

Optimasi Bentuk Penopang Pelat Beton Apung

HAZAIRIN, ERMA DESMALIANA, IMAS ANGGI MEYLANI

Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: herin@itenas.ac.id

ABSTRAK

Bencana banjir seringkali terjadi di Indonesia, bahkan Istana negara tidak luput terendam karena tidak terbendungnya volume air yang meningkat. Kerusakan yang terjadi pada sarana dan prasarana akibat banjir tidaklah kecil dan satu cara untuk menghindari kerusakan tersebut yaitu dengan menggunakan pelat beton apung. Pemodelan pelat beton apung di atas fondasi elastis menggunakan perangkat lunak Ansys, dengan nilai tumpuan elastis sebesar 10 kN/m^3 dan beban sebesar 2.500 N pada bagian ujung pelat beton apung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk penopang pelat beton apung terhadap keseimbangan apung, serta nilai deformasi maksimum akibat pembebanan. Pelat beton apung berukuran 3×4 meter dengan variasi bentuk penopang segitiga, trapesium dan lengkung baik satu arah maupun dua arah. Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pelat beton apung dengan bentuk penopang segitiga 30° dua arah memiliki nilai deformasi terkecil sebesar $0,194 \text{ m}$; volume pelat sebesar $9,328 \text{ m}^3$ serta deviasi draft sebesar $0,191 \text{ m}$.

Kata Kunci : pelat beton apung, bentuk penopang pelat, deformasi

ABSTRACT

Flood disasters often occur in Indonesia, even the state palace is not spared from being submerged because the increasing volume of water cannot be stopped. The damage that occurs to facilities and infrastructure due to flooding is not small and one way to avoid this damage is to use floating concrete slabs. Modeling of floating concrete slab on an elastic foundation using Ansys software, with an elastic support value of 10 kN/m^3 and a load of $2,500 \text{ N}$ at the end of the floating concrete slab. This study aims to determine the effect of the shape of the floating concrete slab support on the buoyancy balance, as well as the maximum deformation value due to loading. Floating concrete slab measuring 3×4 meters with various forms of triangular, trapezoidal and curved supports in one direction or two directions. From the results of the analysis and discussion, it can be concluded that the floating concrete slab with a triangular shape of 30° two-way supports has the smallest deformation value of 0.194 m , the plate volume is 9.328 m^3 and the draft deviation is 0.191 m .

Keywords : floating concrete plate, plate support geometry, deformation

1. PENDAHULUAN

Curah hujan yang cukup tinggi serta luasnya daerah perairan di Indonesia dapat mengakibatkan bencana banjir. Bencana banjir sangat merugikan bagi masyarakat dan juga pemerintah dengan rusaknya sarana dan prasarana yang dapat mengganggu stabilitas perekonomian secara signifikan, sehingga pencegahan-pencegahan bencana banjir harus segera dilakukan. Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengantisipasi kerusakan sarana yaitu dengan menggunakan struktur beton apung. Bentuk pelat beton apung yang sering digunakan adalah pelat persegi, yang mana pelat ini hanya akan stabil apabila dibebani oleh beban merata dengan posisi sentris. Oleh karena itu, maka akan dilakukan penelitian bentuk penopang pelat beton apung yang berbeda-beda. Pelat beton apung ini akan dimodelkan menggunakan perangkat lunak Ansys untuk mendapatkan nilai deformasi maksimum, yang kemudian diverifikasi dengan perhitungan manual secara teoritis menggunakan teori kesetimbangan benda apung untuk mengetahui kestabilan pelat beton apung setelah dibebani. Pelat beton apung sudah pernah dibahas dan diteliti oleh penelitian terdahulu, dimana penelitian tersebut membahas tentang kapasitas lentur pelat beton apung dengan bentuk penopang persegi.

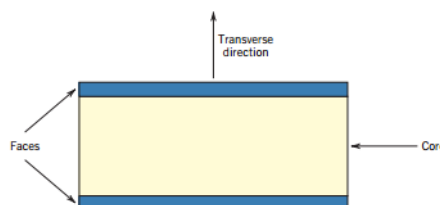
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton apung

Beton apung merupakan jenis beton yang memiliki kepadatan kurang dari air dan mengapung di atas air. Beton terapung (*floating concrete*) dapat diklasifikasikan sebagai kapal berupa kendaraan air dengan bentuk dan jenis tertentu, yang digerakan dengan tenaga angin, tenaga mekanik, energi lainnya, ditarik atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah (UU RI No.17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, Pasal 1 angka 36).

2.2 Beton Sandwich

Beton *sandwich* merupakan beton yang terdiri dari dua lapisan tipis, kaku dan kuat dari material padat yang dipisahkan oleh satu lapisan tebal yang terbuat dari material dengan berat jenis yang rendah, yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih rendah dari lapisan pengapitnya (Callister, W.D., 1997). Dua lapisan tipis yang terdapat pada struktur *sandwich* ini disebut dengan lapisan wajah (*faces*), dan satu lapisan tengah disebut dengan lapisan inti (*core*) seperti tertera pada **Gambar 1**. Seringkali beton *sandwich* yang efisien didapatkan apabila berat inti dari *sandwich* kira-kira sama dengan jumlah berat lapisan pengapitnya.

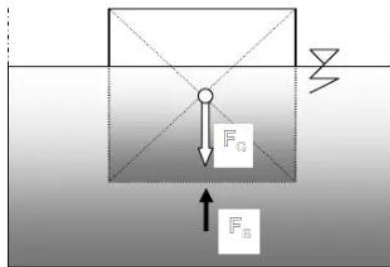


Gambar 1. Beton sandwich
(Sumber: Callister, W. D., 1997)

2.3 Gaya Apung

Gaya apung adalah kemampuan suatu benda untuk dapat mengapung dalam cairan ataupun fluida. Gaya apung biasanya terjadi akibat adanya perbedaan tekanan fluida pada kedalaman yang berbeda. Benda yang berada di dalam air akan memiliki massa yang lebih kecil dibandingkan saat benda tidak berada dalam air. Hal ini disebabkan karena adanya gaya apung

yang menekan ke atas searah dengan gaya angkat sehingga benda tersebut menjadi lebih ringan. Benda yang dimasukkan ke dalam fluida akan mengalami perbedaan tekanan antara fluida bagian atas dan fluida bagian bawah. Fluida yang terletak pada bagian bawah benda memiliki tekanan yang lebih besar daripada fluida yang berada di bagian atas benda. Gaya yang bekerja pada benda yang terendam di dalam air seperti tertera pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja pada benda yang terendam dalam air
(Sumber: [academia.edu/6347762/MEKANIKA FLUIDA](https://academia.edu/6347762/MEKANIKA_FLUIDA))

Gaya apung (F_G) ditentukan dengan menggunakan **Persamaan 1.a hingga Persamaan 1.e** berikut:

$$F_G = F_B \quad \dots(1.a)$$

$$\leftrightarrow F_B = W_b - W_a \quad \dots(1.b)$$

$$\leftrightarrow F_G = \rho_b \times g \times V_b \quad \dots(1.c)$$

$$\leftrightarrow F_B = \rho_a \times g \times V_{bt} \quad \dots(1.d)$$

$$\leftrightarrow \rho_a \times g \times V_{bt} = \rho_b \times g \times V_b \quad \dots(1.e)$$

halmana:

F_B = *force bouyancy* / gaya apung [N],

F_G = *force gravity* / gaya gravitasi [N],

W_b = berat benda di udara [N],

W_a = berat benda dalam air [N],

ρ_a = berat jenis air [1.000 kg/m³]

ρ_b = berat jenis benda [kg/m³],

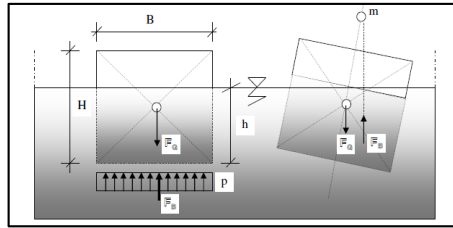
g = gravitasi bumi [9,81 m/s²],

V_b = volume benda [m³],

V_{bt} = volume benda terendam [m³].

2.4 Kestimbangan Benda Apung

Kestabilan benda terjadi apabila benda tersebut diusik atau dibebani, maka benda tersebut dapat kembali ke posisi kesetimbangan awalnya. Kesetimbangan benda terapung sesuai dengan Prinsip Hukum Archimedes, yaitu benda yang terapung akan mengalami gaya apung sebesar zat cair yang dipindahkan. Stabilitas benda terapung dapat diketahui berdasarkan tinggi metacentrumnya. Titik metasentrum merupakan titik potong antara garis vertikal melalui pusat apung benda setelah digoyangkan dengan garis vertikal melalui berat benda sebelum digoyangkan. Tinggi metasentrum seperti tertera pada **Gambar 2** dan kesetimbangan benda terapung tertera pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 2. Tinggi metasentrum
(Sumber: [academia.edu/6347762/MEKANIKA FLUIDA](http://academia.edu/6347762/MEKANIKA_FLUIDA))

Tinggi metasentrum (m) ditentukan dengan **Persamaan 2** berikut:

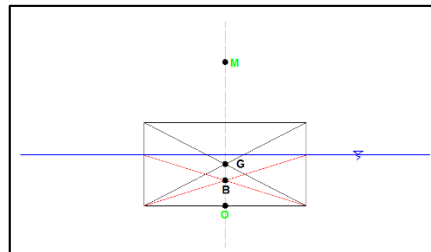
$$m = \frac{I_0}{V} - \overline{A_0B_0} \quad \dots(2)$$

halmana:

I_0 = momen inersia tampang benda yang terpotong permukaan zat cair [mm^4],

V = volume zat cair yang dipindahkan [m^3],

$\overline{A_0B_0}$ = jarak antara pusat apung dan pusat benda [m].



Gambar 3. Kestimbangan benda terapung

Jarak titik pusat berat benda ke titik metasentrum (M) ditentukan dengan **Persamaan 3.a** hingga **Persamaan 3.b**:

$$BG = OG - OB \quad \dots(3.a)$$

$$BM = \frac{I_0}{\text{Volume benda terendam}} \quad \dots(3.b)$$

$$GM = BM - BG \quad \dots(3.c)$$

halmana:

O = titik dasar benda,

B = titik pusat apung benda terendam,

G = titik pusat berat benda,

M = titik metasentrum,

BG = jarak antara titik pusat apung dengan titik pusat berat benda [m],

OG = jarak antara dasar benda ketitik pusat berat benda [m],

OB = jarak antara dasar benda ketitik pusat apung [m],

BM = jarak titik pusat apung ketitik metasentrum [m],

GM = jarak titik pusat berat benda ketitik metasentrum [m].

Apabila:

$GM > 0 \rightarrow$ benda stabil.

$GM = 0 \rightarrow$ benda dalam stabilitas netral.

$GM < 0 \rightarrow$ benda tidak stabil.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka merupakan tahap awal mencari referensi yang sesuai dengan bahasan penelitian ini. Buku peraturan dan jurnal akan menjadi dasar dan pedoman selama proses penelitian ini berlangsung, diantaranya SNI 03-2847-2002 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Sejenisnya.

3.2 Perhitungan Teoritis Pelat Beton Apung Sebelum Dibebani

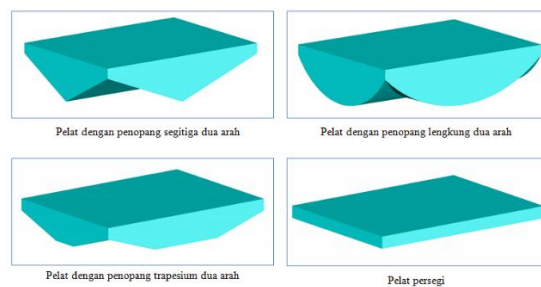
Perhitungan secara teoritis menggunakan teori kesetimbangan benda apung bertujuan untuk menentukan tinggi tenggelam pelat beton apung atau letak muka air pada saat pelat beton apung sebelum dibebani.

3.3 Pemodelan Menggunakan *Software* Ansys

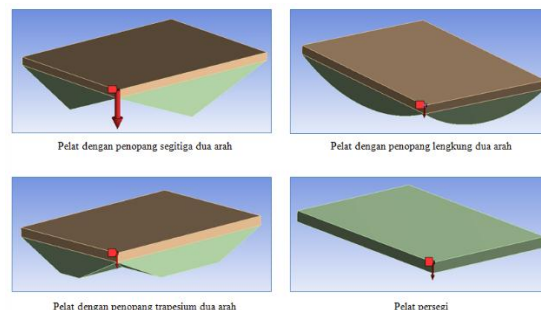
Software yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Ansys. Pelat beton apung dimodelkan dengan menggunakan aplikasi AutoCAD 3D yang kemudian di-*export* ke Ansys. Pelat beton apung dimodelkan dengan sudah menentukan letak muka air.

3.4 *Input Data*

Parameter pelat beton apung antara lain dimensi pelat 3x4 meter; berat jenis pelat 600 kg/m^3 ; jenis material pelat; nilai kekakuan pondasi $ES = 10 \text{ kN/m}^3$; serta beban $P = 2.500 \text{ N}$ di-*input* ke dalam aplikasi Ansys. Beban P diletakkan pada ujung pelat beton apung untuk mendapatkan nilai deformasi maksimum. *SetUp* pemodelan pelat beton apung seperti pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** berikut.



Gambar 4. Pemodelan bentuk penopang pelat beton apung



Gambar 5. *SetUp* pembebanan pada pelat beton apung

3.5 *Solve*

Solve atau hasil *output* dari perhitungan menggunakan aplikasi Ansys adalah *total deformation*, yang mana hasil tersebut akan menunjukkan deformasi maksimum dan minimum pada setiap pelat beton apung yang diteliti. Proses *running* dilakukan apabila semua parameter serta beban pada pelat beton apung sudah di-*input*.

3.6 Perhitungan Teoritis Pelat Beton Apung Setelah Dibebani

Perhitungan teoritis menggunakan teori kesetimbangan benda apung kembali dilakukan setelah proses perhitungan menggunakan aplikasi Ansys selesai dan menghasilkan nilai deformasi maksimum. Perhitungan teoritis ini bertujuan untuk mengetahui keseimbangan pelat beton apung setelah dibebani.

3.7 Pembahasan

Pembahasan dari penelitian dilakukan setelah semua perhitungan selesai. Pembahasan berisi analisis nilai total deformasi yang dihasilkan oleh setiap pelat beton apung, perbandingan volume pelat beton apung dan juga deviasi tinggi tenggelam pelat beton apung baik sebelum maupun sesudah dibebani. Hal ini bertujuan untuk menentukan bentuk penopang pelat beton apung yang paling baik, stabil dan efisien.

3.8 Kesimpulan

Kesimpulan berisi tentang hasil akhir dari pembahasan dan menentukan bentuk penopang pelat beton apung yang paling stabil dan efisien.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan pelat beton apung dalam beberapa bentuk berbeda yang akan diberi beban $P = 2.500 \text{ N}$ pada ujung pelat beton apung dan diletakkan pada pondasi elastis dengan *elastic support* $ES = 10 \text{ kN/m}^3$. Bentuk penopang pelat beton apung yang diamati adalah segitiga, trapesium, lengkung dan pelat persegi.

4.2 Perhitungan Teoritis Sebelum Pelat Beton Apung Dibebani

Data-data perencanaan pelat betong apung dengan bentuk penopang segitiga 15° satu arah:

Volume pelat (V_b)	= 4,8115 m ³
Berat jenis pelat (ρ_b)	= 600 kg/m ³
Berat jenis air (ρ_a)	= 1000 kg/m ³
Gaya gravitasi bumi (g)	= 9,81 m/s ²
Tinggi keseluruhan pelat (H)	= 0,6019 m

Menghitung volume pelat beton apung terendam (V_{bt})

$$F_G = F_B$$

$$\rho_b \times g \times V_b = \rho_a \times g \times V_{bt}$$

$$600 \times 9,81 \times 4,8115 = 1.000 \times 9,81 \times V_{bt}$$

$$V_{bt} = 2,8869 \text{ m}^3$$

Menghitung volume pelat beton apung di atas air (V_{ba})

$$V_{ba} = V_b - V_{bt}$$

$$V_{ba} = 4,8115 - 2,8869$$

$$V_{ba} = 1,9246 \text{ m}^3$$

Menghitung tinggi pelat beton apung di atas air (t)

$$t = \frac{V_{ba}}{b \times h}$$

$$t = \frac{1,9246}{3 \times 4}$$

$$t = 0,1604 \text{ m}$$

Menghitung tinggi pelat beton apung tenggelam/*draft* (d)

$$d = H - t$$

$$d = 0,6019 - 0,1604$$

$$d = 0,4415 \text{ m}$$

Jadi, dari hasil perhitungan pelat beton apung dengan bentuk penopang segitiga 15° satu arah didapatkan tinggi benda tenggelam adalah 0,4415 meter.

Hasil perhitungan tinggi tenggelam pelat beton apung dengan berbagai variasi bentuk penopang disajikan pada **Tabel 1 hingga Tabel 5**.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Tinggi Tenggelam Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Segitiga Satu Arah

Sudut [°]	ρ_b [kg/m ³]	ρ_a [kg/m ³]	g [m/s ²]	V_b [m ³]	V_{bt} [m ³]	V_{ba} [m ³]	t [m]	H [m]	d [m]
15	600	1.000	9,81	4,812	2,887	1,925	0,160	0,602	0,442
20	600	1.000	9,81	5,676	3,405	2,270	0,189	0,746	0,557
25	600	1.000	9,81	6,597	3,958	2,639	0,220	0,890	0,689
30	600	1.000	9,81	7,596	4,558	3,039	0,253	1,066	0,813
35	600	1.000	9,81	8,702	5,221	3,481	0,290	1,250	0,960
40	600	1.000	9,81	9,952	5,971	3,981	0,332	1,459	1,127
45	600	1.000	9,81	11,400	6,840	4,560	0,380	1,700	1,320

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tinggi Tenggelam Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Trapesium Satu Arah

Sudut [°]	ρ_b [kg/m ³]	ρ_a [kg/m ³]	g [m/s ²]	V_b [m ³]	V_{bt} [m ³]	V_{ba} [m ³]	t [m]	H [m]	d [m]
15	600	1.000	9,81	4,715	2,829	1,886	0,157	0,522	0,364
20	600	1.000	9,81	5,545	3,327	2,218	0,185	0,637	0,452
25	600	1.000	9,81	6,429	3,858	2,572	0,214	0,760	0,545
30	600	1.000	9,81	7,388	4,433	2,955	0,246	0,893	0,647
35	600	1.000	9,81	8,449	5,070	3,380	0,282	1,040	0,759
40	600	1.000	9,81	9,650	5,790	3,860	0,322	1,207	0,885
45	600	1.000	9,81	11,040	6,624	4,416	0,368	1,400	1,032

Tabel 3. Hasil Perhitungan Tinggi Tenggelam Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Segitiga Dua Arah

Sudut [°]	ρ_b [kg/m ³]	ρ_a [kg/m ³]	g [m/s ²]	V_b [m ³]	V_{bt} [m ³]	V_{ba} [m ³]	t [m]	H [m]	d [m]
15	600	1.000	9,81	5,615	3,369	2,246	0,187	0,602	0,415
20	600	1.000	9,81	6,768	4,061	2,707	0,226	0,746	0,520
25	600	1.000	9,81	7,996	4,797	3,198	0,266	0,899	0,633
30	600	1.000	9,81	9,328	5,597	3,731	0,311	1,066	0,755
35	600	1.000	9,81	10,803	6,482	4,321	0,360	1,253	0,893
40	600	1.000	9,81	12,469	7,482	4,988	0,416	1,459	1,043
45	600	1.000	9,81	14,400	8,640	5,760	0,480	1,700	1,220

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tinggi Tenggelam Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Trapesium Dua Arah

sudut [°]	ρ_b [kg/m ³]	ρ_a [kg/m ³]	g [m/s ²]	V_b [m ³]	V_{bt} [m ³]	V_{ba} [m ³]	t [m]	H [m]	d [m]
15	600	1.000	9,81	4,715	2,829	1,886	0,157	0,522	0,364
20	600	1.000	9,81	5,545	3,327	2,218	0,185	0,637	0,452
25	600	1.000	9,81	6,429	3,858	2,572	0,214	0,760	0,545
30	600	1.000	9,81	7,388	4,433	2,955	0,246	0,893	0,647
35	600	1.000	9,81	8,449	5,070	3,380	0,282	1,040	0,759
40	600	1.000	9,81	9,650	5,790	3,860	0,322	1,207	0,885
45	600	1.000	9,81	11,004	6,624	4,416	0,368	1,400	1,032

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tinggi Tenggelam Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Lengkung Dua Arah

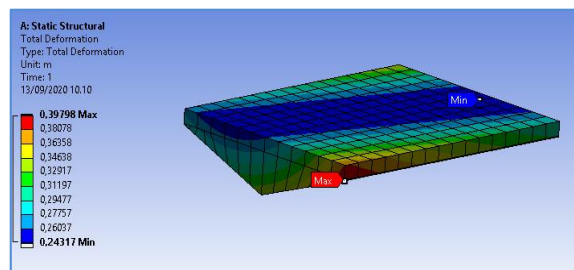
Tinggi [cm]	ρ_b [kg/m ³]	ρ_a [kg/m ³]	g [m/s ²]	V_b [m ³]	V_{bt} [m ³]	V_{ba} [m ³]	t [m]	H [m]	d [m]
50	600	1.000	9,81	7,4504	4,470	2,980	0,248	0,700	0,452
75	600	1.000	9,81	10,064	6,038	4,025	0,336	0,950	0,615
100	600	1.000	9,81	12,768	7,661	5,107	0,426	1,200	0,774

4.3 Perhitungan Menggunakan *Software* Ansys

Pelat beton apung dengan bentuk penopang satu arah dimodelkan menggunakan aplikasi Ansys dengan perlakuan sebagai berikut:

1. Pelat diletakkan pada pondasi elastis dengan *elastic support* sebesar 10 kN/m³ pada penampang sisi bawah penopang pelat.
2. Pelat dibebani $P = 2.500$ N pada ujung pelat.
3. Pelat diberikan tambahan $ES = 0,15$ N/m³ pada setiap sisinya.

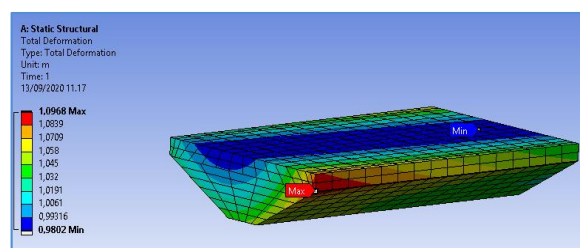
Pelat dengan bentuk penopang satu arah seperti disajikan baik pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** maupun **Tabel 6** dan **Tabel 7** mengalami deformasi yang berlebihan sehingga mengakibatkan pelat menjadi **tidak stabil**. Oleh karena itu, setiap pelat beton apung dengan bentuk penopang satu arah perlu diberikan tambahan *elastic support* pada setiap sisi, diasumsikan pelat beton apung tersebut mengalami jepit pada setiap sisinya.



Gambar 6. Total deformasi pelat beton apung dengan bentuk penopang segitiga satu arah

Tabel 6. Dimensi dan Total Deformasi Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Segitiga Satu Arah

Sudut [°]	Lebar Pelat [cm]	Panjang Pelat [cm]	Tebal Pelat [cm]	Tinggi Penopang [cm]	Deformasi Total	
					Max [m]	Min [m]
15	300	400	20	40,19	0,499	0,361
20	300	400	20	54,6	0,398	0,243
25	300	400	20	69,95	0,344	0,145
30	300	400	20	86,6	0,325	0,115
35	300	400	20	105,03	0,296	0,042
40	300	400	20	125,86	0,291	0,074
45	300	400	20	150	0,277	0,052

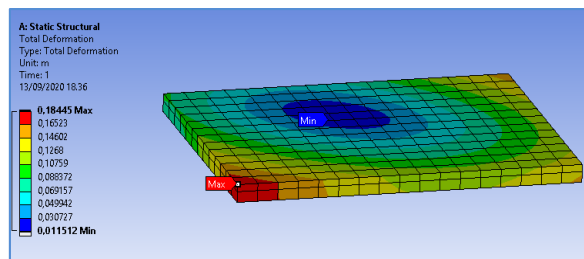


Gambar 7. Total deformasi pelat beton apung dengan bentuk penopang trapesium satu arah

Tabel 7. Dimensi dan Total Deformasi Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Trapesium Satu Arah

Sudut [°]	Lebar Pelat [cm]	Panjang Pelat [cm]	Tebal Pelat [cm]	Tinggi Penopang [cm]	Deformasi Total	
					Max [m]	Min [m]
15	300	400	20	32,15	1,075	0,896
20	300	400	20	43,68	0,765	0,551
25	300	400	20	55,96	1,097	0,980
30	300	400	20	69,28	0,556	0,254
35	300	400	20	84,02	0,535	0,251
40	300	400	20	100,69	0,524	0,291
45	300	400	20	120	0,393	0,077

Pelat beton apung dengan bentuk penopang persegi seperti terlihat pada **Gambar 8** dan **Tabel 8** dimodelkan menggunakan *software* Ansys dengan perlakuan penambahan *elastic support* sebesar $0,50 \text{ N/m}^3$ pada setiap sisi karena pelat beton apung **tidak stabil**. Pelat beton apung diasumsikan mengalami jepit pada setiap sisinya.

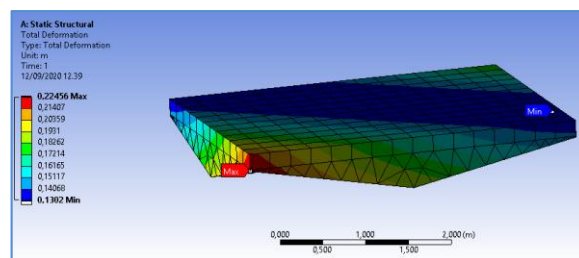


Gambar 8. Total deformasi pelat beton apung persegi

Tabel 8. Dimensi dan Nilai Deformasi Pelat Beton Apung Persegi

Lebar Pelat [cm]	Panjang Pelat [cm]	Tebal Pelat [cm]	Deformasi Total	
			Max [m]	Min [m]
300	400	20	0,1845	0,0115

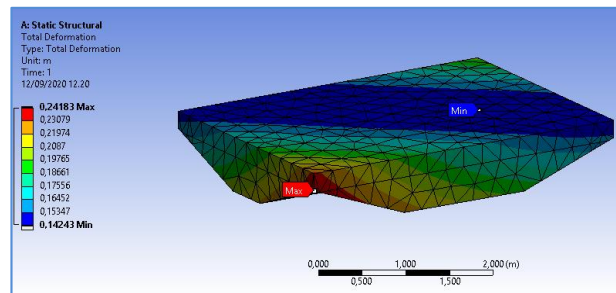
Pelat beton apung dengan bentuk penopang dua arah seperti terlihat baik pada **Gambar 9** hingga **Gambar 11** maupun **Tabel 9** hingga **Tabel 11**. dapat menghasilkan nilai deformasi total tanpa harus diberikan tambahan *elastic support* pada setiap sisinya sehingga pelat ini lebih stabil dibandingkan dengan pelat beton apung dengan bentuk penopang persegi dan juga pelat beton apung dengan bentuk penopang satu arah.



Gambar 9. Total deformasi pelat beton apung dengan bentuk penopang segitiga dua arah

Tabel 9. Dimensi dan Nilai Deformasi Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Segitiga Dua Arah

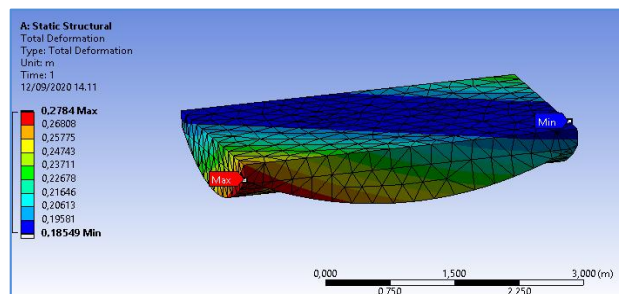
Sudut	Lebar Pelat	Panjang Pelat	Tebal Pelat	Tinggi Penopang	Deformasi Total	
					Max [m]	Min [m]
15	300	400	20	40,19	0,225	0,130
20	300	400	20	54,6	0,201	0,084
25	300	400	20	69,95	0,194	0,053
30	300	400	20	86,6	0,194	0,031
35	300	400	20	105,03	0,198	0,019
40	300	400	20	125,86	0,206	0,016
45	300	400	20	150	0,216	0,014



Gambar 10. Total deformasi pelat beton apung dengan bentuk penopang trapesium dua arah

Tabel 10. Dimensi dan Nilai Deformasi Pelat dengan Penopang Trapesium Dua Arah

Sudut	Bentang 3 meter		Bentang 4 meter		Tinggi Penopang	Deformasi Total	
	B1 [cm]	B2 [cm]	B1 [cm]	B2 [cm]		Max [m]	Min [m]
15	300	60	400	160	32,15	0,285	0,207
20	300	60	400	160	43,68	0,242	0,142
25	300	60	400	160	55,96	0,222	0,101
30	300	60	400	160	69,28	0,213	0,069
35	300	60	400	160	84,02	0,212	0,045
40	300	60	400	160	100,69	0,213	0,026
45	300	60	400	160	120	0,218	0,019



Gambar 11. Total deformasi pelat beton apung dengan bentuk penopang lengkung dua arah

Tabel 11. Dimensi dan Nilai Deformasi Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Lengkung Dua Arah

Lebar Pelat	Panjang Pelat	Tebal Pelat	Tinggi Penopang	Deformasi Total	
				Max [m]	Min [m]
300	400	20	50	0,278	0,185
300	400	20	75	0,236	0,109
300	400	20	100	0,223	0,065

4.4 Perhitungan Teoritis Setelah Pelat Beton Apung Dibebani

Adapun tujuan perhitungan teoritis yaitu untuk mengetahui keseimbangan apung pelat beton apung setelah dibebani oleh beban $P = 2.500 \text{ N}$ dan mengalami deformasi berdasarkan data-data perencanaan.

Tabel 12. Keseimbangan Apung Pelat Beton Apung dengan Bentuk Penopang Segitiga Dua Arah

Sudut [$^{\circ}$]	V_b [m^3]	V_{bt} [m^3]	H [m]	d [m]	OG [m]	OB [m]	BG [m]	I_0 [m^4]	BM [m]	GM
15	5,615	4,635	0,602	0,638	0,387	0,347	0,039	9,011	1,944	1,905
20	6,768	5,174	0,746	0,720	0,486	0,413	0,073	9,003	1,740	1,667
25	7,996	5,725	0,899	0,825	0,593	0,485	0,108	8,842	1,544	1,436
30	9,328	6,324	1,066	0,946	0,702	0,558	0,143	8,613	1,362	1,218
35	1,803	3,554	1,253	1,042	0,854	0,507	0,346	6,347	1,786	1,440
40	12,469	6,777	1,459	1,234	0,975	0,687	0,288	7,609	1,123	0,835
45	14,400	9,440	1,700	1,431	1,134	0,866	0,268	8,444	0,894	0,626

Berdasarkan **Tabel 12** maka semua pelat dengan bentuk penopang lengkung dua arah adalah **stabil** karena nilai GM atau tinggi metacentrum yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah positif (+) atau $GM > 0$, sehingga pelat tersebut akan tetap stabil apabila dibebani sentris maupun eksentris.

Berdasarkan perhitungan teoritis dan juga perhitungan menggunakan *software* Ansys didapatkan beberapa data pelat beton apung dengan bentuk penopang dua arah yang mengalami deformasi maksimum terkecil pada setiap bentuk penopangnya seperti pada **Tabel 13**.

Tabel 13. Perbandingan Pelat Beton Apung dengan Variasi Bentuk Penopang Dua Arah

Bentuk Penopang	Volume benda	Deformasi max	Draft (d)		Deviasi
	[m^3]	[m]	Sebelum dibebani [m]	Setelah dibebani [m]	[m]
Trapesium 35 $^{\circ}$	10,869	0,211	0,678	0,887	0,209
Lengkung 100 cm	12,768	0,223	0,774	0,995	0,220
Segitiga 30 $^{\circ}$	9,328	0,194	0,755	0,946	0,191

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar ukuran dimensi penampang pelat beton apung belum tentu pelat beton apung akan semakin stabil dan menghasilkan nilai deformasi yang kecil.
2. Dalam penelitian ini bentuk penopang pelat beton apung yang paling sesuai dengan keseimbangan apung adalah pelat beton apung dengan bentuk penopang dua arah, karena pelat beton apung ini memiliki bentuk penopang yang sama pada setiap sisinya sehingga pelat beton apung akan mendapatkan tekanan air yang sama besar pada setiap sisinya. Pelat beton apung juga akan tetap stabil meskipun dibebani eksentris.
3. Pelat beton apung yang paling sesuai dengan keseimbangan apung dan paling stabil serta efisien adalah pelat beton apung dengan bentuk penopang segitiga 30 $^{\circ}$ dua arah. Hal ini dikarenakan pelat beton apung tersebut menghasilkan nilai deformasi terkecil sebesar 0,194 m; volume pelat terkecil sebesar 9,328 m^3 serta deviasi tinggi benda tenggelam (*draft*) terkecil yaitu 0,191 m di antara pelat beton apung dengan bentuk penopang dua arah lainnya.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Callister, W. (1997). *Materials Science and Engineering - An Introduction*. John Willey and Sons, Inc.
- Nastain, S.T.,M.T. (2005). *Google*. Dipetik Agustus 30, 2020, dari Academia: https://www.academia.edu/6347762/MEKANIKA_FLUIDA
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008. (2008). *UU RI No.17 Tahun 2008 Tentang Pelayaran, Pasal 1 angka 36*.