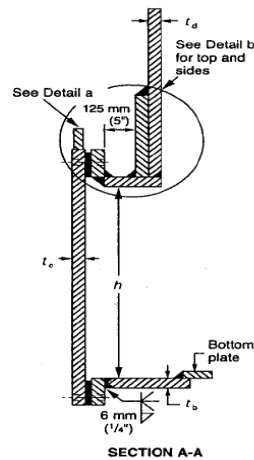
1. Lebar pelat *reinforcing* ( $w$ ) = 3.200 mm
2. Radius sudut atas bukaan ( $r_1$ ) = 600 .mm
3. Radius sudut atas pelat *reinforcing* ( $r_2$ ) = 1.310 mm
4. Jarak baut ( $e$ ) = 40 mm
5. Lebar *flange* ( $f_3$ ) = 115 mm
6. Lebar *flange* bawah ( $f_2$ ) = 125 mm
7. Jarak baut spesial = 115 mm
8. Jumlah baut = 52
9. Diameter baut = 24 mm

#### b. Menentukan ketebalan minimum pelat tutup *flush type clean out*

Ketebalan minimum pelat tutup untuk *flush-type clean out* ditentukan berdasarkan tabel 5-10 standar API 650. Ketinggian fluida yang disimpan adalah 17,5 m sehingga berdasarkan tabel tersebut diperoleh data sebagai berikut:

1. Ketebalan pelat tutup dan baut *flange* = 28 mm
2. Ketebalan pelat *reinforcing* bawah = 35 mm

Contoh *flush-type cleanout* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.15 *flash type-cleanout fitting*<sup>[3]</sup>

### c. Menentukan ketebalan dan tinggi pelat *reinforcing*

Tebal dan tinggi pelat *reinforcing* untuk flush-type clean out ditentukan berdasarkan tabel 5-11 standar API 650. Berdasarkan tebal tersebut diperoleh data sebagai berikut:

1. Tebal pelat *reinforcing* disesuaikan dengan tebal pelat *shell* yaitu 26 mm
2. Tinggi pelat *reinforcing* 1830 mm

## 3.14 Stabilitas Tangki Terhadap Beban Angin dan Gempa

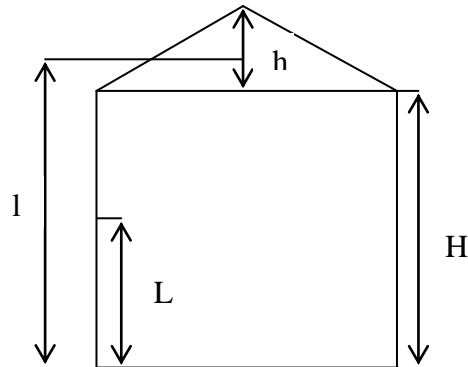
Beban angin dan gempa dapat menyebabkan momen pada bagian dasar tangki terutama pada sambungan antara dinding tangki dan alas tangki. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan stabilitas tangki untuk memastikan bahwa rancangan tangki aman terhadap beban angin dan gempa.

### 3.14.1 Stabilitas tangki terhadap angin

Data perancangan

kecepatan angin rancangan	V	= 126 km/jam
Diameter tangki	D	= 50 meter
Tinggi tangki	H	= 18 meter
Kemiringan atap		= 3,58 <sup>0</sup>
Tekanan <i>internal</i> rancangan	P <sub>i</sub>	= 0 kPa (atmosfer)

Berikut ini gambar skema proyeksi luas pada tangki:



**Gambar 3.16 Proyeksi luas**

Menghitung luas proyeksi dan lengan momen bagian dinding dan atap

- Luas proyeksi dinding  $= D \times H$   
 $= 49,57 \times 18,275$   
 $= 905,89 \text{ m}^2$
- Luas proyeksi atap  $= \text{luas segitiga}$   
 $= \frac{1}{2} \times D \times h$   
 $= \frac{1}{2} \times 49,57 \times ((D/2) \times \tan(3,58))$   
 $= 38,39 \text{ m}^2$
- Panjang lengan moment dinding (Ld)  $= \frac{1}{2} \times H$   
 $= \frac{1}{2} \times 18,275$   
 $= 9,14 \text{ m}$
- Panjang lengan moment atap (La)  $= H + \frac{1}{3} h$   
 $= 18,275 + 0,51$   
 $= 18,79 \text{ m}$

Kecepatan angin akan berubah menjadi tekanan *stagnan* ketika angin mengenai dinding dan juga atap karena kecepatan angin akan menjadi nol (0).

Perancangan tekanan yang disebabkan angin dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tekanan pada atap tangki (Pa)} &= 1,44kPa \left(\frac{V}{190}\right)^2 \\ &= 1,44kPa \left(\frac{126}{190}\right)^2 \\ &= 0,63 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$= 64,59 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan pada dinding tangki (Pd)} &= 0,86kPa \left(\frac{V}{190}\right)^2 \\ &= 0,86kPa \left(\frac{126}{190}\right)^2 \\ &= 0,38 \text{ kPa} \\ &= 38,57 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Gaya geser (*shear force*) yang terjadi pada tangki akibat angin

$$\begin{aligned} S &= (S_a + S_d) \\ &= (\text{Tekanan atap} \times \text{Luas area atap}) + (\text{Tekanan dinding} \times \text{Luas area dinding}) \\ &= (64,59 \times 38,39) + (38,57 \times 905,89) \\ &= 37.426,93 \text{ kg} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada tangki akibat angin

$$\begin{aligned} M &= M_{\text{atap}} + M_{\text{dinding}} \\ &= (S_a \times L_a) + (S_d \times L_d) \\ &= (64,59 \times 38,39 \times 18,79) + (38,57 \times 905,89 \times 9,14) \\ &= 365.930,27 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tangki akan stabil terhadap momen yang ditimbulkan oleh angin bila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$1.14.2 \quad 0.6 M_w + M_{pi} < MDL/1.5$$

$$[0.6 (365.930,27 \text{ kgm}) + 0] < [11.219.361,98 \text{ kgm}/1.5] \quad \rightarrow$$

Persamaan terpenuhi

$$2.14.2 \quad M_w + 0.4 M_{pi} < (MDL + MF)/2$$

$$[365.930,27 \text{ kgm} + 0.4 (0)] < [(11.219.361,98 \text{ kgm} + 12.050.047 \text{ kgm})/2]$$

→ Persamaan terpenuhi

Keterangan :

$$\begin{aligned} M_{pi} &= \text{momen pada sambungan dinding dan pelat dasar} \\ &\quad \text{karena tekanan } \textit{internal} \\ &= 0 \text{ (tekanan } \textit{internal} \text{ tangki 0)} \end{aligned}$$

$M_w$  = momen balik terhadap sambungan dinding dan pelat dasar dari tekanan horizontal dan tekanan vertikal angin

$$= 365.930,27 \text{ kgm}$$

MDL = momen pada sambungan dinding dan pelat dasar akibat berat dari dinding dan atap yang disangga dinding

$$= D/2 \times [\text{berat atap} + \text{berat dinding}]$$

$$= 49,57/2 \times [121.244,52 + 331.422,90] \text{ kg-m}$$

$$= 11.219.361,98 \text{ kg-m}$$

MF = momen pada sambungan dinding dan pelat dasar karena fluida yang tersimpan di tangki

Dihitung sebagai berikut :

$$MF = wa \times ID/2$$

$$wa = 59t_b\sqrt{F_{by}H}$$

(berat fluida yang digunakan untuk melawan momen karena angin)

keterangan :

$F_{by}$  = tegangan luluh minimum material pelat dasar

$$= 250 \text{ MPA}$$

$t_b$  = tebal pelat dasar

$$= 8 \text{ mm}$$

$H$  = tinggi fluida dalam tangki

$$= 17.5 \text{ m}$$

Sehingga,

$$wa = 59 \times 8 \times \sqrt{250 \times 17,5}$$

$$= 31.219,86 \text{ N/m}$$

Total gaya karena berat fluida =  $wa \times$  keliling tangki

$$= 31.219,86 \text{ N/m} \times (22/7) \times 49,57$$

$$= 4.861.830,56 \text{ N}$$

Momen karena fluida :

$$\text{MF} = 4.861.830,56 \text{ N} \times 49,57/2$$

$$= 120.500.470 \text{ Nm}$$

$$= 12.050.047 \text{ kgm}$$

Berat dinding *shell* = luas pelat x tebal pelat x masa jenis pelat baja

Tabel 3.28 Lebar *transpose*

	D	49.57	m
	$\rho$	7850.00	$\text{kg/m}^3$
lebar (mm)	tebal (mm)		
2,400.00	26	76,312.87	kg
2,400.00	22	64,572.43	kg
2,400.00	18	52,831.99	kg
2,400.00	14	41,091.55	kg
2,400.00	12	35,221.33	kg
2,400.00	8	23,480.88	kg
2,400.00	8	23,480.88	kg
1,475.00	8	14,430.96	kg
total		331,422.90	kg

Berat atap = luas pelat x tebal pelat x masa jenis pelat baja

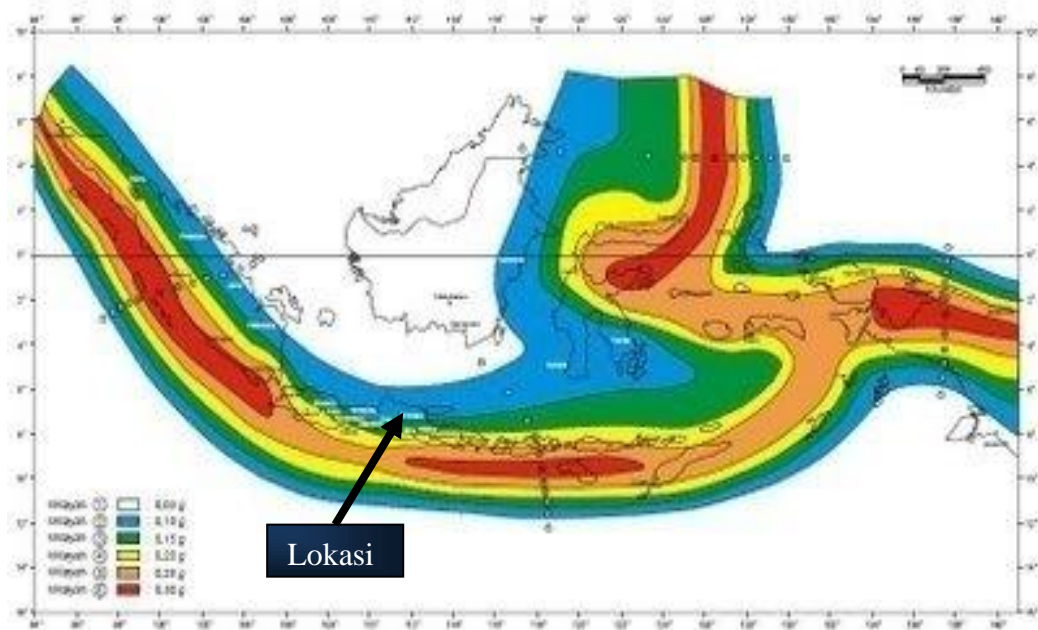
$$= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times D^2 \times 0,008 \times 7.850$$

$$= 121.244,52 \text{ kg}$$

Hasil perhitungan di atas menunjukkan persamaan (a) dan (b) bisa terpenuhi sehingga tangki stabil terhadap adanya beban angin dan tidak memerlukan *achor bolt* untuk menahan beban angin.

### 3.14.2 Stabilitas Tangki terhadap Beban Gempa (API 650 edisi 10 addendum 3 Appendix E)

Lokasi tangki berada di Tuban, Jawa Timur seperti ditunjukkan pada peta gempa di bawah ini.



Gambar 3.17 Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun

Gambar 3.17 Peta gempa Indonesia<sup>[13]</sup>

Momen yang diakibatkan gempa dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$M = Z \cdot I \cdot (C_1 \cdot W_s \cdot X_s + C_1 \cdot W_r \cdot H_t + C_1 \cdot W_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot W_2 \cdot X_2)$$

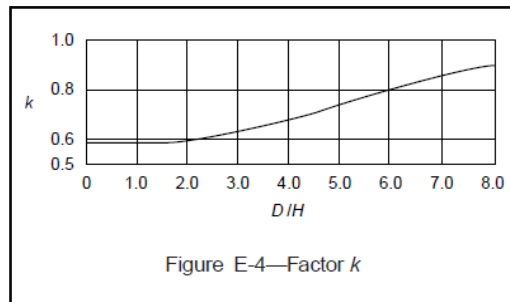
Nilai-nilai pada persamaan di atas dicari dengan cara sebagai berikut

Data perancangan:

Zone Gempa	=	3
Koefisien zona	Z	= 0,3
Faktor kegunaan	I	= 1
Faktor lokasi	S	= 1,5
Koefisien arah gaya	C <sub>1</sub>	= 0,6
Tinggi fluida	h	= 17,5 m

- Faktor diameter/tinggi k

$$D/H = 49,57/18,275 = 2,71$$



**Gambar 3.18 Faktor k<sup>[14]</sup>**

Dari grafik E-4 API 650 didapatkan untuk nilai  $D/H = 2,71$ ; nilai  $k$  adalah 0,6.

- Menentukan periode alami

$$\begin{aligned} T &= 1,81 \times k \times D^{0.5} \\ &= 1,81 \times 0,6 \times 49,57^{0.5} \\ &= 7,65 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Menentukan koefisien gaya lateral

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{3,375S}{T^2} \\ &= \frac{3,375 \times 1,5}{7,65^2} \\ &= 0,09 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai  $D/h = 49,57/17,5 = 2,83$  nilai nilai berikut ini dapat ditentukan dengan membaca grafik pada gambar E-2 dan E-3 API-650.

$$X_1/H = 0,375$$

$$X_2/H = 0,570$$

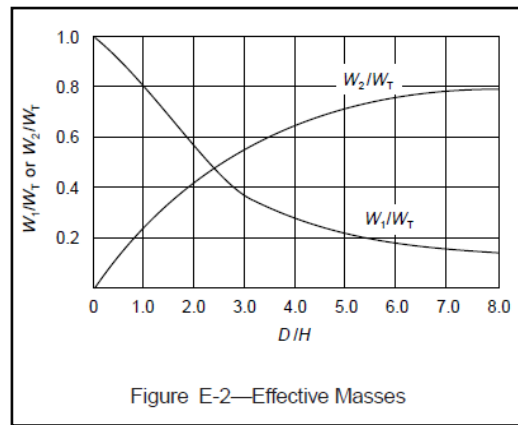
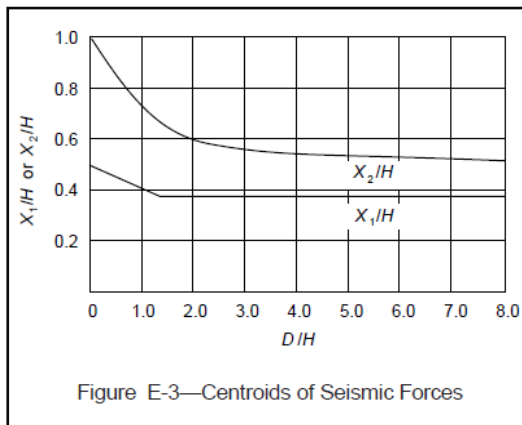
$$W_1/W_t = 0,405$$

$$W_2/W_t = 0,460$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} h &= \text{tinggi fluida dalam tangki} \\ &= 17,5 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_t &= \text{berat isi tangki} \\
&= \text{luas alas} \times \text{tinggi fluida tersimpan} \times \text{masa jenis fluida} \\
&= \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \times 49,57^2 \times 17,5 \times 831 \\
&= 28.076.408,96 \text{ kg}
\end{aligned}$$



Gambar 3.19 Pusat gaya gempa dan masa efektif<sup>[14]</sup>

Sehingga,

$$\begin{aligned}
X_1 &= (X_1/H) \times H & X_2 &= (X_2/H) \times H \\
&= 0,375 \times 17,5 & &= 0,570 \times 17,5 \\
&= 6,56 & &= 10,15 \\
W_1 &= (W_1/W_t) \times W_t & W_2 &= (W_2/W_t) \times W_t \\
&= 0,405 \times 28.076.408,96 & &= 0,460 \times 28.076.408,96 \\
&= 11,370,945.63 & &= 12,915,148.12
\end{aligned}$$

Berat dinding diberi simbol  $W_s$ , nilainya sudah dihitung sebelumnya yaitu 331.422,90 kg, sedangkan  $W_r$  adalah berat atap. Berat atap juga sudah dihitung sebelumnya sebesar 121.244,52 kg.  $X_s$  adalah tinggi dari pelat dasar sampai gravitasi *shell* yaitu  $\frac{1}{2} \times$  tinggi tangki =  $\frac{1}{2} \times 18,275 = 9,14$  meter.  $H_t$  adalah tinggi dinding tangki yaitu 18,275 meter.

Semua nilai-nilai di atas dimasukkan dalam persamaan perhitungan momen

$$\begin{aligned}
 M &= Z.I.(C1.Ws.Xs + C1.Wr.Ht + C1.W1.X1 + C2.W2.X2) \\
 &= 0,3 \times 1 \times [(0,6 \times 331.422,90 \times 9,14) + (0,6 \times 121.244,52 \times \\
 &\quad 18,275) + (0,6 \times 11,370,945.63 \times 6,56) + (0,09 \times \\
 &\quad 12,915,148.12 \times 10,15)] \\
 &= 17,781,310.58 \text{ kg-m}
 \end{aligned}$$

Melakukan pengecekan kondisi tangki terhadap adanya momen karena gempa dengan menggunakan urutan-urutan berikut ini :

- Menentukan nilai  $\frac{M}{D^2 (\psi_t + w_l)}$

Dengan,

$w_t$  = berat dari *shell* dan atap yang di sangga *shell*/keliling

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(W_s + W_r)}{\frac{22}{7} \times D} = \frac{(331.422,90 + 121.244,52) \text{ kg}}{\frac{22}{7} \times 49,57 \text{ m}} \\
 &= 2.905,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$w_L = 99 t_b (f_{by} G H)^{0.5}$$

dengan:

$t_b$  = 8 mm; tebal pelat dasar

$f_{by}$  = 260 Mpa; tegangan luluh minimum dari material pelat dasar

$G$  = 0,831; specific gravity fluida disimpan

$H$  = 17,5 m; tinggi fluida dalam tangki

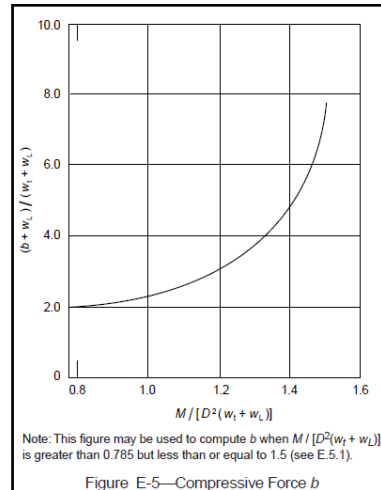
$$\begin{aligned}
 w_L &= 99 \times 8 \times (260 \times 0,831 \times 17,5)^{0.5} \\
 &= 48.700,27 \text{ N/m} \\
 &= 4.870,3 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$\frac{M}{D^2 (\psi_t + w_l)} = \frac{17,781,310.58}{49,57^2 (2.905,6 + 4.870,3)} = 0,93$$

Karena nilai  $0.785 < \frac{M}{D^2(w_t + w_l)} < 1.5$ , maka tegangan tekan pada bagian

dasar pelat dinding tangki ditentukan dengan menggunakan grafik dan persamaan berikut ini:



**Gambar 3.20 Gaya kompresi<sup>[14]</sup>**

Dari grafik E-5 API 650, untuk nilai  $\frac{M}{D^2(w_t + w_l)} = 0.93$ , didapatkan nilai

$$\frac{b + w_l}{w_t + w_l} = 2,1$$

Sehingga;

$$\begin{aligned} b &= 2,1 \times (w_t + w_l) - w_l \\ &= 2,1 \times (2.905,6 \text{ kg/m} + 4.870,3 \text{ kg/m}) - 4.870,3 \text{ kg/m} \\ &= 11.458,79 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Maksimum tegangan tekan longitudinal pada *shell* ditentukan dengan persamaan  $b/t$ , dengan  $t$  adalah tebal *shell* terbawah yaitu 26 mm.

$$\begin{aligned} b/1.000t &= 11.458,79 / (0.026) \text{ kg/m}^2 \\ &= 440.722, 61 \text{ kg/m}^2 \\ &= 4,3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Nilai tegangan tekan diatas harus lebih kecil dari tegangan maksimum diijinkan,  $F_a$ . Nilai  $F_a$  ditentukan dengan cara berikut:

- Menentukan nilai  $GHD^2/t^2$

$$\begin{aligned}GHD^2/t^2 &= 0.831 \times 17.5 \times 49,57^2/26^2 \\ &= 52,86\end{aligned}$$

- Karena nilai  $GHD^2/t^2$  lebih dari 44 maka nilai  $F_a$  ditentukan dengan persamaan

$$\begin{aligned}F_a &= \frac{83t}{D} \\ &= 83 \times 26 / 49,57 \\ &= 43.53 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada bagian bawah *shell* akibat beban gempa sebesar 4,3 MPa lebih rendah dari tegangan maksimum yang diijinkan (43,53 MPa), jadi bagian *shell* akan aman karena beban gempa dan tidak memerlukan baut angker.