

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ukuran Profil Kapal

4.1.1 Profil *Frame spacing* 550

Tabel 4. 1 Profil Frame 550

No	Part	Dimension (mm)
Bottom		
1.	Frame Space	550
2.	Tank Top Plate	6
3.	CR, Girder	T 195 x 7 / 90 x 7
4.	Bottom Frame	L 100 x 75 x 9
5.	Inner Bottom Frame	L 90 x 60 x 6
Main Deck		
1.	Frame Space	550
2.	Deck Plate	7
3.	CR, Girder	T 75 x 7 / 40 x 7
4.	Side Girder	T 75 x 7 / 40 x 7
5.	Web Frame	T 100 x 7 / 65 x 7
6.	Deck Frame	L 75 x 55 x 5
7.	CR, Bulkhead	PL – 6, Vert Stiff 80 x 65 x 6 L
Bridge Deck		
1.	Frame Space	550
2.	Deck Plate	6
3.	CR, Girder	T 65 x 7 / 45 x 7
4.	Side Girder	T 65 x 7 / 45 x 7
5.	Web Frame	T 100 x 7 / 55 x 7
6.	Deck Frame	L 75 x 50 x 5
Top Deck		
1.	Frame Space	550
2.	Deck Plate	6
3.	CR, Girder	T 60 x 7 / 33 x 7
4.	Side Girder	T 60 x 7 / 33 x 7
5.	Web Frame	T 90 x 7 / 44 x 7
6.	Deck Frame	L 60 x 40 x 6
Forecastle Deck		
1.	Frame Space	550
2.	Deck Plate	7
3.	CR, Girder	T 74 x 7 / 40 x 7
4.	Web Frame	T 100 x 7 / 50 x 7
5.	Deck Frame	L 60 x 40 x 7

Pemilihan ukuran profil konstruksi pada struktur kapal perlu mempertimbangkan fungsi elemen struktur dalam menerima dan meneruskan beban yang bekerja pada

kapal. Jarak antar gading (*frame spacing*) merupakan salah satu parameter yang memengaruhi perilaku struktur kapal karena perubahan jarak gading dapat memengaruhi kekakuan dan respons struktur terhadap pembebanan. Penelitian Wulandari et al. (2020) menunjukkan bahwa variasi jarak gading berhubungan dengan perubahan kekuatan kapal.

4.1.2 Profil *Frame spacing* 600

Tabel 4. 2 Profil Frame 600

No	Part	Dimension (mm)
Bottom		
1.	Frame Space	600
2.	Tank Top Plate	8
3.	CR, Girder	T 250 x 8 / 75 x 12
4.	Bottom Frame	L 80 x 80 x 8
5.	Inner Bottom Frame	L 75 x 75 x 7
Main Deck		
1.	Frame Space	600
2.	Deck Plate	8
3.	CR, Girder	T 250 x 8 / 75 x 12
4.	Side Girder	T 200 x 8 / 75 x 12
5.	Web Frame	T 250 x 8 / 75 x 12
6.	Deck Frame	L 75 x 75 x 7
7.	CR, Bulkhead	PL – 6, Vert Stiff 75 x 75 x 7 L
Bridge Deck		
1.	Frame Space	600
2.	Deck Plate	6
3.	CR, Girder	T 200 x 8 / 75 x 9
4.	Side Girder	T 200 x 8 / 75 x 6
5.	Web Frame	T 200 x 8 / 75 x 6
6.	Deck Frame	L 75 x 75 x 7
Top Deck		
1.	Frame Space	600
2.	Deck Plate	6
3.	CR, Girder	T 150 x 6 / 75 x 9
4.	Side Girder	T 150 x 6 / 75 x 9
5.	Web Frame	T 150 x 6 / 75 x 9
6.	Deck Frame	L 75 x 75 x 7
Forecastle Deck		
1.	Frame Space	600
2.	Deck Plate	8
3.	CR, Girder	T 250 x 8 / 75 x 12
4.	Web Frame	T 200 x 8 / 75 x 12
5.	Deck Frame	L L 75 x 75 x 7

Perubahan *frame spacing* dari 550 mm menjadi 600 mm menyebabkan perubahan konfigurasi dan ukuran beberapa elemen konstruksi. Perubahan tersebut perlu dianalisis karena jarak antar gading berkaitan dengan distribusi kekakuan struktur dan kemampuan struktur dalam menerima beban. Variasi *frame spacing* merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengevaluasi respons dan kekuatan struktur kapal (Wulandari et al., 2020).

4.2 Perhitungan Berat Konstruksi

4.2.1 Berat Konstruksi *Frame spacing* 550 mm

Tabel Rekapitulasi Berat & Titik Berat Konstruksi Kapal 550					
SECTION	Berat	Titik berat		Momen	
		LCG	VCG	M _{LCG}	M _{VCG}
1	1.039	-170.98	-1901.91	177.65	-1976.13
2	0.578	-605.56	-1434.56	350.27	-829.79
3	0.692	-958.88	-1426.88	-663.78	-987.75
4	1.018	1289.90	1396.90	1312.53	1421.40
5	0.991	1679.12	2491.98	1664.53	2470.32
6	1.083	1994.34	2480.34	2158.98	2685.10
7	1.414	2374.55	2499.55	3358.08	3534.86
8	1.096	2731.20	2495.20	2994.44	2735.69
9	1.566	3086.10	3975.10	4831.92	6223.84
10	1.751	3445.51	4177.51	6031.47	7312.86
11	1.889	3802.89	4334.89	7182.87	8187.71
12	2.535	4005.99	3384.99	10154.31	8580.21
13	2.095	4522.73	3566.66	9475.23	7472.23
14	2.284	4832.02	3663.02	11033.98	8364.55
15	1.995	5204.71	3697.71	10380.80	7375.09
16	1.937	5585.28	3717.28	10820.09	7201.30
17	2.324	5948.32	3734.32	13823.39	8678.24
18	1.866	6299.79	3740.79	11755.96	6980.64
19	2.495	6481.05	3569.05	16168.16	8903.65
20	1.439	7027.66	1363.66	10112.31	1962.21
21	1.329	7372.34	1546.34	9798.66	2055.26
22	1.285	7726.75	1538.75	9929.78	1977.48
23	1.459	8108.97	1561.97	11832.33	2279.17
24	1.253	8455.96	1346.96	10597.51	1688.09
25	1.980	8616.24	1148.24	17058.90	2273.34
26	1.315	9197.86	1549.00	12093.80	2036.70
27	1.215	9551.28	1361.28	11606.29	1654.16
28	1.088	9912.41	1562.41	10783.99	1699.79
29	1.292	10302.43	1589.43	13308.95	2053.26
30	1.188	10658.62	1386.62	12662.13	1647.26
31	1.078	11028.25	1397.25	11885.01	1505.80
32	0.923	11391.95	1399.95	10519.40	1292.72
33	1.019	11775.37	1422.37	11995.90	1449.01
34	1.400	12059.66	2246.66	16879.15	3144.51
35	1.021	12490.29	2314.29	12746.36	2361.74

36	1.034	12870.93	2335.93	13305.63	2414.82
37	0.898	13232.46	2336.46	11876.61	2097.06
38	0.715	13600.75	2174.75	9725.76	1555.14
39	0.566	13992.87	2376.87	7926.12	1346.35
40	0.101	14382.77	2504.77	1456.24	253.61
	54.244	285303.87	84625.87	361111.71	133081.52

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Berat dan Titik Berat Frame 550

Pada Tabel Rekapitulasi Berat dan Titik Berat Konstruksi Kapal pada *frame spacing* 550 mm, diperoleh distribusi berat konstruksi pada 40 section. Nilai berat konstruksi pada setiap section menunjukkan distribusi yang tidak seragam sepanjang kapal. Nilai berat terbesar diperoleh pada section 19 sebesar 2,495 ton, sedangkan nilai terkecil terdapat pada section 40 sebesar 0,101 ton. Hasil penjumlahan seluruh berat konstruksi dari section 1 sampai section 40 diperoleh sebesar 54,244 ton.

Perhitungan berat konstruksi dilakukan untuk memperoleh distribusi berat sepanjang kapal. Distribusi berat tersebut merupakan salah satu komponen penting dalam analisis beban longitudinal karena berat kapal bekerja sepanjang arah memanjang dan selanjutnya dibandingkan dengan distribusi gaya apung (*buoyancy*). Distribusi beban longitudinal dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan gaya lintang (*shear force*) dan momen lentur (*bending moment*) pada *hull girder* (Ugodo et al., 2019).

Selain berat konstruksi, dilakukan perhitungan posisi titik berat secara longitudinal (LCG) dan vertikal (VCG). Nilai LCG menunjukkan posisi pusat berat elemen konstruksi terhadap titik acuan secara memanjang, sedangkan VCG menunjukkan posisi pusat berat secara vertikal. Nilai LCG dan VCG yang bernilai negatif pada beberapa section menunjukkan posisi terhadap sistem koordinat yang digunakan dan tidak menunjukkan adanya berat negatif.

Selanjutnya, berat pada setiap section dikalikan dengan posisi LCG dan VCG untuk memperoleh momen longitudinal (MLCG) dan momen vertikal (MVCG). Berdasarkan hasil rekapitulasi diperoleh jumlah momen LCG sebesar 361111,71 ton.mm dan jumlah momen VCG sebesar 133081,52 ton.mm. Dengan membandingkan jumlah momen terhadap berat total, diperoleh titik berat total konstruksi secara longitudinal sekitar 6657,17 mm dan secara vertikal sekitar 2453,39 mm. Hasil perhitungan berat dan titik berat konstruksi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis distribusi LWT dan distribusi beban kapal pada *frame spacing* 550 mm.

4.2.2 Berat Konstruksi *Frame spacing* 600 mm

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Berat dan Titik Berat Frame 600

Tabel Rekapitulasi Berat & Titik Berat Konstruksi Kapal 600					
SECTION	Berat	Titik berat		Momen	
		LCG	VCG	M _{LCG}	M _{VCG}
1	1.236	-110.85	-1799.83	-136.96	-2223.70
2	0.665	-535.55	-1438.49	-356.29	-957.00
3	0.910	-823.89	-1759.89	-750.03	-1602.12
4	0.862	1070.18	1357.13	922.49	1169.84
5	1.525	1280.97	2561.22	1953.67	3906.25
6	1.235	2027.98	2075.26	2503.56	2561.93
7	1.589	2360.82	2072.82	3750.76	3293.20
8	2.228	2394.71	1825.71	5335.08	4067.43
9	1.899	3089.33	3364.80	5866.20	6389.27
10	1.875	3452.87	4118.26	6472.59	7719.91
11	2.958	3597.26	4085.26	10641.24	12084.82
12	1.845	4151.42	3524.42	7661.35	6504.24
13	1.926	4515.66	3568.66	8696.76	6872.92
14	3.352	4640.41	3328.41	15552.94	11155.60
15	2.372	5238.46	3708.46	12424.64	8795.76
16	2.326	5593.15	3717.15	13011.07	8647.02
17	2.145	5942.21	3721.21	12745.06	7981.38
18	2.997	6008.45	3441.45	18007.63	10314.20
19	2.981	6370.73	3449.69	18990.90	10283.38
20	1.587	7039.21	1371.21	11172.88	2176.44
21	1.580	7378.00	1549.00	11656.39	2447.24
22	1.328	7738.64	1548.64	10278.98	2057.01
23	1.340	8100.85	1549.85	10853.57	2076.49
24	1.551	8465.57	1354.57	13133.96	2101.56
25	2.573	8517.57	1046.57	21918.22	2693.13
26	1.203	9182.25	1350.25	11050.63	1625.00
27	1.223	9546.37	1353.37	11676.74	1655.39
28	1.131	9914.17	1560.17	11214.17	1764.74
29	1.157	10291.69	1576.69	11910.96	1824.76
30	1.385	10670.71	1394.79	14783.30	1932.35
31	1.083	11029.22	1394.22	11946.55	1510.18
32	1.270	11398.06	1402.06	14473.41	1780.36
33	0.999	11766.83	1409.83	11756.51	1408.59
34	1.462	12031.86	1314.86	17584.71	1921.68
35	1.168	12483.20	2303.20	14584.00	2690.81
36	1.432	12812.72	2271.72	18347.64	3253.07
37	0.988	13219.37	2318.37	13064.84	2291.27
38	1.035	13572.00	2310.00	14051.11	2391.55
39	0.610	13973.96	2350.96	8520.65	1433.50
40	0.140	14378.13	2494.13	2018.35	350.12
	63.173	283774.70	80146.15	409290.23	148349.59

Pada Tabel Rekapitulasi Berat dan Titik Berat Konstruksi Kapal pada *frame spacing* 600 mm, diperoleh hasil perhitungan berat konstruksi pada 40 section. Nilai berat konstruksi pada setiap section menunjukkan distribusi yang tidak seragam sepanjang kapal. Nilai berat konstruksi terbesar terdapat pada section 14 sebesar 3,352 ton, sedangkan nilai terkecil terdapat pada section 40 sebesar 0,140 ton. Hasil penjumlahan seluruh berat konstruksi dari section 1 sampai section 40 diperoleh sebesar 63,173 ton.

Perhitungan berat konstruksi pada *frame spacing* 600 mm dilakukan dengan metode yang sama dengan konfigurasi 550 mm, yaitu dengan menentukan berat pada setiap section serta posisi pusat berat secara longitudinal dan vertikal. Distribusi berat sepanjang kapal selanjutnya dapat digunakan dalam analisis distribusi beban longitudinal dan penentuan respons (Ugodo et al., 2019).

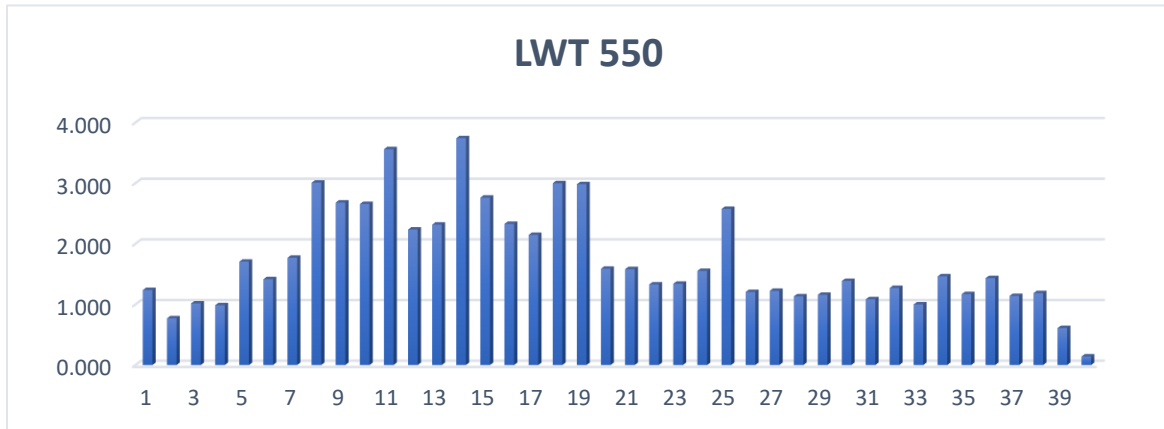
Selanjutnya dilakukan perhitungan titik berat konstruksi secara longitudinal (LCG) dan vertikal (VCG). Nilai LCG menunjukkan posisi titik berat terhadap titik acuan secara memanjang, sedangkan VCG menunjukkan posisi titik berat terhadap titik acuan secara vertikal. Nilai koordinat yang negatif pada beberapa section menunjukkan posisi terhadap sistem koordinat yang digunakan dan tidak menunjukkan adanya berat negatif.

Berat pada setiap section kemudian dikalikan dengan posisi LCG dan VCG untuk memperoleh momen longitudinal (MLCG) dan momen vertikal (MVCG). Berdasarkan hasil rekapitulasi diperoleh jumlah momen longitudinal sebesar 409290,23 ton.mm dan jumlah momen vertikal sebesar 148349,59 ton.mm. Dengan membandingkan jumlah momen terhadap berat total, diperoleh posisi titik berat total konstruksi sekitar 6478,88 mm secara longitudinal dan 2348,31 mm secara vertikal terhadap sistem koordinat yang digunakan. Hasil perhitungan berat dan titik berat konstruksi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan distribusi LWT dan distribusi beban kapal pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm.

4.2.3 Perbandingan Hasil

Frame spacing 550 mm menghasilkan berat konstruksi sebesar 54,244 ton, sedangkan *frame spacing* 600 mm menghasilkan 63,173 ton. Dengan demikian, konfigurasi 600 mm memiliki berat konstruksi 8,929 ton atau sekitar 16,46% lebih besar dibandingkan konfigurasi 550 mm. Peningkatan berat tersebut juga menyebabkan jumlah momen longitudinal dan vertikal meningkat. Namun, posisi titik berat total tidak semata-mata mengikuti kenaikan berat, karena LCG dan VCG merupakan hasil pembobotan antara berat dan posisi masing-masing elemen konstruksi. Berdasarkan perhitungan, LCG total konfigurasi 550 mm sebesar 6.657,17 mm dan 600 mm sebesar 6.478,88 mm, sedangkan VCG total masing-masing sebesar 2.453,39 mm dan 2.348,31 mm. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan *frame spacing* dan konfigurasi elemen konstruksi mempengaruhi distribusi massa serta posisi titik berat kapal.

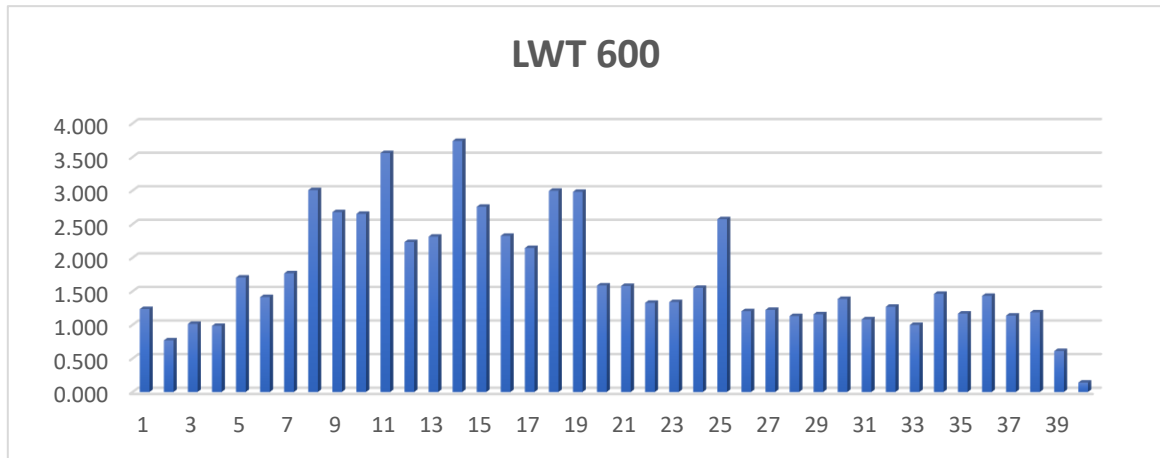
4.2.4 LWT 550



Gambar 4. 1 LWT 550

grafik sebaran *frame spacing* LWT 550 mm, dapat diketahui bahwa distribusi berat kapal kosong sepanjang 40 stasiun tidak bersifat seragam. Pada bagian ujung kapal, nilai LWT kapal relatif rendah, kemudian mengalami peningkatan menuju daerah tengah. Nilai distribusi LWT yang cukup besar terlihat pada beberapa stasiun, dengan nilai maksimum sekitar 3,739 ton pada stasiun 14. Peningkatan nilai LWT pada daerah tersebut menunjukkan adanya konsentrasi berat akibat elemen konstruksi dan komponen tetap kapal. Setelah melewati daerah dengan nilai LWT yang relatif tinggi, distribusi kapal berat kembali mengalami penurunan menuju bagian ujung. Nilai LWT pada stasiun 39 dan 40 masing-masing sekitar 0,610 ton dan 0,140 ton. Dengan demikian, grafik menunjukkan bahwa distribusi berat kapal cenderung lebih besar di daerah tengah kapal dan lebih kecil di daerah ujung kapal. Pola distribusi ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis beban kapal dan perhitungan beban bersih terhadap distribusi daya apung.

4.2.5 LWT 600



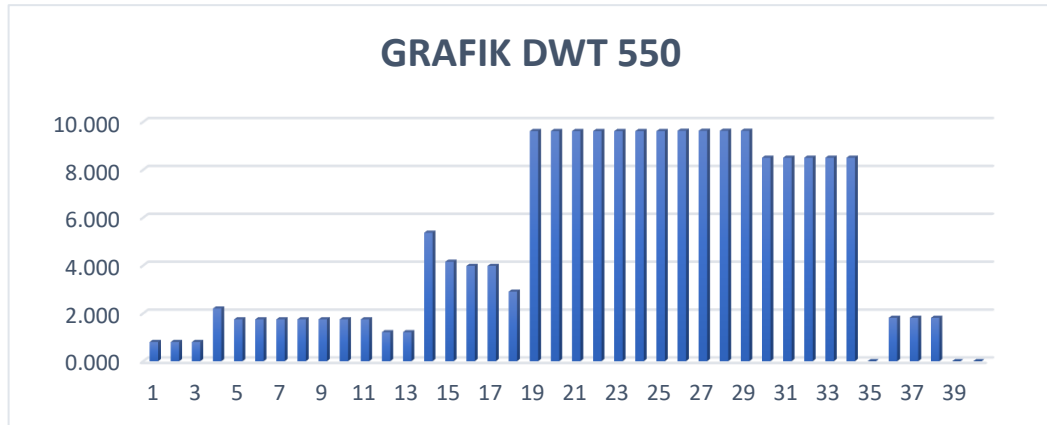
Gambar 4. 2 LWT 600

grafik distribusi LWT pada *frame spacing* 600 mm, dapat diketahui bahwa distribusi berat kapal kosong sepanjang 40 station tidak merata. Pada bagian awal kapal, yaitu station 1–7, nilai LWT berada pada kisaran 0,769–1,768 ton/m. Nilai LWT kemudian mengalami peningkatan pada station 8–15 dan mencapai nilai maksimum sebesar 3,739 ton/m pada station 14. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terdapat distribusi berat konstruksi dan komponen tetap kapal yang relatif lebih besar. Setelah station 15, nilai LWT secara umum mengalami penurunan, meskipun terdapat beberapa peningkatan pada station tertentu, seperti station 18, 19, dan 25. Selanjutnya, distribusi LWT kembali menurun menuju bagian akhir kapal dan mencapai nilai 0,140 ton pada station 40. Secara keseluruhan, total LWT pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm diperoleh sebesar 68,829 ton. Pola distribusi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan distribusi beban total kapal pada analisis kekuatan memanjang.

5.2.6 Hasil Perbandingan LWT

Berdasarkan hasil perhitungan, *frame spacing* 550 mm menghasilkan berat konstruksi sebesar 54,244 ton, sedangkan *frame spacing* 600 mm menghasilkan berat konstruksi sebesar 63,173 ton. Selisih berat konstruksi kedua konfigurasi adalah 8,929 ton atau sekitar 16,46%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada model konstruksi yang digunakan dalam penelitian ini, konfigurasi 550 mm menghasilkan berat konstruksi yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi 600 mm. Perbedaan tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh jarak antar frame, tetapi juga oleh perbedaan dimensi profil dan ketebalan elemen konstruksi pada masing-masing konfigurasi.

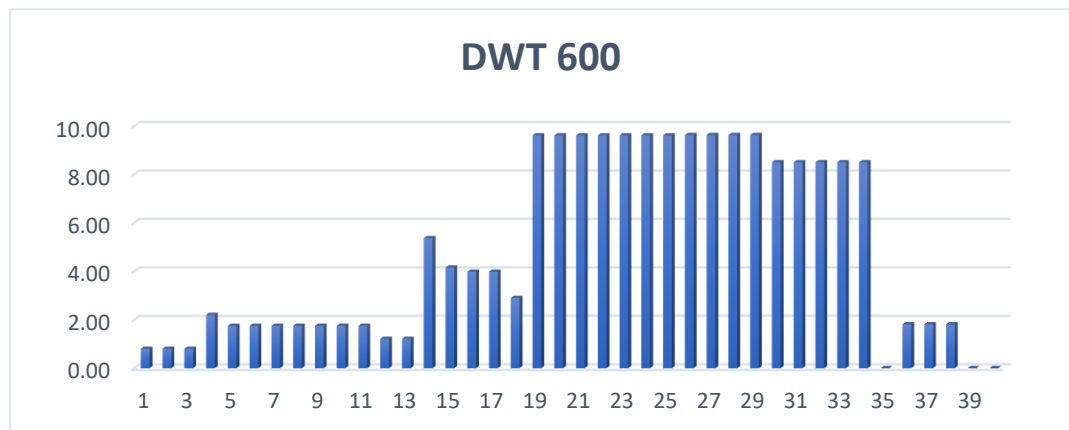
4.2.7 DWT 550



Gambar 4. 3 DWT 550

Berdasarkan grafik distribusi DWT pada *frame spacing* 550 mm, dapat diketahui bahwa distribusi beban mati kapal sepanjang 40 station tidak merata. Pada bagian awal kapal, yaitu station 1–4, nilai distribusi DWT relatif kecil. Selanjutnya, pada station 5–12 nilai DWT meningkat dan cenderung relatif stabil. Pada sekitar station 14 terjadi peningkatan distribusi DWT yang cukup signifikan hingga sekitar 5,4 ton/m, kemudian berada pada kisaran 3–4 ton/m hingga station 18. Distribusi DWT selanjutnya mengalami peningkatan yang cukup besar pada station 19–29 dan mencapai kisaran sekitar 9,5–9,8 ton/m. Setelah station 29, distribusi DWT mulai mengalami penurunan pada station 30–34 hingga sekitar 8,4–8,7 ton/m. Selanjutnya, pada station 35–40 nilai DWT kembali mengalami penurunan hingga sekitar 1,7–1,9 ton/m. Pola tersebut menunjukkan bahwa distribusi DWT terbesar berada pada daerah tengah kapal, sedangkan pada daerah ujung kapal distribusi DWT relatif kecil. Distribusi DWT ini selanjutnya digabungkan dengan distribusi LWT untuk memperoleh distribusi beban total kapal yang digunakan dalam analisis superposisi terhadap distribusi buoyancy.

4.2.8 DWT 600



Gambar 4. 4 DWT 600

Berdasarkan grafik distribusi DWT pada *frame spacing* 600 mm, dapat diketahui bahwa distribusi beban mati kapal sepanjang 40 station tidak merata. Pada station 1–4, distribusi DWT relatif kecil dan kemudian meningkat pada station 4. Pada station 5–12, distribusi DWT cenderung relatif stabil dengan nilai sekitar 1,6–2,0 ton/m. Selanjutnya, pada station 14 terjadi peningkatan distribusi DWT hingga sekitar 5,4 ton/m, kemudian mengalami penurunan pada station 15–18. Distribusi DWT kembali meningkat secara signifikan pada station 19 dan selanjutnya berada pada kisaran sekitar 9,5–9,8 ton/m hingga station 29. Setelah station 29, nilai distribusi DWT mengalami penurunan menjadi sekitar 8,4–8,7 ton/m pada station 30–34. Pada station 35–40, distribusi DWT kembali mengalami penurunan hingga berada pada nilai sekitar 1,7–1,9 ton/m. Secara keseluruhan, distribusi DWT terbesar terdapat pada daerah tengah kapal, khususnya sekitar station 19–29, sedangkan distribusi pada bagian ujung kapal relatif lebih kecil. Distribusi DWT tersebut selanjutnya dikombinasikan dengan distribusi LWT untuk memperoleh distribusi beban total kapal yang digunakan dalam analisis superposisi terhadap distribusi buoyancy.

4.2.9 Hasil Perbandingan DWT

Berdasarkan hasil perbandingan distribusi DWT pada *frame spacing* 550 mm dan 600 mm, diperoleh total DWT yang sama, yaitu sebesar 193,371 ton pada kedua konfigurasi. Dengan demikian, selisih total DWT antara kedua konfigurasi adalah 0 ton atau 0%. Pola distribusi DWT pada kedua konfigurasi juga relatif sama, dengan nilai distribusi yang rendah pada daerah ujung kapal, kemudian mengalami peningkatan menuju daerah tengah kapal. Distribusi DWT terbesar terdapat pada sekitar station 19–29 dengan nilai sekitar 9,5–9,8 ton/m. Setelah daerah tersebut, distribusi DWT mengalami penurunan menuju bagian ujung kapal. Kesamaan total dan pola distribusi DWT menunjukkan bahwa beban mati kapal dalam kedua model penelitian ditetapkan dengan kondisi pembebanan yang sama. Oleh karena itu, perubahan *frame spacing* 550 mm menjadi 600 mm tidak memberikan perubahan terhadap total DWT, sedangkan pengaruh variasi *frame spacing* lebih terlihat pada perubahan berat konstruksi dan LWT kapal.

4.3 Analisis Sebaran Berat

Tabel 4. 5 Penyebaran Berat LWT 550

4.3.1 Sebaran Beban *Frame spacing* 550 mm

Tabel Penyebaran Berat Bagian LWT						
Section	Berat kapal kosong	Kamar Mesin	Peralatan	Baling2 & Poros	Kemudi & Poros	q (LWT) [ton/m]
1	1.039					1.039
2	0.578				0.104	0.683
3	0.692				0.104	0.796
4	1.018			0.123		1.141
5	0.991			0.179		1.170
6	1.083			0.179		1.262
7	1.414			0.179		1.593
8	1.096	0.600		0.179		1.875
9	1.566	0.600		0.179		2.345
10	1.751	0.600		0.179		2.530
11	1.889	0.600				2.489
12	2.535	0.388				2.922
13	2.095	0.388				2.483
14	2.284	0.388				2.671
15	1.995	0.388				2.382
16	1.937					1.937
17	2.324					2.324
18	1.866					1.866
19	2.495					2.495
20	1.439					1.439
21	1.329					1.329
22	1.285					1.285
23	1.459					1.459
24	1.253					1.253
25	1.980					1.980
26	1.315					1.315
27	1.215					1.215
28	1.088					1.088
29	1.292					1.292
30	1.188					1.188
31	1.078					1.078
32	0.923					0.923
33	1.019					1.019
34	1.400					1.400
35	1.021					1.021
36	1.034					1.034
37	0.898		0.150			1.048
38	0.715		0.150			0.865
39	0.566					0.566
40	0.101					0.101
						59.899

Berdasarkan Tabel Penyebaran Berat Bagian LWT pada *frame spacing* 550 mm, distribusi Light Weight kapal diperoleh dari penyebaran beberapa komponen berat tetap, yaitu berat kapal kosong, kamar mesin, peralatan, baling-baling dan poros, serta kemudi dan poros pada 40 section. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi berat LWT pada setiap section tidak seragam. Berat kapal kosong memberikan kontribusi utama terhadap distribusi LWT, sedangkan komponen berat tetap lainnya memberikan tambahan pada section tertentu sesuai dengan penyebaran yang digunakan dalam perhitungan.

Pada section 8–11 terdapat tambahan komponen kamar mesin sebesar 0,600 ton, sedangkan pada section 12–15 terdapat tambahan sebesar 0,388 ton. Selain itu, komponen kemudi dan poros serta baling-baling dan poros juga memberikan kontribusi pada beberapa section. Adanya komponen-komponen tersebut menyebabkan nilai distribusi $q(LWT)$ pada section tertentu lebih besar dibandingkan berat kapal kosongnya.

Berdasarkan kolom $q(LWT)$, nilai distribusi LWT terbesar terdapat pada section 12 sebesar 2,922 ton/m, sedangkan nilai terkecil terdapat pada section 40 sebesar 0,101 ton/m. Secara keseluruhan, hasil penyebaran berat pada seluruh section menghasilkan total LWT sebesar 59,899 ton. Distribusi LWT tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu komponen dalam menentukan distribusi beban total kapal untuk analisis kekuatan memanjang.

Tabel 4. 6 Penyebaran Berat DWT 550

Tabel Penyebaran Berat Bagian DWT								
Station	Air Tawar	B.B. Mesin utama	B.B. Mesin Bantu	Minyak Pelumas	crew &provision	servis tank/msc/W.BT	Muatan Bersih	q (DWT)
	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]
1	0.8010							0.801
2	0.8010							0.801
3	0.8010							0.801
4	0.8010				1.4			2.201
5	1.7480							1.748
6	1.7480							1.748
7	1.7480							1.748
8	1.7480							1.748
9	1.7480							1.748
10	1.7480							1.748
11	1.7480							1.748
12		0.831				0.381		1.212
13		0.831				0.381		1.212
14		3.735		1.250		0.381		5.366
15		2.904		1.250				4.154
16		2.904				1.077		3.981
17		2.904				1.077		3.981

18	2.904		2.904
19	1.66	7.9520	9.612
20	1.66	7.9520	9.612
21	1.66	7.9520	9.612
22	1.66	7.9520	9.612
23	1.66	7.9520	9.612
24	1.66	7.9520	9.612
25	1.66	7.9520	9.612
26	1.672	7.9520	9.624
27	1.672	7.9520	9.624
28	1.672	7.9520	9.624
29	1.672	7.9520	9.624
30	0.549	7.9520	8.501
31	0.549	7.9520	8.501
32	0.549	7.9520	8.501
33	0.549	7.9520	8.501
34	0.549	7.9520	8.501
35			0.000
36		1.812	1.812
37		1.812	1.812
38		1.812	1.812
39			0.000
40			0.000
			193.3710

Berdasarkan Tabel Penyebaran Berat Bagian DWT pada *frame spacing* 550 mm, distribusi Deadweight kapal dilakukan pada 40 station yang terdiri atas beberapa komponen, yaitu air tawar, bahan bakar mesin utama, bahan bakar mesin bantu, minyak pelumas, crew dan provision, servis tank/MSK/W.BT, serta muatan bersih. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi DWT pada setiap station tidak seragam karena setiap komponen memiliki lokasi dan besaran penyebaran yang berbeda. Pada station 1–4, distribusi DWT terutama berasal dari air tawar, dengan tambahan beban pada station 4. Selanjutnya pada station 5–11, distribusi DWT sebesar 1,748 ton/m berasal dari bahan bakar mesin utama. Pada station 12–18 terjadi perubahan distribusi akibat adanya kombinasi bahan bakar, minyak pelumas, dan servis tank.

Distribusi DWT terbesar terdapat pada daerah station 19–29. Pada station 19–25 diperoleh nilai $q(DWT)$ sebesar 9,612 ton/m, sedangkan pada station 26–29 sebesar 9,624 ton/m. Tingginya nilai tersebut terutama berasal dari kombinasi bahan bakar mesin utama dan muatan bersih. Setelah station 29, distribusi DWT menurun menjadi 8,501 ton/m pada station 30–34 akibat berkurangnya distribusi bahan bakar mesin utama. Pada station 36–38 terdapat kembali distribusi sebesar 1,812 ton/m yang berasal dari servis tank/MSK/W.BT, sedangkan station 39–40 tidak memiliki distribusi DWT. Secara keseluruhan, hasil penyebaran seluruh komponen menghasilkan total DWT sebesar

193,371 ton. Distribusi DWT ini selanjutnya dikombinasikan dengan distribusi LWT untuk memperoleh distribusi berat total kapal yang digunakan dalam analisis kekuatan memanjang.

Tabel 4. 7 Penyebaran LWT + DWT 550

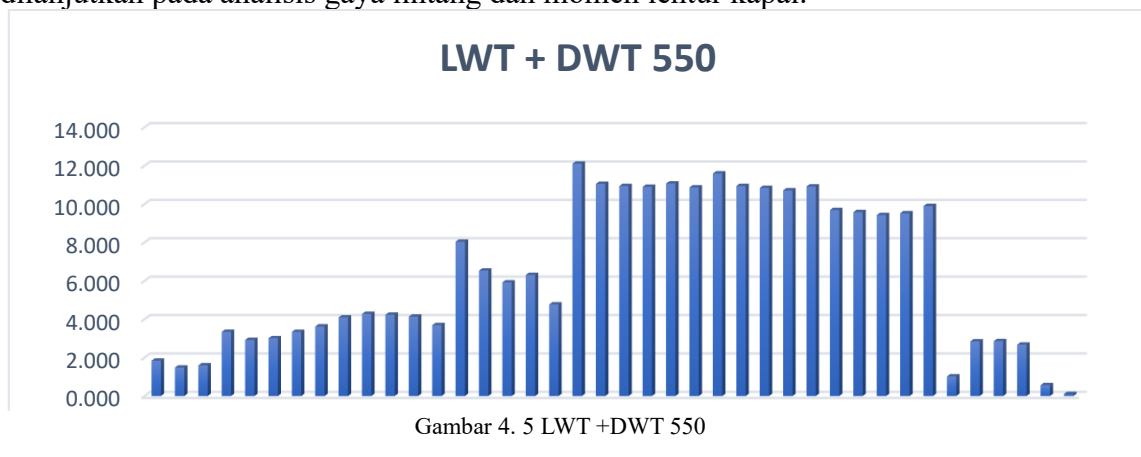
Tabel Penyebaran Berat Total (LWT+DWT)						
Station	q(LWT) I [ton/m]	q(DWT) II [ton/m]	q(Total) I+II [ton/m]	q(total).h [ton]	Lengan thd midship st. m	Momen [tonm]
1	1.039	0.801	1.84	1.32	-13.19	-17.4744
2	0.683	0.801	1.48	1.07	-12.47	-13.3202
3	0.796	0.801	1.60	1.15	-11.75	-13.5140
4	1.141	2.201	3.34	2.41	-11.03	-26.5401
5	1.170	1.748	2.92	2.10	-10.31	-21.6632
6	1.262	1.748	3.01	2.17	-9.59	-20.7804
7	1.593	1.748	3.34	2.41	-8.87	-21.3382
8	1.875	1.748	3.62	2.61	-8.15	-21.2620
9	2.345	1.748	4.09	2.95	-7.43	-21.8943
10	2.530	1.748	4.28	3.08	-6.71	-20.6656
11	2.489	1.748	4.24	3.05	-5.99	-18.2725
12	2.922	1.212	4.13	2.98	-5.27	-15.6871
13	2.483	1.212	3.69	2.66	-4.55	-12.1033
14	2.671	5.366	8.04	5.79	-3.83	-22.1629
15	2.382	4.154	6.54	4.71	-3.11	-14.6354
16	1.937	3.981	5.92	4.26	-2.39	-10.1841
17	2.324	3.981	6.30	4.54	-1.67	-7.5810
18	1.866	2.904	4.77	3.43	-0.95	-3.2627
19	2.495	9.612	12.11	8.72	-0.23	-2.0049
20	1.439	9.612	11.05	7.96	0.49	3.8988
21	1.329	9.612	10.94	7.88	1.21	9.5319
22	1.285	9.612	10.90	7.85	1.93	15.1426
23	1.459	9.612	11.07	7.97	2.65	21.1238
24	1.253	9.612	10.87	7.82	3.37	26.3635
25	1.980	9.612	11.59	8.35	4.09	34.1357
26	1.315	9.624	10.94	7.88	4.81	37.8834
27	1.215	9.624	10.84	7.80	5.53	43.1572
28	1.088	9.624	10.71	7.71	6.25	48.2037
29	1.292	9.624	10.92	7.86	6.97	54.7800
30	1.188	8.501	9.69	6.98	7.69	53.6459
31	1.078	8.501	9.58	6.90	8.41	58.0009
32	0.923	8.501	9.42	6.79	9.13	61.9523
33	1.019	8.501	9.52	6.85	9.85	67.5139
34	1.400	8.501	9.90	7.13	10.57	75.3478
35	1.021	0.000	1.02	0.73	11.29	8.2954

36	1.034	1.812	2.85	2.05	12.01	24.6080
37	1.048	1.812	2.86	2.06	12.73	26.2094
38	0.865	1.812	2.68	1.93	13.45	25.9249
39	0.566	0.000	0.57	0.41	14.17	5.7790
40	0.101	0.000	0.10	0.07	14.89	1.0855
	59.90	193.37	253.27	182.4		476.1137
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄		S ₅

Berdasarkan Tabel Penyebaran Berat Total (LWT+DWT) pada *frame spacing* 550 mm, dilakukan penggabungan antara distribusi berat kapal kosong (LWT) dan distribusi beban mati (DWT) pada 40 station. Distribusi berat total pada setiap station diperoleh dengan menjumlahkan $q(LWT)$ dan $q(DWT)$, sehingga secara matematis dinyatakan sebagai $q(Total) = q(LWT) + q(DWT)$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi berat total tidak seragam sepanjang kapal. Pada bagian awal kapal, nilai $q(Total)$ relatif rendah, kemudian mengalami peningkatan menuju daerah tengah kapal.

Nilai $q(Total)$ terbesar terdapat pada station 19 sebesar 12,11 ton/m. Tingginya nilai tersebut disebabkan oleh kombinasi distribusi LWT sebesar 2,495 ton/m dan DWT sebesar 9,612 ton/m. Pada station 26–29, nilai $q(Total)$ juga relatif tinggi, yaitu sekitar 10,71–10,94 ton/m, sedangkan pada station 30–34 nilainya berada sekitar 9,42–9,90 ton/m. Setelah memasuki bagian ujung kapal, distribusi berat total mengalami penurunan yang signifikan, dengan nilai $q(Total)$ sebesar 0,10 ton/m pada station 40.

Selanjutnya, nilai $q(Total)$ dikalikan dengan panjang interval station untuk memperoleh beban pada masing-masing interval dalam satuan ton. Posisi setiap beban terhadap midship kemudian digunakan untuk menentukan momen pada masing-masing station. Hasil rekapitulasi menunjukkan total distribusi LWT sebesar 59,90 ton dan DWT sebesar 193,37 ton, sehingga total LWT+DWT yang digunakan adalah 253,27 ton. Distribusi berat total tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk memperoleh distribusi beban bersih melalui perbandingan dengan distribusi buoyancy, yang kemudian dilanjutkan pada analisis gaya lintang dan momen lentur kapal.



Berdasarkan grafik penyebaran berat total LWT+DWT pada *frame spacing* 550 mm, terlihat bahwa distribusi berat total kapal sepanjang 40 stasiun tidak seragam. Pada bagian awal kapal, yaitu stasiun 1–4, nilai distribusi berat total relatif rendah dan kemudian mengalami peningkatan secara bertahap hingga stasiun 13. Pada stasiun 14 terjadi peningkatan distribusi yang cukup signifikan hingga sekitar 8,0 ton/m, kemudian mengalami perubahan pada stasiun 15–18. Nilai distribusi berat total tertinggi terdapat pada stasiun 19 sebesar 12,11 ton/m, yang merupakan hasil penjumlahan distribusi LWT sebesar 2,495 ton/m dan DWT sebesar 9,612 ton/m. Selanjutnya pada stasiun 20–29 distribusi berat total tetap relatif tinggi, sedangkan pada stasiun 30–34 mulai mengalami penurunan. Setelah station 34, distribusi berat total mengalami penurunan yang cukup tajam pada station 35 dan kembali berada pada nilai yang lebih rendah hingga station 40. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa konsentrasi berat total terbesar berada di daerah tengah kapal. Distribusi berat total tersebut selanjutnya digunakan sebagai beban berat kapal dalam proses superposisi dengan distribusi buoyancy untuk memperoleh distribusi beban bersih yang menjadi dasar perhitungan gaya lintang dan momen lentur.

4.3.2 Sebaran Beban *Frame spacing* 600 m

Tabel 4. 8 Penyebaran Berat LWT 600

Tabel Penyebaran Berat Bagian LWT						
Station	Berat kapal kosong	Kamar Mesin	Peralatan	Baling2 & Poros	Kemudi & Poros	q (LWT) [ton/m]
1	1.236					1.236
2	0.665				0.104	0.769
3	0.910				0.104	1.015
4	0.862			0.123		0.985
5	1.525			0.179		1.704
6	1.235			0.179		1.414
7	1.589			0.179		1.768
8	2.228	0.600		0.179		3.007
9	1.899	0.600		0.179		2.678
10	1.875	0.600		0.179		2.654
11	2.958	0.600				3.558
12	1.845	0.388				2.233
13	1.926	0.388				2.313
14	3.352	0.388				3.739
15	2.372	0.388				2.759
16	2.326					2.326
17	2.145					2.145
18	2.997					2.997
19	2.981					2.981
20	1.587					1.587
21	1.580					1.580
22	1.328					1.328
23	1.340					1.340
24	1.551					1.551

25	2.573		2.573
26	1.203		1.203
27	1.223		1.223
28	1.131		1.131
29	1.157		1.157
30	1.385		1.385
31	1.083		1.083
32	1.270		1.270
33	0.999		0.999
34	1.462		1.462
35	1.168		1.168
36	1.432		1.432
37	0.988	0.150	1.138
38	1.035	0.150	1.185
39	0.610		0.610
40	0.140		0.140
			68.829

Berdasarkan Tabel Penyebaran Berat Bagian LWT pada *frame spacing* 600 mm, distribusi Light Weight kapal diperoleh dari penyebaran berat kapal kosong dan beberapa komponen berat tetap, yaitu kamar mesin, peralatan, baling-baling dan poros, serta kemudi dan poros pada 40 section. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi LWT pada setiap section tidak seragam. Berat kapal kosong memberikan kontribusi utama terhadap nilai LWT, sedangkan komponen berat tetap memberikan tambahan pada section tertentu sesuai dengan lokasi penyebarannya.

Komponen kamar mesin tersebar pada section 8–11 sebesar 0,600 ton dan section 12–15 sebesar 0,388 ton. Komponen baling-baling dan poros tersebar pada section 4–10, sedangkan kemudi dan poros terdapat pada section 2 dan 3. Selain itu, komponen peralatan terdapat pada section 37 dan 38 masing-masing sebesar 0,150 ton. Adanya komponen tambahan tersebut menyebabkan nilai q(LWT) pada beberapa section lebih besar dibandingkan berat kapal kosongnya.

Berdasarkan kolom q(LWT), nilai distribusi LWT terbesar terdapat pada section 14 sebesar 3,739 ton/m, sedangkan nilai terkecil terdapat pada section 40 sebesar 0,140 ton/m. Secara keseluruhan, hasil penyebaran berat pada 40 section menghasilkan total LWT sebesar 68,829 ton. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai distribusi berat kapal kosong dalam menentukan distribusi beban total kapal pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm.

Tabel 4. 9 Penyebaran Berat DWT 600

Tabel Penyebaran Berat Bagian DWT								
Station	Air Tawar	B.B. Mesin utama	B.B. Mesin Bantu	Minyak Pelumas	crew &provision	servis tank/msc/W.BT	Muatan Bersih	q (DWT)
	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]	[ton/m]
1	0.8010							0.801
2	0.8010							0.801
3	0.8010							0.801
4	0.8010				1.4			2.201
5	1.7480							1.748
6	1.7480							1.748
7	1.7480							1.748
8	1.7480							1.748
9	1.7480							1.748
10	1.7480							1.748
11	1.7480							1.748
12		0.831				0.381		1.212
13		0.831				0.381		1.212
14		3.735		1.250		0.381		5.366
15		2.904		1.250				4.154
16		2.904				1.077		3.981
17		2.904				1.077		3.981
18		2.904						2.904
19		1.66					7.9520	9.612
20		1.66					7.9520	9.612
21		1.66					7.9520	9.612
22		1.66					7.9520	9.612
23		1.66					7.9520	9.612
24		1.66					7.9520	9.612
25		1.66					7.9520	9.612
26		1.672					7.9520	9.624
27		1.672					7.9520	9.624
28		1.672					7.9520	9.624
29		1.672					7.9520	9.624
30		0.549					7.9520	8.501
31		0.549					7.9520	8.501
32		0.549					7.9520	8.501
33		0.549					7.9520	8.501
34		0.549					7.9520	8.501
35								0.000
36						1.812		1.812
37						1.812		1.812
38						1.812		1.812
39								0.000
40								0.000
								193.3710

Berdasarkan Tabel Penyebaran Berat Bagian DWT pada *frame spacing* 600 mm, diperoleh distribusi Deadweight pada 40 station kapal yang terdiri atas air tawar, bahan bakar mesin utama, bahan bakar mesin bantu, minyak pelumas, crew dan provision, servis tank/MSK/W.BT, serta muatan bersih. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi DWT pada setiap station tidak seragam karena masing-masing komponen memiliki lokasi penyebaran yang berbeda. Pada station 1–3, distribusi DWT sebesar 0,801 ton/m berasal dari air tawar, sedangkan pada station 4 meningkat menjadi 2,201 ton/m akibat adanya tambahan crew dan provision sebesar 1,4 ton/m. Pada station 5–11, distribusi DWT sebesar 1,748 ton/m berasal dari bahan bakar mesin utama.

Pada station 12–18 terjadi perubahan distribusi akibat kombinasi bahan bakar mesin utama, minyak pelumas, dan servis tank. Nilai $q(DWT)$ pada station 14 mencapai 5,366 ton/m. Selanjutnya, distribusi DWT meningkat secara signifikan pada station 19–29 akibat adanya muatan bersih sebesar 7,9520 ton/m. Pada station 19–25 diperoleh $q(DWT)$ sebesar 9,612 ton/m, sedangkan pada station 26–29 mencapai 9,624 ton/m yang merupakan nilai distribusi DWT tertinggi pada tabel. Setelah station 29, nilai $q(DWT)$ mengalami penurunan menjadi 8,501 ton/m pada station 30–34. Pada station 36–38 terdapat kembali distribusi sebesar 1,812 ton/m yang berasal dari servis tank/MSK/W.BT, sedangkan station 35, 39, dan 40 tidak memiliki distribusi DWT. Secara keseluruhan, hasil penyebaran seluruh komponen menghasilkan total DWT sebesar 193,370 ton atau sekitar 193,371 ton. Distribusi DWT tersebut selanjutnya dikombinasikan dengan distribusi LWT untuk memperoleh distribusi berat total kapal pada *frame spacing* 600 mm.

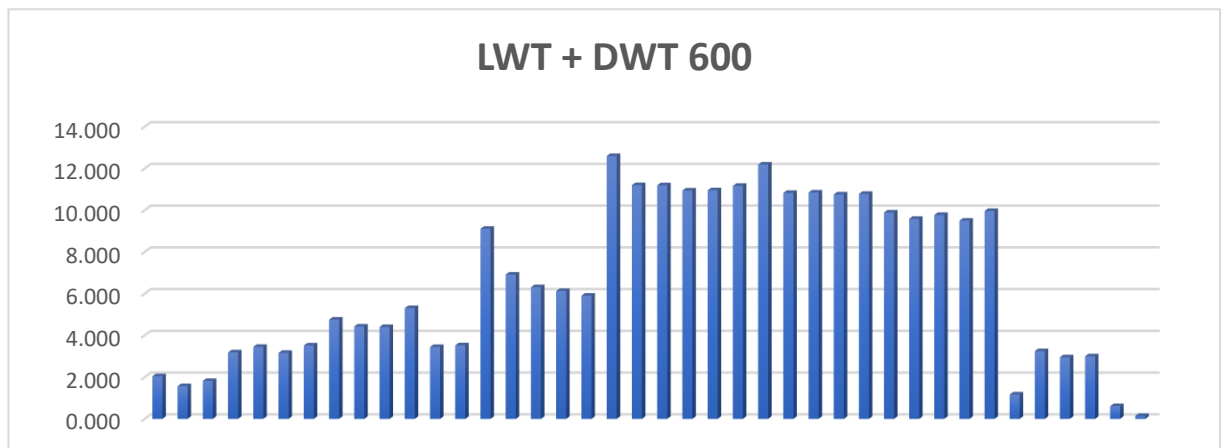
Tabel 4. 10 Penyebaran Berat LWT+DWT 600

Tabel Penyebaran Berat Total (LWT+DWT)						
Station	q(LWT) I [ton/m]	q(DWT) II [ton/m]	q(Total) I+II [ton/m]	q(total).h [ton]	Lengan thd midship st. m	Momen [tonm]
1	1.236	0.80	2.04	1.47	-13.77	-20.2188
2	0.769	0.80	1.57	1.13	-13.05	-14.7752
3	1.015	0.80	1.82	1.31	-12.33	-16.1371
4	0.985	2.20	3.19	2.30	-11.61	-26.6656
5	1.704	1.75	3.45	2.49	-10.89	-27.0953
6	1.414	1.75	3.16	2.28	-10.17	-23.1706
7	1.768	1.75	3.52	2.53	-9.44	-23.9392
8	3.007	1.75	4.75	3.43	-8.72	-29.9046
9	2.678	1.75	4.43	3.19	-8.00	-25.5347
10	2.654	1.75	4.40	3.17	-7.28	-23.1064
11	3.558	1.75	5.31	3.83	-6.56	-25.0968
12	2.233	1.21	3.44	2.48	-5.84	-14.5031
13	2.313	1.21	3.53	2.54	-5.12	-13.0090
14	3.739	5.37	9.11	6.56	-4.40	-28.8654
15	2.759	4.15	6.91	4.98	-3.68	-18.3230
16	2.326	3.98	6.31	4.55	-2.96	-13.4379
17	2.145	3.98	6.13	4.42	-2.23	-9.8670
18	2.997	2.90	5.90	4.25	-1.51	-6.4373
19	2.981	9.61	12.59	9.08	-0.79	-7.1910
20	1.587	9.61	11.20	8.07	-0.07	-0.5733
21	1.580	9.61	11.19	8.07	0.65	5.2451
22	1.328	9.61	10.94	7.89	1.37	10.8144
23	1.340	9.61	10.95	7.90	2.09	16.5190
24	1.551	9.61	11.16	8.05	2.81	22.6414
25	2.573	9.61	12.19	8.79	3.53	31.0483
26	1.203	9.62	10.83	7.81	4.26	33.2171
27	1.223	9.62	10.85	7.82	4.98	38.9163
28	1.131	9.62	10.76	7.75	5.70	44.1771
29	1.157	9.62	10.78	7.77	6.42	49.8893
30	1.385	8.50	9.89	7.13	7.14	50.8875
31	1.083	8.50	9.58	6.91	7.86	54.3141
32	1.270	8.50	9.77	7.04	8.58	60.4511
33	0.999	8.50	9.50	6.85	9.30	63.7149
34	1.462	8.50	9.96	7.18	10.02	71.9949
35	1.168	0.00	1.17	0.84	10.74	9.0501
36	1.432	1.81	3.24	2.34	11.47	26.8157
37	1.138	1.81	2.95	2.13	12.19	25.9217
38	1.185	1.81	3.00	2.16	12.91	27.8927
39	0.610	0.00	0.61	0.44	13.63	5.9913
40	0.140	0.00	0.14	0.10	14.35	1.4523
	68.83	193.37	262.20	189.0		264.78
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄		S ₅

Berdasarkan Tabel Penyebaran Berat Total (LWT+DWT) pada *frame spacing* 600 mm, dilakukan penggabungan antara distribusi Light Weight (LWT) dan Deadweight (DWT) pada 40 station. Distribusi berat total pada setiap station diperoleh dengan menjumlahkan $q(\text{LWT})$ dan $q(\text{DWT})$, sehingga diperoleh nilai $q(\text{Total})$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi berat total tidak seragam sepanjang kapal. Pada bagian awal kapal, distribusi berat total relatif rendah, kemudian meningkat menuju bagian tengah kapal.

Nilai $q(\text{Total})$ terbesar terdapat pada station 19 sebesar 12,59 ton/m, yang diperoleh dari $q(\text{LWT})$ sebesar 2,981 ton/m dan $q(\text{DWT})$ sebesar 9,61 ton/m. Distribusi berat total juga relatif tinggi pada station 20–29 karena besarnya kontribusi DWT pada daerah tersebut. Setelah station 29, distribusi berat total mulai mengalami penurunan pada station 30–34, sedangkan pada station 35–40 nilainya kembali relatif rendah.

Selanjutnya, distribusi $q(\text{Total})$ dikalikan dengan panjang interval untuk memperoleh beban pada masing-masing station. Beban tersebut kemudian dikalikan dengan lengan terhadap midship untuk memperoleh momen pada masing-masing station. Berdasarkan tabel, total LWT sebesar 68,83 ton dan total DWT sebesar 193,37 ton menghasilkan total berat LWT+DWT sebesar 262,20 ton. Hasil distribusi berat total ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan distribusi beban bersih dengan membandingkannya terhadap distribusi buoyancy, yang kemudian digunakan dalam analisis gaya lintang dan momen lentur kapal.



Gambar 4. 6 LWT+DWT 600

Berdasarkan grafik penyebaran berat total LWT+DWT pada *frame spacing* 600 mm, dapat diketahui bahwa distribusi berat total kapal sepanjang 40 stasiun tidak seragam. Pada bagian awal kapal, yaitu stasiun 1–4, nilai distribusi berat total relatif rendah dan kemudian mengalami peningkatan pada stasiun 5–13. Pada stasiun 14 terjadi peningkatan yang cukup signifikan dengan nilai $q(\text{Total})$ sebesar 9,11 ton/m, kemudian mengalami penurunan hingga stasiun 18.

Distribusi berat total tertinggi terdapat pada stasiun 19 sebesar 12,59 ton/m. Nilai tersebut merupakan hasil penjumlahan $q(LWT)$ sebesar 2,981 ton/m dan $q(DWT)$ sebesar 9,61 ton/m. Pada stasiun 20–29, distribusi berat total tetap berada pada nilai yang relatif tinggi, yaitu sekitar 10,76–12,19 ton/m. Selanjutnya pada stasiun 30–34 distribusi berat total mulai menurun, namun masih berada pada kisaran 9,50–9,96 ton/m. Setelah stasiun 34, terjadi penurunan distribusi berat total yang cukup signifikan hingga stasiun 40, dengan nilai terendah sebesar 0,14 ton/m pada stasiun 40.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa distribusi berat total terbesar di daerah tengah kapal. Kondisi tersebut terutama dipengaruhi oleh tingginya distribusi DWT pada daerah tersebut yang kemudian ditambahkan dengan distribusi LWT. Untuk konfigurasi *frame spacing* 600 mm, total LWT sebesar 68,83 ton dan DWT sebesar 193,37 ton, sehingga total berat LWT+DWT yang digunakan adalah 262,20 ton. Distribusi berat total tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan beban bersih dengan membandingkannya terhadap distribusi daya apung, yang kemudian menjadi dasar dalam perhitungan gaya lintang dan momen lentur kapal.

4.4 Analisis Sebaran Buoyancy

4.4.1 Sebaran Buoyancy Kapal 550

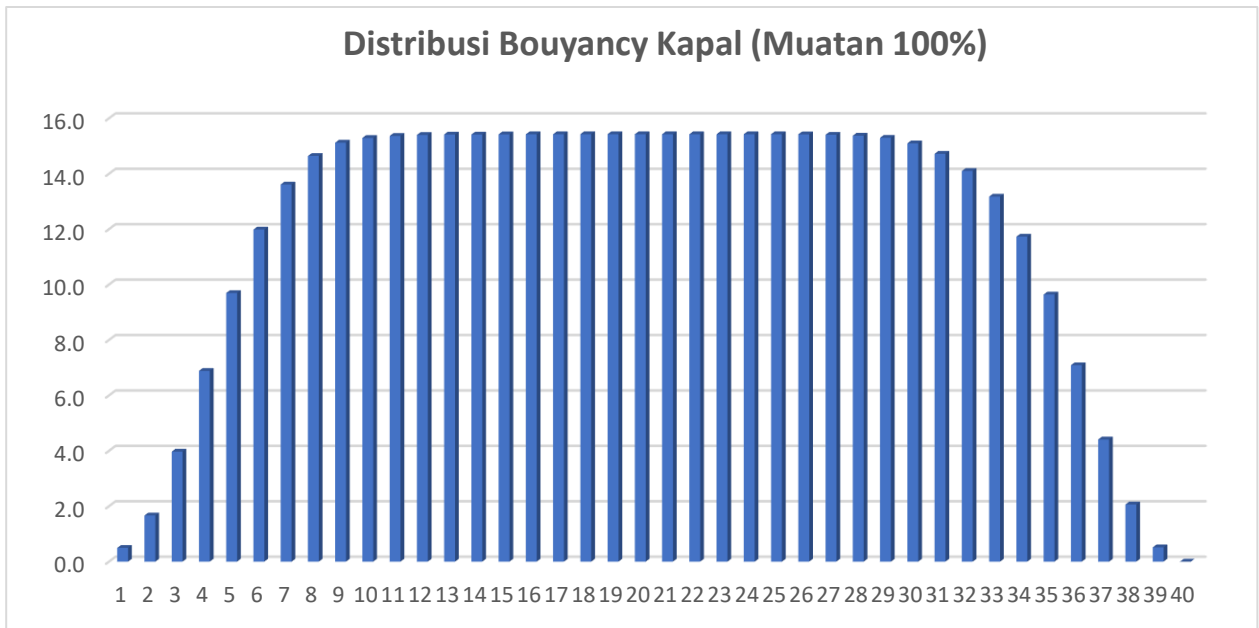
Tabel 4. 11 Sebaran Buoyancy 550

Station	Luasan (m ²)	Skala (m ²)	C	B (ton/m)	Fs	B x Fs	Rata-Rata
AP	0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	0.1
1.0	0.18	0.2	1.0	0.2	4.0	0.74	0.5
2.0	0.78	0.8	1.0	0.8	2.0	1.61	1.7
3.0	2.45	2.5	1.0	2.5	4.0	10.10	4.0
4.0	5.25	5.3	1.0	5.4	2.0	10.83	8.2
5.0	10.7	10.7	1.0	11.0	4.0	44.13	11.0
6.0	10.7	10.7	1.0	11.0	2.0	22.06	12.0
7.0	12.55	12.6	1.0	12.9	4.0	51.76	14.1
8.0	14.74	14.7	1.0	15.2	2.0	30.39	15.2
9.0	14.74	14.7	1.0	15.2	4.0	60.79	15.2
10.0	14.78	14.8	1.0	15.2	2.0	30.48	15.3
11.0	14.92	14.9	1.0	15.4	4.0	61.53	15.4
12.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
13.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
14.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
15.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
16.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
17.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
18.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
19.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
20.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4

21.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
22.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
23.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
24.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
25.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
26.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
27.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
28.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
29.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
30.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.81	15.4
31.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.61	15.4
32.0	14.86	14.9	1.0	15.3	2.0	30.64	15.2
33.0	14.57	14.6	1.0	15.0	4.0	60.09	14.6
34.0	13.81	13.8	1.0	14.2	2.0	28.48	13.6
35.0	12.62	12.6	1.0	13.0	4.0	52.04	12.0
36.0	10.67	10.7	1.0	11.0	2.0	22.00	9.6
37.0	7.92	7.9	1.0	8.2	4.0	32.66	6.2
38.0	4.05	4.1	1.0	4.2	2.0	8.35	2.8
39.0	1.3	1.3	1.0	1.3	4.0	5.36	0.7
40.0	0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	0.0

Berdasarkan tabel distribusi buoyancy frame 550, dapat diketahui kapal bahwa nilai gaya apung sepanjang dipengaruhi oleh luas penampang melintang badan kapal yang tercelup. Pada bagian ujung kapal, luasan penampangnya relatif kecil sehingga nilai daya apungnya juga rendah. Seiring menuju bagian tengah kapal, luasan penampang mengalami peningkatan hingga mencapai nilai maksimum sebesar 14,94 m² pada daerah sekitar stasiun 12–31. Kondisi tersebut menghasilkan nilai distribusi daya apung yang relatif tinggi dan mencapai sekitar 15,4 ton/m. Setelah melewati daerah tengah kapal, luasan penampang mulai mengalami penurunan sehingga nilai daya apung juga menurun hingga mencapai nilai 0 ton/m pada station 40.

Dalam proses perhitungan, faktor C bernilai 1,0 pada seluruh stasiun sehingga tidak memberikan perubahan terhadap nilai luasan yang digunakan. Selanjutnya faktor F_s digunakan sebagai koefisien pembobot dalam metode Simpson 1/3 untuk melakukan distribusi distribusi buoyancy sepanjang kapal. Nilai B dikalikan dengan faktor F_s untuk memperoleh nilai $B \times F_s$ yang selanjutnya digunakan dalam proses integrasi. Kolom rata-rata menunjukkan nilai rata-rata daya apung antara dua stasiun yang berurutan. Hasil distribusi buoyancy ini selanjutnya digunakan bersama distribusi berat total LWT+DWT untuk memperoleh distribusi beban bersih sebagai dasar perhitungan gaya lintang dan momen lentur kapal.



Gambar 4. 7 Sebaran Bouyancy 550

Berdasarkan grafik distribusi buoyancy kapal pada kondisi muatan 100% untuk *frame spacing* 550 mm, terlihat bahwa distribusi gaya apung sepanjang kapal tidak seragam. Pada bagian awal kapal, nilai daya apung relatif. Setelah stasiun 28, distribusi daya apung mulai mengalami penurunan secara bertahap hingga stasiun 34 dan kemudian mengalami penurunan yang lebih signifikan menuju stasiun 40. Pada stasiun 39 nilai daya apung telah mendekati nol dan pada stasiun 40 mencapai nol. Pola tersebut menunjukkan bahwa luas penampang badan kapal semakin mengecil menuju ujung kapal sehingga gaya apung yang dihasilkan juga semakin kecil. Distribusi buoyancy ini selanjutnya dibandingkan dengan distribusi berat total kapal yang merupakan penjumlahan LWT dan DWT untuk memperoleh distribusi beban bersih. Hasil distribusi beban bersih tersebut selanjutnya digunakan dalam perhitungan gaya lintang.

4.4.2 Sebaran Buoyancy Kapal 600

Tabel 4. 12 Sebaran Buoyancy 600

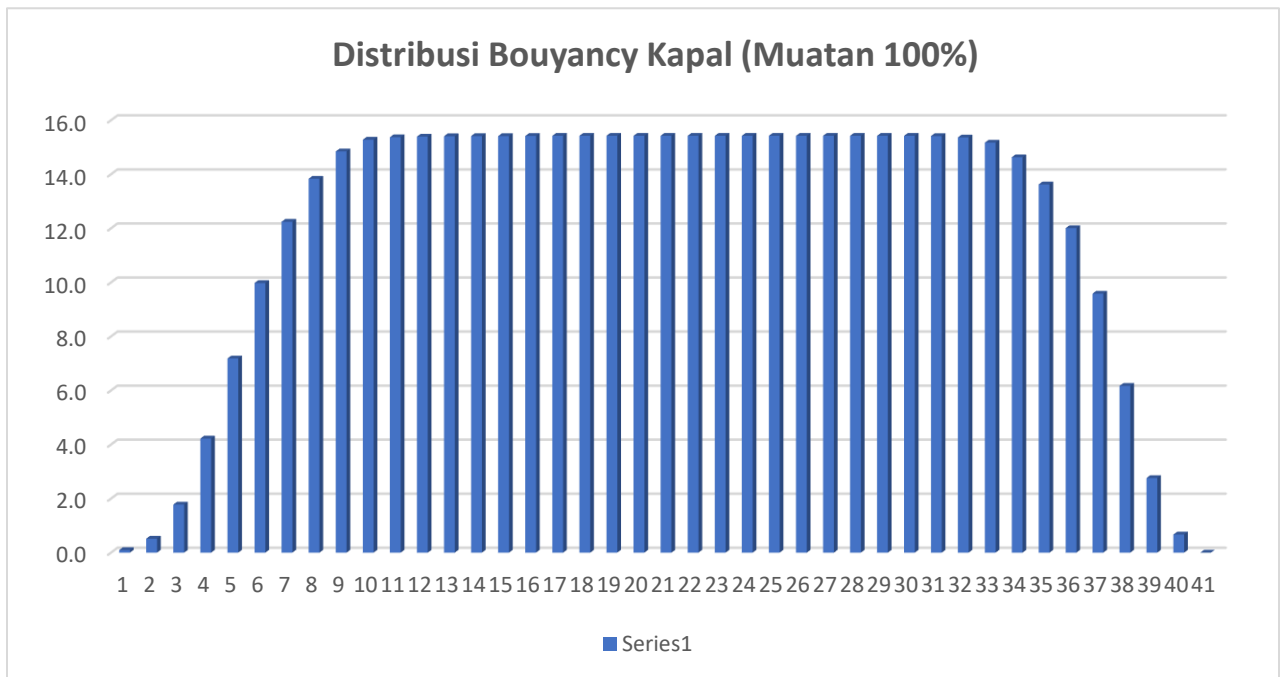
Station	Luasan (m2)	Skala (m2)	C	B (ton/m)	Fs	B x Fs	Rata-Rata
AP	0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.1
1.0	0.18	0.2	1.0	0.2	4.0	0.7	0.5
2.0	0.82	0.8	1.0	0.8	2.0	1.7	1.8
3.0	2.63	2.6	1.0	2.7	4.0	10.8	4.2
4.0	5.56	5.6	1.0	5.7	2.0	11.5	7.2
5.0	8.38	8.4	1.0	8.6	4.0	34.6	10.0
6.0	10.97	11.0	1.0	11.3	2.0	22.6	12.2
7.0	12.78	12.8	1.0	13.2	4.0	52.7	13.8
8.0	14.06	14.1	1.0	14.5	2.0	29.0	14.8
9.0	14.74	14.7	1.0	15.2	4.0	60.8	15.3
10.0	14.90	14.9	1.0	15.4	2.0	30.7	15.4
11.0	14.92	14.9	1.0	15.4	4.0	61.5	15.4
12.0	14.94	14.9	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
13.0	14.95	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
14.0	14.95	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
15.0	14.95	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
16.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
17.0	14.96	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
18.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
19.0	14.96	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
20.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
21.0	14.96	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
22.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
23.0	14.96	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
24.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
25.0	14.96	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
26.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
27.0	14.96	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
28.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
29.0	14.96	15.0	1.0	15.4	4.0	61.7	15.4
30.0	14.96	15.0	1.0	15.4	2.0	30.8	15.4
31.0	14.94	14.9	1.0	15.4	4.0	61.6	15.4
32.0	14.86	14.9	1.0	15.3	2.0	30.6	15.2
33.0	14.57	14.6	1.0	15.0	4.0	60.1	14.6
34.0	13.81	13.8	1.0	14.2	2.0	28.5	13.6
35.0	12.62	12.6	1.0	13.0	4.0	52.0	12.0
36.0	10.67	10.7	1.0	11.0	2.0	22.0	9.6
37.0	7.92	7.9	1.0	8.2	4.0	32.7	6.2
38.0	4.05	4.1	1.0	4.2	2.0	8.4	2.8

39.0	1.3	1.3	1.0	1.3	4.0	5.4	0.7
40.0	0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0

Berdasarkan Tabel Sebaran Buoyancy pada *frame spacing* 600 mm, distribusi gaya apung sepanjang kapal menunjukkan pola yang meningkat dari ujung kapal menuju bagian tengah dan kemudian menurun kembali menuju ujung kapal. Pada stasiun AP sampai stasiun 5, nilai daya apung meningkat dari 0 ton/m menjadi 8,6 ton/m seiring dengan bertambahnya luas penampang melintang badan kapal. Selanjutnya pada stasiun 6–10, nilai daya apung meningkat hingga mencapai sekitar 15,4 ton/m.

Pada daerah stasiun 11–31, distribusi daya apung relatif konstan dengan nilai sekitar 15,4 ton/m. Kondisi tersebut terjadi karena luas penampang kapal pada daerah tersebut relatif besar dan berada pada kisaran 14,94–14,96 m². Setelah station 31, nilai buoyancy mulai mengalami penurunan, yaitu menjadi 15,3 ton/m pada station 32, 15,0 ton/m pada station 33, dan 14,2 ton/m pada station 34. Penurunan semakin terlihat pada station 35–39 hingga mencapai 1,3 ton/m pada station 39. Pada station 40, luas mencakup senilai 0 m² sehingga nilai buoyancy juga menjadi 0 ton/m.

Dalam proses perhitungan, faktor F_s dengan pola koefisien Simpson 1/3 digunakan untuk melakukan integrasi distribusi buoyancy sepanjang kapal. Nilai B dikalikan dengan F_s untuk memperoleh nilai $B \times F_s$ sebagai bagian dari proses integrasi, sedangkan kolom rata-rata menunjukkan nilai rata-rata daya apung antar stasiun yang berurutan. Hasil distribusi buoyancy tersebut selanjutnya digunakan bersama distribusi berat total LWT+DWT untuk memperoleh distribusi beban bersih yang menjadi dasar dalam perhitungan gaya lintang dan momen lentur kapal.



Gambar 4. 8 Sebaran Bouyancy 600

Berdasarkan grafik distribusi buoyancy kapal pada kondisi muatan 100% untuk *frame spacing* 600 mm, terlihat bahwa distribusi gaya apung sepanjang kapal tidak seragam. Pada stasiun 1–5, nilai daya apung mengalami peningkatan sekitar 0,2 ton/m hingga 8,6 ton/m. Selanjutnya pada stasiun 6–10 nilai daya apung terus meningkat hingga mencapai sekitar 15,4 ton/m. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa luas penampang melintang badan kapal yang tercelup kapal semakin besar menuju bagian tengah.

Pada daerah stasiun 10–31, distribusi daya apung relatif konstan pada kisaran 15,4 ton/m. Kondisi tersebut terjadi karena luas penampang kapal pada daerah tersebut relatif besar dan memiliki perubahan yang kecil, yaitu sekitar 14,90–14,96 m². Setelah stasiun 31, distribusi daya apung mulai mengalami penurunan pada stasiun 32–34 dan kemudian menurun lebih signifikan pada stasiun 35–39. Pada station 40, nilai daya apung mencapai 0 ton/m karena luas penampang pada ujung kapal bernilai 0 m². Secara keseluruhan, distribusi buoyancy terbesar berada di daerah tengah kapal, sedangkan di kedua ujung nilainya relatif kecil. Distribusi daya apung tersebut selanjutnya dibandingkan dengan distribusi berat total LWT+DWT untuk memperoleh distribusi beban bersih yang digunakan dalam analisis gaya lintang dan momen lentur kapal.

4.5 Analisis Superposisi

4.5.1 Hasil Rata – Rata Superposisi 550

Tabel 4. 13 Superposisi 550

SUPERPOSISI			
$q(x)$	$B(X)$	$W(x)$	Hasil
1	0.49	1.84	-1.35
2	1.67	1.48	0.19
3	3.97	1.60	2.37
4	8.22	3.34	4.88
5	11.03	2.92	8.11
6	11.99	3.01	8.98
7	14.07	3.34	10.73
8	15.20	3.62	11.58
9	15.22	4.09	11.13
10	15.31	4.28	11.03
11	15.39	4.24	11.15
12	15.40	4.13	11.27
13	15.40	3.69	11.71
14	15.40	8.04	7.36
15	15.40	6.54	8.86
16	15.40	5.92	9.48
17	15.40	6.30	9.10
18	15.40	4.77	10.63
19	15.40	12.11	3.29
20	15.40	11.05	4.35
21	15.40	10.94	4.46
22	15.40	10.90	4.50
23	15.40	11.07	4.33
24	15.40	10.87	4.53
25	15.40	11.59	3.81
26	15.40	10.94	4.46
27	15.40	10.84	4.56
28	15.40	10.71	4.69
29	15.40	10.92	4.48
30	15.40	9.69	5.71
31	15.36	9.58	5.78
32	15.17	9.42	5.75
33	14.63	9.52	5.11
34	13.62	9.90	3.72
35	12.01	1.02	10.99
36	9.58	2.85	6.73
37	6.17	2.86	3.31
38	2.76	2.68	0.08
39	0.67	0.57	0.10
40	0.00	0.10	-0.10

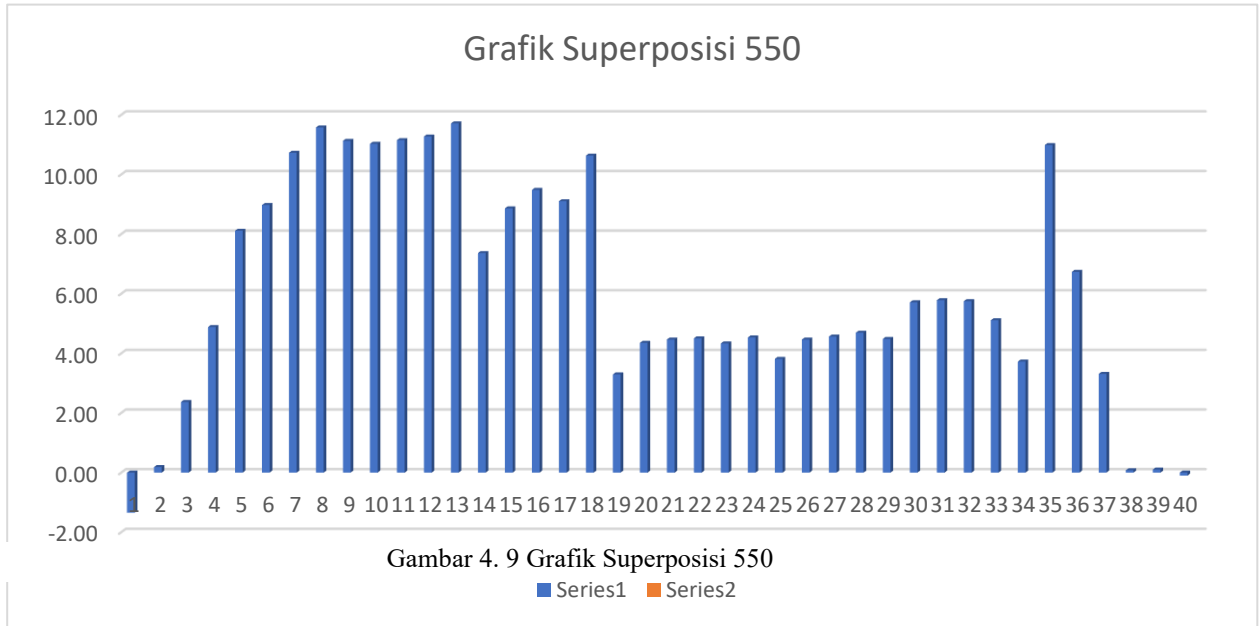
Berdasarkan Tabel Superposisi pada *frame spacing* 550 mm, diperoleh distribusi beban bersih sepanjang 40 stasiun kapal melalui pengurangan antara distribusi daya apung $B(x)$ dan distribusi berat total $W(x)$ yang merupakan penjumlahan LWT dan DWT. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan $q_{net} = B(x) - W(x)$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi beban bersih tidak seragam di sepanjang kapal karena adanya perbedaan antara distribusi gaya apung dan distribusi berat total pada setiap stasiun.

Pada bagian awal kapal, stasiun 1 menghasilkan nilai sebesar $-1,35$ ton/m karena nilai daya apung sebesar $0,49$ ton/m lebih kecil dibandingkan berat total sebesar $1,84$ ton/m. Selanjutnya, nilai beban bersih meningkat pada stasiun 2–13 dan mencapai nilai maksimum sebesar $11,71$ ton/m pada stasiun 13. Nilai tersebut diperoleh dari daya apung sebesar $15,40$ ton/m dan berat total sebesar $3,69$ ton/m. Pada stasiun 14 terjadi penurunan menjadi $7,36$ ton/m karena berat total meningkat menjadi $8,04$ ton/m.

Pada stasiun 15–18, nilai beban bersih kembali meningkat hingga $10,63$ ton/m pada stasiun 18. Selanjutnya, pada stasiun 19 terjadi penurunan menjadi $3,29$ ton/m akibat meningkatnya distribusi berat total menjadi $12,11$ ton/m, sedangkan daya apung tetap sebesar $15,40$ ton/m. Pada stasiun 20–29, nilai beban bersih berada pada kisaran $3,29$ – $4,69$ ton/m. Setelah stasiun 29, nilai beban bersih meningkat hingga sekitar $5,78$ ton/m pada stasiun 31, kemudian mengalami penurunan hingga $3,72$ ton/m pada stasiun 34. Pada stasiun 35 terjadi peningkatan kembali menjadi $10,99$ ton/m karena distribusi berat total mengalami penurunan yang cukup signifikan. Selanjutnya nilai beban bersih kembali menurun hingga mendekati nol pada stasiun 38–39 dan menjadi $-0,10$ ton/m² pada stasiun 40.

Hasil superposisi tersebut menunjukkan bahwa distribusi beban bersih dipengaruhi oleh keseimbangan antara gaya apung dan berat total kapal pada setiap stasiun. Nilai positif menunjukkan bahwa daya apung lebih besar daripada berat total berdasarkan konvensi tanda yang digunakan, sedangkan nilai negatif menunjukkan bahwa berat total lebih besar daripada daya apung. Distribusi beban bersih ini

selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gaya lintang dan momen lentur untuk mengetahui respon kekuatan panjang kapal.



Berdasarkan grafik superposisi pada *frame spacing* 550 mm, dapat diketahui bahwa distribusi beban bersih sepanjang kapal tidak seragam. Beban bersih diperoleh dari selisih antara distribusi daya apung dan distribusi berat total kapal, dengan persamaan $q_{net} = B(x) - W(x)$. Pada stasiun 1 diperoleh nilai negatif sebesar $-1,35$ ton/m karena distribusi berat total sebesar 1,84 ton/m lebih besar dibandingkan daya apung sebesar 0,49 ton/m. Selanjutnya, distribusi beban bersih mengalami peningkatan pada stasiun 2–13 dan mencapai nilai maksimum sebesar 11,71 ton/m² pada stasiun 13.

Pada stasiun 14 terjadi penurunan nilai beban bersih menjadi 7,36 ton/m, kemudian meningkat kembali hingga 10,63 ton/m pada stasiun 18. Pada stasiun 19 terjadi penurunan yang cukup signifikan menjadi 3,29 ton/m karena distribusi berat total meningkat menjadi 12,11 ton/m, sedangkan daya apung tetap sebesar 15,40 ton/m. Pada stasiun 20–29, nilai beban bersih relatif stabil pada kisaran 3,81–4,69 ton/m. Selanjutnya pada stasiun 30–32 nilainya meningkat hingga sekitar 5,78 ton/m², kemudian menurun pada stasiun 33–34. Pada stasiun 35 terjadi peningkatan kembali hingga 10,99 ton/m karena distribusi berat total mengalami penurunan yang cukup signifikan. Setelah stasiun 35, nilai beban bersih kembali menurun hingga mendekati nol pada stasiun 38–39 dan menjadi $-0,10$ ton/m² pada stasiun 40.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa distribusi beban bersih merupakan hasil interaksi antara gaya apung dan berat total kapal pada setiap stasiun. Nilai positif

menunjukkan bahwa daya apung lebih besar daripada berat total berdasarkan konvensi tanda yang digunakan, sedangkan nilai negatif menunjukkan bahwa berat total lebih besar daripada daya apung. Distribusi beban bersih ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menghitung gaya lintang dan momen lentur dalam analisis kekuatan panjang kapal.

4.5.2 Hasil Rata – Rata Superposisi 600

Tabel 4. 14 Superposisi 600

SUPERPOSISI			
$q (x)$	$B (X)$	$W (x)$	Hasil
1	0.52	2.04	-1.52
2	1.78	1.57	0.21
3	4.22	1.82	2.40
4	7.19	3.19	4.00
5	9.97	3.45	6.52
6	12.24	3.16	9.08
7	13.84	3.52	10.32
8	14.85	4.75	10.10
9	15.28	4.43	10.85
10	15.37	4.40	10.97
11	15.39	5.31	10.08
12	15.41	3.44	11.97
13	15.41	3.53	11.88
14	15.41	9.11	6.30
15	15.42	6.91	8.51
16	15.42	6.31	9.11
17	15.42	6.13	9.29
18	15.42	5.90	9.52
19	15.42	12.59	2.83
20	15.42	11.20	4.22
21	15.42	11.19	4.23
22	15.42	10.94	4.48
23	15.42	10.95	4.47
24	15.42	11.16	4.26
25	15.42	12.19	3.23
26	15.42	10.83	4.59
27	15.42	10.85	4.57
28	15.42	10.76	4.66
29	15.42	10.78	4.64
30	15.41	9.89	5.52
31	15.36	9.58	5.78
32	15.17	9.77	5.40
33	14.63	9.50	5.13
34	13.62	9.96	3.66

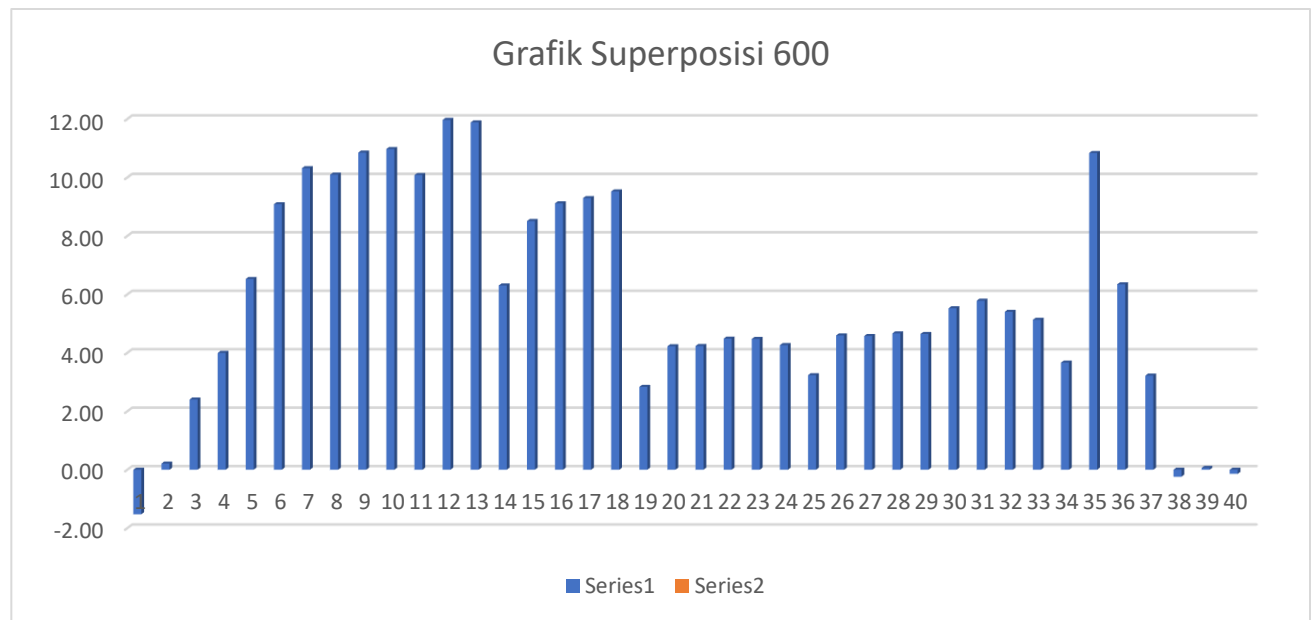
35	12.01	1.17	10.84
36	9.58	3.24	6.34
37	6.17	2.95	3.22
38	2.76	3.00	-0.24
39	0.67	0.61	0.06
40	0.00	0.14	-0.14

Berdasarkan Tabel Superposisi pada *frame spacing* 600 mm, diperoleh distribusi beban bersih sepanjang 40 stasiun kapal melalui selisih antara distribusi buoyancy $B(x)$ dan distribusi berat total $W(x)$ yang merupakan gabungan LWT dan DWT. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan $q_{net} = B(x) - W(x)$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi beban bersih tidak seragam sepanjang kapal karena nilai daya apung dan berat total mengalami perubahan pada setiap stasiun.

Pada stasiun 1 diperoleh nilai beban bersih sebesar $-1,52$ ton/m karena daya apung sebesar $0,52$ ton/m lebih kecil dibandingkan berat total sebesar $2,04$ ton/m. Selanjutnya, nilai beban bersih meningkat pada stasiun 2–13 dan mencapai nilai maksimum sebesar $11,97$ ton/m pada stasiun 12. Nilai tersebut diperoleh dari daya apung sebesar $15,41$ ton/m dan berat total sebesar $3,44$ ton/m. Pada stasiun 14 terjadi penurunan menjadi $6,30$ ton/m akibat peningkatan berat total menjadi $9,11$ ton/m.

Pada stasiun 15–18, nilai beban bersih kembali meningkat hingga mencapai $9,52$ ton/m pada stasiun 18. Selanjutnya pada stasiun 19 terjadi penurunan yang cukup signifikan menjadi $2,83$ ton/m karena berat total meningkat menjadi $12,59$ ton/m, sedangkan daya apung sebesar $15,42$ ton/m. Pada stasiun 20–29, nilai beban bersih relatif stabil pada kisaran $3,23$ – $4,66$ ton/m. Setelah itu, pada stasiun 30–34 nilai beban bersih berada pada kisaran $3,66$ – $5,78$ ton/m. Pada station 35 terjadi peningkatan kembali menjadi $10,84$ ton/m akibat penurunan distribusi berat total menjadi $1,17$ ton/m. Selanjutnya, nilai beban bersih menurun pada stasiun 36–40 dan mencapai nilai $-0,14$ ton/m² pada stasiun 40.

Secara keseluruhan, hasil superposisi menunjukkan adanya variasi distribusi beban bersih sepanjang kapal akibat perbedaan distribusi daya apung dan berat total. Nilai positif menunjukkan bahwa daya apung lebih besar daripada berat total berdasarkan konvensi tanda yang digunakan, sedangkan nilai negatif menunjukkan bahwa berat total lebih besar daripada daya apung. Distribusi beban bersih tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gaya lintang dan momen lentur untuk mengetahui respons kekuatan panjang kapal pada frame 600 mm.



Gambar 4. 10 Grafik Superposisi 600

Berdasarkan grafik superposisi pada *frame spacing* 600 mm, dapat diketahui bahwa distribusi beban bersih sepanjang kapal tidak seragam. Distribusi beban bersih diperoleh dari selisih antara distribusi buoyancy dan distribusi berat total kapal yang terdiri atas LWT dan DWT. Pada stasiun 1 diperoleh nilai $-1,52$ ton/m, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai nilai maksimum sebesar $11,97$ ton/m pada stasiun 12. Setelah stasiun 12, distribusi beban bersih mengalami penurunan pada stasiun 14 dan kemudian kembali meningkat hingga stasiun 18. Pada stasiun 19 terjadi penurunan yang cukup signifikan menjadi $2,83$ ton/m akibat berakhirnya distribusi berat total sebesar $12,59$ ton.

Pada stasiun 20–29, distribusi beban bersih relatif stabil pada kisaran $3,23$ – $4,66$ ton/m. Selanjutnya pada station 30–34 terjadi perubahan distribusi hingga mencapai $5,78$ ton/m pada station 31, kemudian menurun menjadi $3,66$ ton/m pada station 34. Pada station 35 terjadi peningkatan kembali hingga $10,84$ ton/m karena distribusi berat total pada station tersebut mengalami penurunan menjadi $1,17$ ton/m, sedangkan buoyancy masih sebesar $12,01$ ton/m. Setelah stasiun 35, distribusi beban bersih kembali menurun hingga mendekati nol pada stasiun 38–40. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan adanya perbedaan distribusi antara gaya kapal apung dan berat total pada setiap stasiun. Distribusi beban bersih tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan gaya lintang kapal dan momen lentur dalam analisis kekuatan panjang pada jarak 600 mm.

4.6 Analisis Gaya Lintang (Shear Force)

4.6.1 Gaya Lintang *Frame spacing* 550 mm

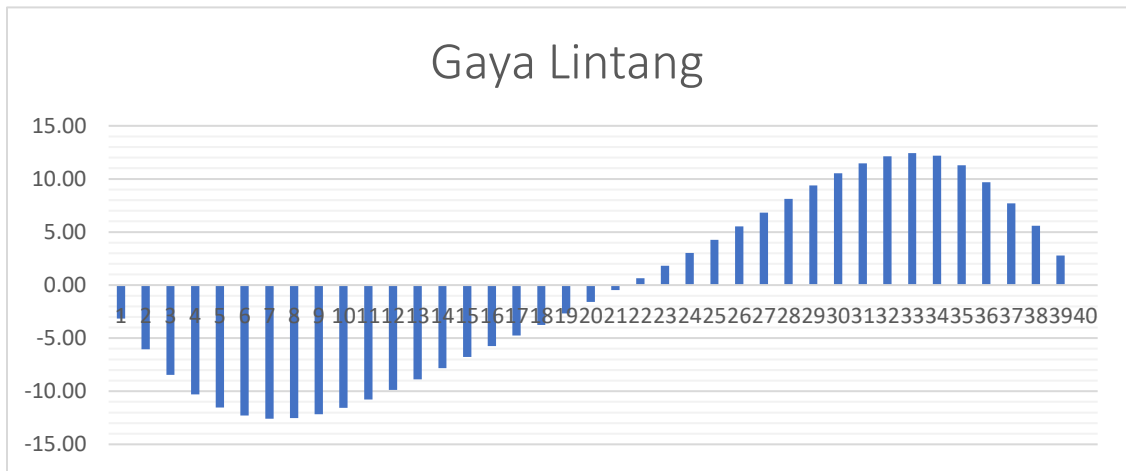
Tabel 4. 15 Gaya Lintang 550

Station	(LWT+DWT) [ton/m]	[ton/m]	[ton/m] [2] + [3]	[ton/m]	$-\frac{2}{l} \cdot \sum f(x)_{FP}$ (faktor koreksi)	[7]=[5] + [6]		$-\frac{2}{l} \cdot \sum f(x)_{FP}$ (faktor koreksi)	[8] + [9]	Station	[7] * b [ton] gaya lintang [11]	[10]*b*b/2 [ton m] momen [12]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[1]	[11]	[12]
1	-1.840	6.32	4.48	4.48	-0.81	3.67	3.67	-260.67	-257.00	1	2.57	-62.79
2	-1.484	17.85	16.37	20.85	-1.62	19.23	26.58	-521.35	-494.77	2	13.44	-120.87
3	-1.597	26.40	24.80	45.66	-2.43	43.22	89.03	-782.02	-692.99	3	30.21	-169.30
4	-3.342	28.40	25.06	70.71	-3.24	67.47	199.73	-1042.69	-842.97	4	47.16	-205.94
5	-2.918	26.10	23.19	93.90	-4.05	89.85	357.05	-1303.37	-946.32	5	62.80	-231.19
6	-3.010	23.34	20.33	114.23	-4.86	109.37	556.27	-1564.04	-1007.78	6	76.45	-246.20
7	-3.341	20.72	17.38	131.61	-5.67	125.94	791.57	-1824.71	-1033.14	7	88.03	-252.40
8	-3.623	18.20	14.58	146.19	-6.48	139.70	1057.22	-2085.39	-1028.17	8	97.65	-251.18
9	-4.093	15.61	11.51	157.70	-7.29	150.41	1347.33	-2346.06	-998.73	9	105.14	-243.99
10	-4.278	13.66	9.39	167.09	-8.10	158.98	1656.72	-2606.73	-950.02	10	111.13	-232.09
11	-4.237	11.51	7.27	174.36	-8.91	165.44	1981.15	-2867.41	-886.26	11	115.65	-216.51
12	-4.134	8.55	4.41	178.77	-9.72	169.04	2315.64	-3128.08	-812.45	12	118.16	-198.48
13	-3.695	8.76	5.07	183.84	-10.54	173.30	2657.98	-3388.76	-730.77	13	121.14	-178.53
14	-8.037	9.11	1.08	184.91	-11.35	173.57	3004.85	-3649.43	-644.58	14	121.32	-157.47
15	-6.536	6.63	0.09	185.01	-12.16	172.85	3351.27	-3910.10	-558.84	15	120.82	-136.52
16	-5.918	5.95	0.03	185.03	-12.97	172.07	3696.18	-4170.78	-474.59	16	120.27	-115.94
17	-6.305	4.89	-1.41	183.62	-13.78	169.85	4038.10	-4431.45	-393.35	17	118.72	-96.10
18	-4.770	9.18	4.40	188.03	-14.59	173.44	4381.38	-4692.12	-310.74	18	121.23	-75.91
19	-12.107	13.81	1.70	189.73	-15.40	174.33	4729.15	-4952.80	-223.64	19	121.86	-54.64
20	-11.051	12.95	1.90	191.63	-16.21	175.42	5078.91	-5213.47	-134.56	20	122.62	-32.87
21	-10.941	12.84	1.90	193.53	-17.02	176.51	5430.84	-5474.14	-43.31	21	123.38	-10.58
22	-10.897	12.93	2.04	195.56	-17.83	177.73	5785.07	-5734.82	50.26	22	124.23	12.28
23	-11.071	12.91	1.84	197.40	-18.64	178.76	6141.57	-5995.49	146.08	23	124.95	35.69
24	-10.865	13.29	2.43	199.83	-19.45	180.38	6500.70	-6256.16	244.54	24	126.08	59.74
25	-11.592	13.45	1.86	201.68	-20.26	181.43	6862.51	-6516.84	345.67	25	126.82	84.45
26	-10.939	12.89	1.96	203.64	-21.07	182.57	7226.50	-6777.51	448.99	26	127.62	109.69
27	-10.839	12.62	1.79	205.43	-21.88	183.55	7592.62	-7038.18	554.43	27	128.30	135.45
28	-10.712	11.86	1.15	206.58	-22.69	183.88	7960.05	-7298.86	661.19	28	128.54	161.53
29	-10.916	8.54	-2.37	204.20	-23.50	180.70	8324.63	-7559.53	765.10	29	126.31	186.91
30	-9.689	3.76	-5.92	198.28	-24.31	173.97	8679.30	-7820.20	859.10	30	121.60	209.88
31	-9.579	0.49	-9.08	189.19	-25.12	164.07	9017.34	-8080.88	936.47	31	114.69	228.78
32	-9.424	-2.62	-12.05	177.15	-25.93	151.21	9332.63	-8341.55	991.08	32	105.70	242.12
33	-9.520	-6.37	-15.89	161.25	-26.74	134.51	9618.35	-8602.22	1016.13	33	94.02	248.24
34	-9.901	-16.75	-26.65	134.61	-27.55	107.05	9859.92	-8862.90	997.02	34	74.83	243.57
35	-1.021	-25.33	-26.35	108.25	-28.36	79.89	10046.86	-9123.57	923.29	35	55.84	225.56
36	-2.846	-26.33	-29.18	79.07	-29.17	49.90	10176.65	-9384.25	792.40	36	34.88	193.58
37	-2.860	-28.20	-31.06	78.01	-29.98	48.03	10274.58	-9644.92	629.66	37	33.57	153.83
38	-2.677	-29.59	-32.26	70.75	-30.80	39.95	10362.56	-9905.59	456.96	38	27.93	111.64
39	-0.566	-26.36	-26.93	43.82	-31.61	12.21	10414.72	-10186.27	228.46	39	8.54	55.81
40	-0.101	-11.30	-11.40	32.42	-32.42	0.00	10426.94	-10426.94	0.00	40	0.00	0.00
	-253.27	230.69										

Berdasarkan tabel perhitungan gaya lintang pada *frame spacing* 550 mm, perhitungan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu distribusi beban $q(x)$, distribusi daya apung $a(x)$, pembentukan distribusi $f(x)$, distribusi beban, serta memberikan faktor koreksi untuk memperoleh distribusi $f'(x)$. Distribusi $q(x)$ merepresentasikan beban berat kapal yang berasal dari LWT dan DWT, sedangkan $a(x)$ merepresentasikan distribusi gaya apung sepanjang kapal. Kedua distribusi tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh distribusi beban yang menjadi dasar dalam perhitungan gaya lintang.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai $f'(x)$ meningkat dari bagian awal kapal dan mencapai nilai maksimum sebesar 183,88 pada stasiun 28. Setelah stasiun 28, nilai $f'(x)$ mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai 0 pada stasiun 40. Pola tersebut menunjukkan perubahan akumulasi distribusi beban sepanjang kapal. Hasil distribusi distribusi beban yang telah dikoreksi selanjutnya digunakan untuk memperoleh gaya lintang $Q(x)$, sedangkan gaya integrasi lintang digunakan untuk menentukan momen

lentur $M(x)$. Dengan demikian, perhitungan pada tabel ini merupakan tahapan analisis yang menghubungkan distribusi beban kapal dengan respon kekuatan panjang kapal.



Gambar 4. 11 Grafik Gaya Lintang 550

Berdasarkan grafik gaya lintang pada *frame spacing* 550 mm, terlihat bahwa distribusi gaya lintang sepanjang kapal mengalami perubahan nilai dan arah. Pada bagian awal kapal, gaya lintang berada pada nilai negatif dan mengalami peningkatan magnitudo hingga mencapai nilai minimum pada daerah sekitar stasiun 8–9, yaitu sekitar –12 sampai –13 ton. Setelah daerah tersebut, nilai gaya lintang terus-angsur meningkat menuju nol hingga mencapai titik perubahan tanda pada sekitar stasiun 21–22.

Setelah melewati titik tersebut, gaya lintang berubah menjadi positif dan mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai nilai maksimum sekitar 12 ton pada daerah stasiun 33–34. Selanjutnya, gaya lintang mengalami penurunan secara bertahap stasiun 40. Perubahan tanda dari negatif menjadi positif menunjukkan adanya perubahan arah gaya lintang berdasarkan konvensi tanda yang digunakan dalam perhitungan. Distribusi gaya lintang tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan momen distribusi lentur melalui proses integrasi, dengan hubungan $dM/dx = Q$.

4.6.2 Gaya Lintang *Frame spacing* 600 mm

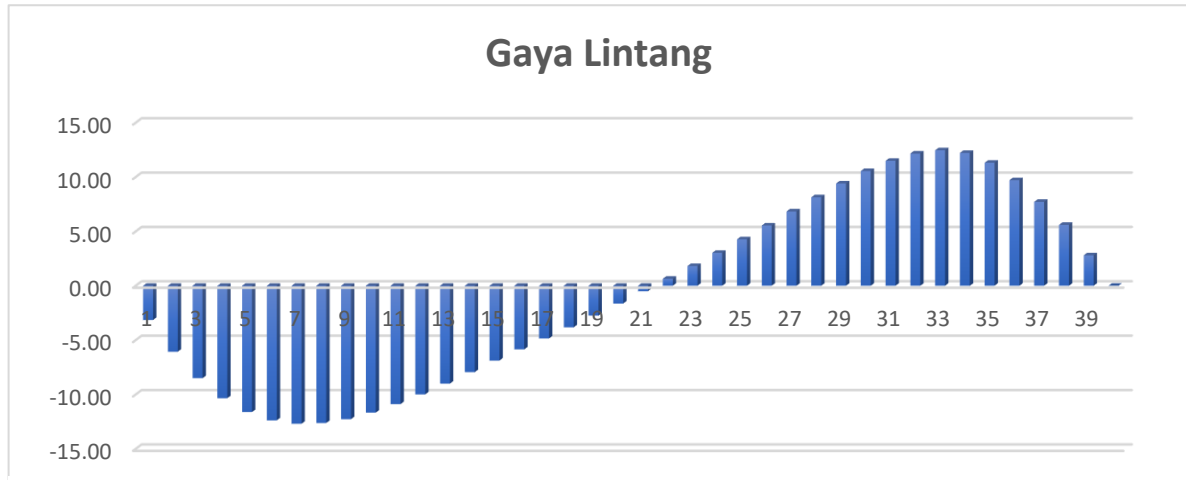
Tabel 4. 16 Gaya Lintang 600

Station	q(x) (LWT+DWT) [ton/m]	a(x) [ton/m]	f(x) [ton/m] [2] + [3]	Σf(x) [ton/m]	ΔΣf(x)= -1/b · Σf(x) _{FP} (faktor koreksi)	Σf'(x) [7]=[5] + [6]	ΣΣf(x)	ΔΣf(x)= -1/L · ΣΣf(x) _{FP} (faktor koreksi)	ΣΣf'(x) [8] + [9]	Station	Q(x) [7] * b [ton] gaya lintang	M(x) [10]*b*b/2 [ton m] momen
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[1]	[11]	[12]
1	-2.037	0.09	-1.94	-1.94	-7.09	-9.03	-9.03	44.77	35.74	1	-6.31	8.73
2	-1.570	0.51	-1.06	-3.00	-14.18	-17.18	-35.24	89.55	54.30	2	-12.01	13.27
3	-1.816	1.77	-0.05	-3.05	-21.26	-24.31	-76.73	134.32	57.58	3	-17.00	14.07
4	-3.186	4.20	1.01	-2.04	-28.35	-30.39	-131.44	179.09	47.65	4	-21.24	11.64
5	-3.452	7.14	3.69	1.65	-35.44	-33.79	-195.62	223.87	28.25	5	-23.62	6.90
6	-3.162	9.92	6.76	8.41	-42.53	-34.12	-263.52	268.64	5.12	6	-23.85	1.25
7	-3.516	12.17	8.66	17.07	-49.62	-32.55	-330.19	313.41	-16.78	7	-22.75	-4.10
8	-4.755	13.76	9.00	26.07	-56.70	-30.64	-393.38	358.18	-35.20	8	-21.42	-8.60
9	-4.426	14.76	10.33	36.40	-63.79	-27.39	-451.41	402.96	-48.46	9	-19.15	-11.84
10	-4.402	15.19	10.79	47.19	-70.88	-23.69	-502.50	447.73	-54.77	10	-16.56	-13.38
11	-5.306	15.28	9.98	57.17	-77.97	-20.80	-546.99	492.50	-54.49	11	-14.54	-13.31
12	-3.445	15.30	11.86	69.02	-85.06	-16.03	-583.83	537.28	-46.55	12	-11.21	-11.37
13	-3.525	15.32	11.79	80.82	-92.14	-11.33	-611.19	582.05	-29.14	13	-7.92	-7.12
14	-9.105	15.32	6.22	87.04	-99.23	-12.20	-634.71	626.82	-7.89	14	-8.53	-1.93
15	-6.913	15.32	8.41	95.45	-106.32	-10.87	-657.79	671.60	13.81	15	-7.60	3.37
16	-6.307	15.33	9.02	104.47	-113.41	-8.94	-677.60	716.37	38.77	16	-6.25	9.47
17	-6.126	15.33	9.21	113.68	-120.50	-6.82	-693.36	761.14	67.78	17	-4.77	16.56
18	-5.901	15.33	9.43	123.11	-127.58	-4.48	-704.66	805.91	101.25	18	-3.13	24.74
19	-12.593	15.33	2.74	125.85	-134.67	-8.82	-717.96	850.69	132.73	19	-6.17	32.43
20	-11.199	15.33	4.13	129.98	-141.76	-11.78	-738.56	895.46	156.90	20	-8.23	38.33
21	-11.192	15.33	4.14	134.13	-148.85	-14.72	-765.06	940.23	175.18	21	-10.29	42.80
22	-11.163	15.33	4.17	138.30	-155.94	-17.64	-797.42	985.01	187.59	22	-12.33	45.83
23	-10.952	15.33	4.38	142.68	-163.02	-20.35	-835.40	1029.78	194.38	23	-14.22	47.49
24	-11.163	15.33	4.17	146.85	-170.11	-23.26	-879.01	1074.55	195.54	24	-16.26	47.77
25	-12.185	15.33	3.15	150.00	-177.20	-27.20	-929.48	1119.33	189.85	25	-19.01	46.38
26	-10.827	15.33	4.51	154.51	-184.29	-29.78	-986.46	1164.10	177.63	26	-20.82	43.40
27	-10.847	15.33	4.49	158.99	-191.38	-32.39	-1048.63	1208.87	160.24	27	-22.64	39.15
28	-10.755	15.33	4.58	163.57	-198.46	-34.89	-1115.91	1253.64	137.73	28	-24.39	33.65
29	-10.781	15.33	4.55	168.12	-205.55	-37.43	-1188.24	1298.42	110.18	29	-26.16	26.92
30	-9.886	15.33	5.45	173.57	-212.64	-39.07	-1264.74	1343.19	78.45	30	-27.31	19.17
31	-9.584	15.32	5.74	179.31	-219.73	-40.42	-1344.22	1387.96	43.74	31	-28.25	10.69
32	-9.771	15.27	5.50	184.81	-226.82	-42.00	-1426.65	1432.74	6.09	32	-29.36	1.49
33	-9.500	15.08	5.58	190.40	-233.91	-43.51	-1512.16	1477.51	-34.65	33	-30.41	-8.47
34	-9.963	14.54	4.58	194.98	-240.99	-46.02	-1601.69	1522.28	-79.41	34	-32.17	-19.40
35	-1.168	13.55	12.38	207.35	-248.08	-40.73	-1688.43	1567.06	-121.38	35	-28.47	-29.65
36	-3.244	11.94	8.69	216.05	-255.17	-39.12	-1768.28	1611.83	-156.45	36	-27.35	-38.22
37	-2.950	9.53	6.58	252.62	-262.26	-9.63	-1817.04	1656.60	-160.44	37	-6.73	-39.19
38	-2.997	6.13	3.14	280.76	-269.35	11.42	-1815.26	1701.37	-113.88	38	7.98	-27.82
39	-0.610	2.74	2.13	282.89	-276.43	6.46	-1797.38	1726.15	-71.23	39	4.52	-17.40
40	-0.140	0.77	0.63	283.52	-283.52	0.00	-1790.92	1790.92	0.00	40	0.00	0.00
	-262.42	490.94										

Berdasarkan tabel perhitungan gaya lintang pada *frame spacing* 600 mm, proses perhitungan dilakukan melalui distribusi beban $q(x)$ yang berasal dari LWT dan DWT serta distribusi buoyancy $a(x)$. Kedua distribusi tersebut digunakan untuk memperoleh distribusi beban $f(x)$, yang selanjutnya diintegrasikan sepanjang kapal. Hasil integrasi kemudian diberikan faktor koreksi untuk memperoleh distribusi $f'(x)$ sebagai dasar dalam penentuan gaya lintang.

Berdasarkan hasil distribusi $f'(x)$, pada station 1 sampai station 6 nilai mengalami penurunan hingga mencapai -34,12. Selanjutnya, nilai berangsur-angsur meningkat menuju station 18 dengan nilai -4,48. Setelah station 18, nilai kembali mengalami penurunan hingga mencapai nilai minimum sebesar -46,02 pada station 34. Setelah station 34, nilai kembali meningkat dan mencapai nilai positif sebesar 11,42 pada station 38, kemudian menurun menjadi 6,46 pada station 39 dan mencapai 0,00 pada station 40. Pola tersebut menunjukkan adanya perubahan distribusi beban terkoreksi sepanjang kapal. Hasil

distribusi tersebut selanjutnya digunakan untuk memperoleh gaya lintang $Q(x)$, yang kemudian diintegrasikan kembali untuk mendapatkan momen lentur $M(x)$.



Gambar 4. 12 Grafik Gaya Lintang 600

Berdasarkan grafik gaya lintang pada *frame spacing* 600 mm, distribusi gaya lintang sepanjang kapal menunjukkan perubahan nilai dari bagian depan menuju bagian belakang kapal. Pada bagian awal kapal, gaya lintang berada pada arah negatif dan mengalami peningkatan magnitudo hingga mencapai daerah dengan nilai negatif terbesar. Selanjutnya, nilai gaya lintang berangsur-angsur bergerak menuju titik nol seiring dengan perubahan distribusi beban sepanjang kapal. Pada bagian tengah hingga belakang kapal terjadi perubahan distribusi gaya lintang akibat perbedaan antara gaya apung dan berat total kapal. Setelah melewati daerah dengan nilai negatif terbesar, gaya lintang mengalami peningkatan dan berubah menjadi positif pada daerah belakang kapal, kemudian kembali menurun menuju station akhir.

Perubahan nilai positif dan negatif pada grafik menunjukkan perubahan arah gaya lintang berdasarkan konvensi tanda yang digunakan dalam perhitungan. Distribusi gaya lintang merupakan hasil integrasi dari distribusi beban bersih yang telah dikoreksi. Selanjutnya, distribusi gaya lintang tersebut digunakan untuk menentukan momen lentur kapal melalui proses integrasi, dengan hubungan $dM/dx = Q$. Oleh karena itu, grafik gaya lintang menjadi salah satu dasar untuk mengevaluasi respons kekuatan memanjang kapal pada *frame spacing* 600 mm.

4.7 Momen Lentur

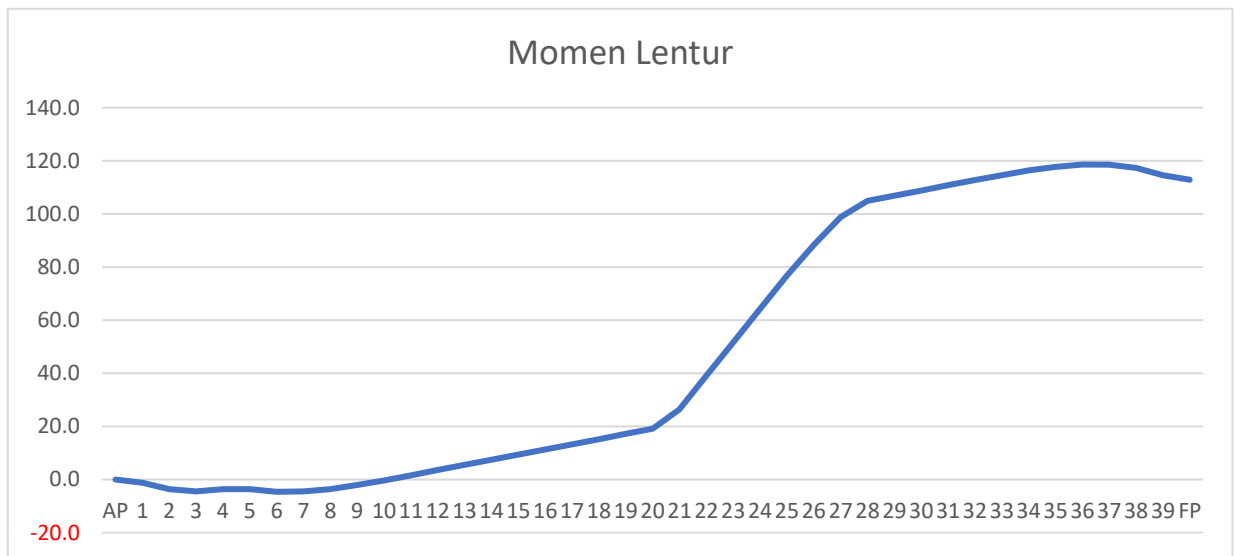
4.7.1 Momen Lentur 550

Tabel 4. 17 Momen Lentur Muatan Kosong 550

Station	W	B	B koreksi	B koreksi =	given	B Koreksi	W-B koreksi	$\Sigma f(x)$	Shear Force	Moment Bending
AP	0.0	0.0	-10.8	-10.8		-10.8	10.8	10.8	0.0	0.0
1	1.039	0.1	-10.7	-10.7	5.0	-5.7	6.8	17.6	-3.73	-1.2
2	0.683	0.5	-10.3	-10.3	5.0	-5.3	6.0	23.6	-3.47	-3.6
3	0.796	1.8	-9.0	-9.0	10.0	1.0	-0.2	23.5	0.63	-4.5
4	1.141	4.2	-6.6	-6.6	10.0	3.4	-2.2	21.2	2.19	-3.6
5	1.17	7.2	-3.6	-3.6		-3.6	4.8	26.1	-2.37	-3.7
6	1.262	10	-0.8	-0.8		-0.8	2.1	28.2	-0.55	-4.6
7	1.593	12.2	1.4	1.4		1.4	0.2	28.4	0.89	-4.5
8	1.875	13.8	3.0	3.0		3.0	-1.1	27.3	1.93	-3.6
9	2.345	14.8	4.0	4.0		4.0	-1.6	25.7	2.58	-2.1
10	2.53	15.3	4.5	4.5		4.5	-1.9	23.7	2.90	-0.3
11	2.489	15.4	4.6	4.6		4.6	-2.1	21.7	2.97	1.6
12	2.922	15.4	4.6	4.6		4.6	-1.6	20.0	2.97	3.6
13	2.483	15.4	4.6	4.6		4.6	-2.1	18.0	2.97	5.5
14	2.671	15.4	4.6	4.6		4.6	-1.9	16.1	2.97	7.5
15	2.382	15.4	4.6	4.6		4.6	-2.2	13.9	2.97	9.4
16	1.937	15.4	4.6	4.6		4.6	-2.6	11.3	2.97	11.3
17	2.324	15.4	4.6	4.6		4.6	-2.2	9.0	2.97	13.3
18	1.866	15.4	4.6	4.6		4.6	-2.7	6.3	2.97	15.2
19	2.495	15.4	4.6	4.6		4.6	-2.1	4.3	2.97	17.2
20	1.439	15.4	4.6	4.6		4.6	-3.1	1.1	2.97	19.1
21	1.329	15.4	4.6	4.6	25.0	29.6	-28.2	-27.1	19.24	26.4
22	1.285	15.4	4.6	4.6	25.0	29.6	-28.3	-55.4	19.24	39.0
23	1.459	15.4	4.6	4.6	25.0	29.6	-28.1	-83.5	19.24	51.6
24	1.253	15.4	4.6	4.6	25.0	29.6	-28.3	-111.8	19.24	64.2
25	1.98	15.4	4.6	4.6	25.0	29.6	-27.6	-139.4	19.24	76.8
26	1.315	15.4	4.6	4.6	20.0	24.6	-23.2	-162.6	15.99	88.3
27	1.215	15.4	4.6	4.6	20.0	24.6	-23.3	-186.0	15.99	98.8
28	1.088	15.4	4.6	4.6		4.6	-3.5	-189.4	2.97	105.0
29	1.292	15.4	4.6	4.6		4.6	-3.3	-192.7	2.97	106.9
30	1.188	15.4	4.6	4.6		4.6	-3.4	-196.1	2.97	108.9
31	1.078	15.4	4.6	4.6		4.6	-3.5	-199.6	2.97	110.8
32	0.923	15.4	4.6	4.6		4.6	-3.6	-203.2	2.97	112.7
33	1.019	15.2	4.4	4.4		4.4	-3.3	-206.6	2.84	114.6
34	1.4	14.6	3.8	3.8		3.8	-2.4	-208.9	2.45	116.4
35	1.021	13.6	2.8	2.8		2.8	-1.7	-210.7	1.80	117.8
36	1.034	12	1.2	1.2		1.2	-0.1	-210.8	0.76	118.6
37	1.048	9.6	-1.2	-1.2		-1.2	2.3	-208.5	-0.81	118.6
38	0.865	6.2	-4.6	-4.6		-4.6	5.5	-203.0	-3.02	117.3

39	0.566	2.8	-8.0	-8.0		-8.0	8.6	0.0	-5.23	114.6
FP	0.101	0.7	0.7	0.7			-0.6		0.00	112.9
Total	59.9	493.4	Total		sum(	254.2		MAX =	19.2	118.6
Selisih	-	-10.8	Selisih							

Berdasarkan hasil perhitungan distribusi beban memanjang pada kondisi kapal muatan kosong dengan *frame spacing* 550 mm, diperoleh distribusi gaya apung dan berat kapal pada setiap station. Selisih antara gaya apung dan berat kapal menghasilkan distribusi beban netto $B - W$, yang selanjutnya diintegrasikan untuk memperoleh gaya lintang dan momen lentur. Pada daerah AP hingga sekitar station 9, momen lentur masih menunjukkan



Gambar 4. 13 Grafik Momen Lentur

nilai negatif dengan nilai minimum sekitar $-5,7 \text{ ton}\cdot\text{m}$. Selanjutnya, momen lentur mengalami peningkatan secara bertahap seiring dengan perubahan distribusi beban sepanjang kapal. Peningkatan yang lebih besar terjadi pada daerah sekitar station 20 hingga 28, kemudian momen terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum sebesar $118,6 \text{ ton}\cdot\text{m}$. Setelah mencapai nilai maksimum, momen mengalami penurunan menuju FP. Dengan demikian, kondisi kapal muatan kosong pada *frame spacing* 550 mm menghasilkan momen lentur maksimum sebesar $118,6 \text{ ton}\cdot\text{m}$ atau sekitar $1.163 \text{ kN}\cdot\text{m}$, dengan gaya lintang maksimum yang ditunjukkan pada tabel sebesar 19,2 ton.

Berdasarkan grafik, distribusi momen lentur pada *frame spacing* 550 mm dalam kondisi kapal muatan kosong menunjukkan perubahan nilai momen sepanjang kapal dari AP hingga FP. Pada daerah awal kapal, yaitu sekitar AP sampai station 9, momen lentur masih bernilai negatif dan mencapai nilai minimum sekitar $-5,7 \text{ ton}\cdot\text{m}$. Tanda negatif menunjukkan arah momen berdasarkan konvensi tanda yang digunakan dalam perhitungan.

Setelah station tersebut, nilai momen lentur mengalami peningkatan secara bertahap dan mendekati nilai nol. Mulai sekitar station 10, momen berubah menjadi positif dan terus meningkat sepanjang kapal. Peningkatan yang cukup signifikan terlihat pada daerah sekitar station 21 sampai station 28, yang menunjukkan perubahan distribusi beban antara gaya apung dan berat kapal sepanjang badan kapal.

Selanjutnya, momen lentur terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum sekitar 118,6 ton·m pada station 37. Setelah mencapai nilai maksimum, momen lentur mengalami penurunan secara bertahap menuju FP dan berakhir pada nilai sekitar 112 ton·m.

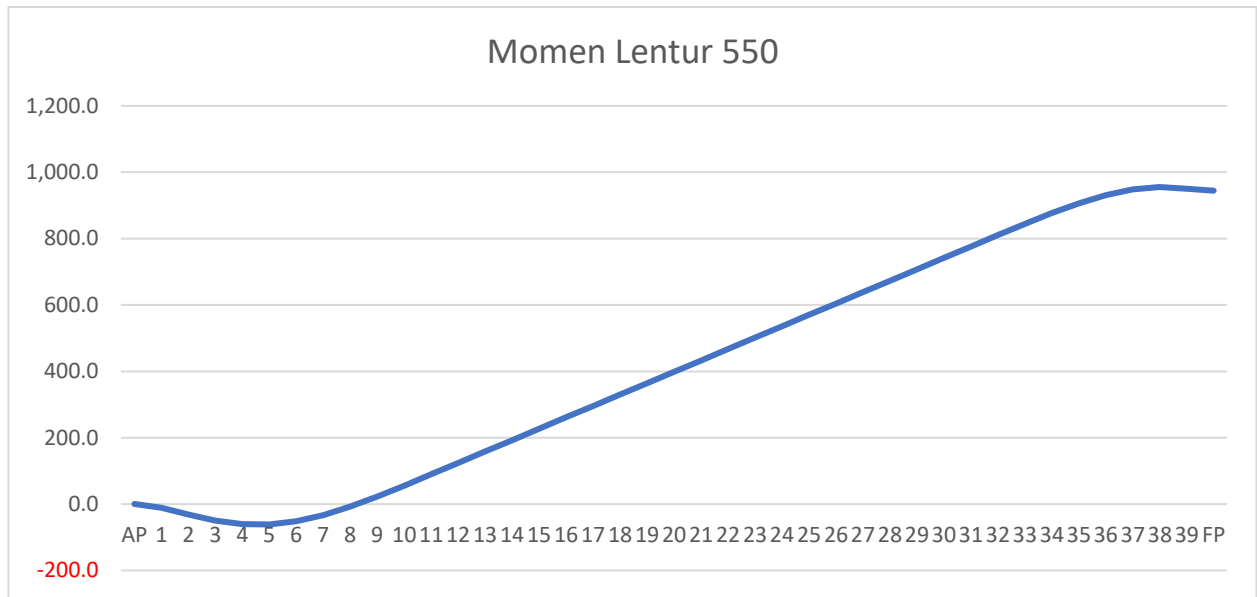
Dengan demikian, momen lentur maksimum pada kondisi kapal muatan kosong dengan *frame spacing* 550 mm adalah 118,6 ton·m. Nilai tersebut merupakan kondisi momen terbesar yang terjadi sepanjang kapal dan selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar dalam evaluasi kekuatan memanjang kapal.

Tabel 4. 18 Momen Lentur Muatan Penuh 550

Station	W	B	B koreksi	B koreksi =	B Koreksi	W-B koreksi	$\Sigma f(x)$	Shear Force	Moment Bending
AP	0.0	0.0	-6.0	-6.0	-6.0	6.0	6.0	0.0	0.0
1	1.84	0.1	-5.9	-5.9	-5.9	7.7	13.7	-32.92	-10.8
2	1.48	0.5	-5.5	-5.5	-5.5	7.0	20.7	-30.69	-31.6
3	1.6	1.8	-4.2	-4.2	-4.2	5.8	26.5	-23.44	-49.3
4	3.34	4.2	-1.8	-1.8	-1.8	5.1	31.7	-10.05	-60.3
5	2.92	7.2	1.2	1.2	1.2	1.7	33.4	6.68	-61.4
6	3.01	10	4.0	4.0	4.0	-1.0	32.4	22.30	-51.9
7	3.34	12.2	6.2	6.2	6.2	-2.9	29.5	34.57	-33.3
8	3.62	13.8	7.8	7.8	7.8	-4.2	25.4	43.50	-7.7
9	4.09	14.8	8.8	8.8	8.8	-4.7	20.7	49.07	22.6
10	4.28	15.3	9.3	9.3	9.3	-5.0	15.6	51.86	55.6
11	4.28	15.4	9.4	9.4	9.4	-5.1	10.5	52.42	89.7
12	4.13	15.4	9.4	9.4	9.4	-5.3	5.3	52.42	124.0
13	3.69	15.4	9.4	9.4	9.4	-5.7	-0.5	52.42	158.4
14	8.04	15.4	9.4	9.4	9.4	-1.4	-1.8	52.42	192.7
15	6.54	15.4	9.4	9.4	9.4	-2.9	-4.7	52.42	227.0
16	5.92	15.4	9.4	9.4	9.4	-3.5	-8.2	52.42	261.3
17	6.3	15.4	9.4	9.4	9.4	-3.1	-11.2	52.42	295.6
18	4.77	15.4	9.4	9.4	9.4	-4.6	-15.9	52.42	329.9
19	12.11	15.4	9.4	9.4	9.4	2.7	-13.2	52.42	364.2
20	11.05	15.4	9.4	9.4	9.4	1.7	-11.5	52.42	398.5
21	10.94	15.4	9.4	9.4	9.4	1.5	-10.0	52.42	432.8
22	10.94	15.4	9.4	9.4	9.4	1.5	-8.4	52.42	467.1
23	11.07	15.4	9.4	9.4	9.4	1.7	-6.8	52.42	501.5
24	10.87	15.4	9.4	9.4	9.4	1.5	-5.3	52.42	535.8
25	11.59	15.4	9.4	9.4	9.4	2.2	-3.1	52.42	570.1
26	10.94	15.4	9.4	9.4	9.4	1.5	-1.6	52.42	604.4

27	10.84	15.4	9.4	9.4	9.4	1.4	-0.1	52.42	638.7
28	10.71	15.4	9.4	9.4	9.4	1.3	1.2	52.42	673.0
29	10.92	15.4	9.4	9.4	9.4	1.5	2.7	52.42	707.3
30	9.69	15.4	9.4	9.4	9.4	0.3	3.0	52.42	741.6
31	9.58	15.4	9.4	9.4	9.4	0.2	3.2	52.42	775.9
32	9.42	15.4	9.4	9.4	9.4	0.0	3.2	52.42	810.2
33	9.52	15.2	9.2	9.2	9.2	0.3	3.5	51.31	844.2
34	9.9	14.6	8.6	8.6	8.6	1.3	4.8	47.96	876.7
35	1.02	13.6	7.6	7.6	7.6	-6.6	-1.7	42.38	906.2
36	2.85	12	6.0	6.0	6.0	-3.1	-4.9	33.46	931.1
37	2.86	9.6	3.6	3.6	3.6	-0.7	-5.6	20.07	948.6
38	2.68	6.2	0.2	0.2	0.2	2.5	-3.1	1.11	955.5
39	0.57	2.8	-3.2	-3.2	-3.2	3.8	0.6	-17.86	950.0
FP	0.07	0.7	0.7	0.7		-0.6		0.00	944.2
Total	253.3	493.4	Total		252.6		MAX =	52.42	955.5
Selisih	-	-6.0	Selisih						
	240.1								

Berdasarkan hasil perhitungan distribusi beban memanjang kapal pada kondisi muatan penuh dengan *frame spacing* 550 mm, diperoleh distribusi berat dan gaya apung yang berbeda pada setiap station. Selisih antara gaya apung dan berat kapal menghasilkan distribusi beban netto yang selanjutnya digunakan untuk menentukan gaya lintang dan momen lentur. Pada daerah awal kapal, momen lentur menunjukkan nilai negatif dengan nilai minimum sekitar $-61,4 \text{ ton}\cdot\text{m}$. Selanjutnya, distribusi momen mengalami perubahan sepanjang kapal akibat variasi distribusi beban. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya lintang maksimum yang diperoleh adalah 52,42 ton, sedangkan momen lentur terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum sebesar 955,5 $\text{ton}\cdot\text{m}$. Nilai momen maksimum



Gambar 4. 14 Grafik Momen Lentur Muatan Penuh 550

tersebut digunakan sebagai dasar dalam evaluasi kekuatan memanjang kapal pada kondisi muatan penuh dengan *frame spacing* 550 mm.

Berdasarkan grafik distribusi momen lentur pada kondisi kapal muatan penuh dengan *frame spacing* 550 mm, terlihat bahwa nilai momen lentur mengalami perubahan sepanjang kapal dari AP hingga FP. Pada daerah awal kapal hingga sekitar station 8, momen lentur bernilai negatif dengan nilai sekitar $-61,4 \text{ ton}\cdot\text{m}$. Selanjutnya, momen mengalami peningkatan dan berubah menjadi positif mulai sekitar station 9–10. Nilai momen kemudian meningkat secara bertahap sepanjang kapal, dengan peningkatan yang cukup signifikan pada daerah station 20 hingga station 30. Momen lentur terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum sebesar $955,5 \text{ ton}\cdot\text{m}$ pada sekitar station 37–38. Setelah mencapai nilai maksimum, momen mengalami penurunan secara bertahap menuju FP. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi muatan penuh terjadi momen lentur yang lebih besar dibandingkan kondisi muatan kosong akibat perubahan distribusi berat dan gaya apung sepanjang kapal.

4.7.2 Momen Lentur 600

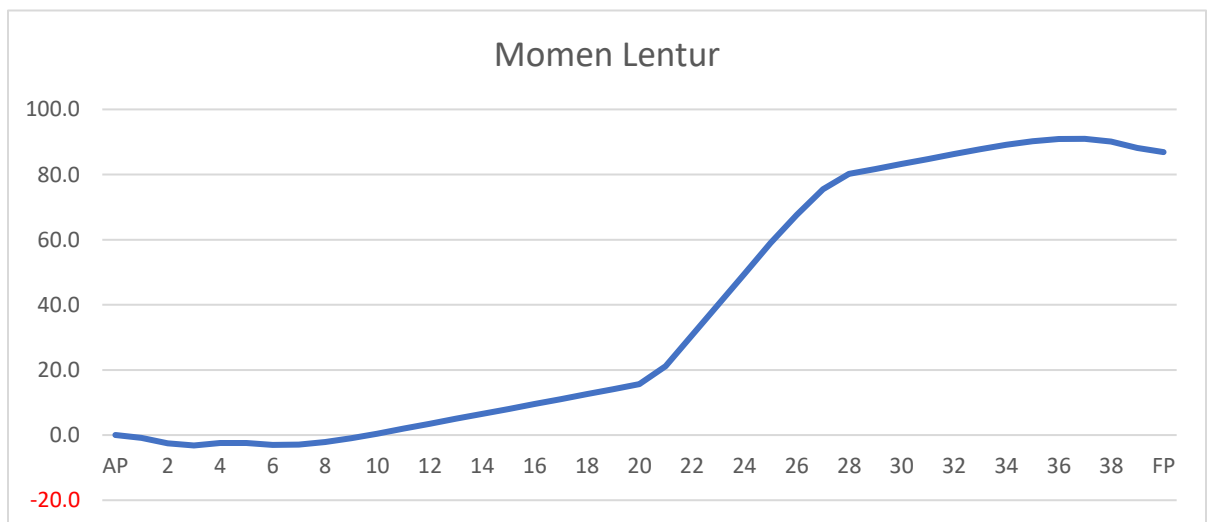
Tabel 4. 19 Momen Lentur Muatan Kapal Kosong 600

Station	W	B	B koreksi	B koreksi =	given	B Koreksi	W-B koreksi	$\Sigma f(x)$	Shear Force	Moment Bending
AP	0.0	0.0	-10.6	-10.6		-10.6	10.6	10.6	0.0	0.0
1	1.236	0.1	-10.5	-10.5	5.0	-5.5	6.8	17.4	-2.68	-0.9
2	0.769	0.5	-10.1	-10.1	5.0	-5.1	5.9	23.2	-2.48	-2.6
3	1.015	1.8	-8.8	-8.8	10.0	1.2	-0.2	23.1	0.58	-3.2
4	0.985	4.2	-6.4	-6.4	10.0	3.6	-2.6	20.5	1.74	-2.4
5	1.704	7.2	-3.4	-3.4		-3.4	5.1	25.6	-1.66	-2.4
6	1.414	10	-0.6	-0.6		-0.6	2.0	27.6	-0.30	-3.0
7	1.768	12.2	1.6	1.6		1.6	0.2	27.8	0.77	-2.9
8	3.007	13.8	3.2	3.2		3.2	-0.2	27.6	1.55	-2.1
9	2.678	14.8	4.2	4.2		4.2	-1.5	26.1	2.03	-1.0
10	2.654	15.3	4.7	4.7		4.7	-2.0	24.1	2.27	0.4
11	3.558	15.4	4.8	4.8		4.8	-1.2	22.9	2.32	2.0
12	2.233	15.4	4.8	4.8		4.8	-2.6	20.3	2.32	3.5
13	2.313	15.4	4.8	4.8		4.8	-2.5	17.8	2.32	5.0
14	3.739	15.4	4.8	4.8		4.8	-1.0	16.8	2.32	6.5
15	2.759	15.4	4.8	4.8		4.8	-2.0	14.8	2.32	8.0
16	2.326	15.4	4.8	4.8		4.8	-2.5	12.3	2.32	9.5
17	2.145	15.4	4.8	4.8		4.8	-2.6	9.7	2.32	11.1
18	2.997	15.4	4.8	4.8		4.8	-1.8	7.9	2.32	12.6
19	2.981	15.4	4.8	4.8		4.8	-1.8	6.1	2.32	14.1
20	1.587	15.4	4.8	4.8		4.8	-3.2	2.9	2.32	15.6
21	1.58	15.4	4.8	4.8	25.0	29.8	-28.2	-25.3	14.45	21.1
22	1.328	15.4	4.8	4.8	25.0	29.8	-28.5	-53.8	14.45	30.6
23	1.34	15.4	4.8	4.8	25.0	29.8	-28.4	-82.2	14.45	40.0
24	1.551	15.4	4.8	4.8	25.0	29.8	-28.2	110.5	14.45	49.5
25	2.573	15.4	4.8	4.8	25.0	29.8	-27.2	137.7	14.45	58.9
26	1.203	15.4	4.8	4.8	20.0	24.8	-23.6	161.3	12.02	67.6
27	1.223	15.4	4.8	4.8	20.0	24.8	-23.6	-184.8	12.02	75.5
28	1.131	15.4	4.8	4.8		4.8	-3.7	-188.5	2.32	80.2
29	1.157	15.4	4.8	4.8		4.8	-3.6	-192.1	2.32	81.7
30	1.385	15.4	4.8	4.8		4.8	-3.4	-195.5	2.32	83.2
31	1.083	15.4	4.8	4.8		4.8	-3.7	-199.2	2.32	84.7
32	1.27	15.4	4.8	4.8		4.8	-3.5	-202.7	2.32	86.2
33	0.999	15.2	4.6	4.6		4.6	-3.6	-206.3	2.22	87.7
34	1.462	14.6	4.0	4.0		4.0	-2.5	-208.8	1.93	89.1
35	1.168	13.6	3.0	3.0		3.0	-1.8	-210.7	1.45	90.2
36	1.432	12	1.4	1.4		1.4	0.0	-210.6	0.67	90.9
37	1.138	9.6	-1.0	-1.0		-1.0	2.2	-208.5	-0.49	91.0
38	1.185	6.2	-4.4	-4.4		-4.4	5.6	-202.9	-2.14	90.1
39	0.61	2.8	-7.8	-7.8		-7.8	8.4	0.0	-3.79	88.2
FP	0.14	0.7	0.7	0.7			-0.6		0.00	86.9
Total	68.8	493.4	Total		sum(	263.1		MAX =	14.4	91.0
Selisih	-	-10.6	Selisih							

Berdasarkan tabel momen lentur kapal muatan kosong dengan *frame spacing* 600 mm , hasil perhitungan menunjukkan bahwa distribusi beban sepanjang kapal menghasilkan

perubahan gaya lintang dan momen lentur pada setiap stasiun. kolom W menunjukkan distribusi berat kapal, sedangkan B menunjukkan distribusi gaya apung. Selisih antara distribusi berat dan gaya apung kemudian digunakan dalam proses koreksi untuk memperoleh distribusi beban bersih yang digunakan dalam menentukan gaya lintang dan momen lentur. Pada bagian awal kapal terlihat nilai gaya lintang berubah dari negatif, kemudian meningkat hingga mencapai nilai positif. Kondisi tersebut menunjukkan adanya perubahan keseimbangan antara beban berat dan gaya kapal apung sepanjang badan.

Berdasarkan hasil akhir pada tabel, gaya lintang maksimum sebesar 14,4 ton , sedangkan momen lentur maksimum sebesar 91,0 ton·m . Nilai momen lentur pada beberapa stasiun awal masih relatif kecil dan bernilai negatif, misalnya sekitar $-0,9$, $-2,6$, dan $-3,2$ ton·m. Perubahan tanda dan momen besarnya menunjukkan bahwa distribusi beban sepanjang kapal tidak seragam sehingga menghasilkan respon lentur yang berbeda pada setiap stasiun. Secara umum, nilai momen lentur maksimum 91,0 ton·m merupakan parameter utama yang digunakan untuk memancarkan kekuatan memanjang kapal pada kondisi muatan kosong *frame spacing* 600 mm . Nilai tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai input untuk perhitungan tegangan lentur dengan persamaan $\sigma = My/I$, sehingga dapat dibandingkan dengan hasil *frame spacing* 550 mm dan kemudian dievaluasi terhadap kriteria yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 4. 15 Grafik Momen Lentur 600

Berdasarkan grafik momen lentur kapal muatan kosong dengan jarak Frame 600 mm , nilai momen lentur pada bagian awal kapal relatif kecil dan beberapa masih bernilai negatif. Selanjutnya, nilai momen lentur mengalami peningkatan secara bertahap sepanjang badan kapal. Peningkatan yang lebih signifikan terlihat mulai sekitar station 21 hingga station 30 , yang menunjukkan adanya peningkatan respon lentur akibat distribusi

beban bersih di seluruh kapal. Setelah station 30, nilai momen masih mengalami peningkatan namun dengan kecenderungan yang lebih landai.

Nilai momen lentur maksimum yang diperoleh sebesar 91,0 ton·m , yang terjadi pada sekitar stasiun 36–37 . Setelah mencapai nilai maksimum tersebut, momen lentur kembali mengalami penurunan hingga sekitar 87 ton·m pada FP . Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi kapal muatan kosong dengan *frame spacing* 600 mm , distribusi momen lentur tidak seragam sepanjang kapal dan menghasilkan respon terbesar pada daerah sekitar stasiun 36–37. Nilai momen lentur maksimum sebesar 91,0 ton·m selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam analisis kekuatan memanjang untuk menentukan respon tegangan pada penampang kapal.

Tabel 4. 20 Momen Lentur Kapal Muatan Kapal Penuh

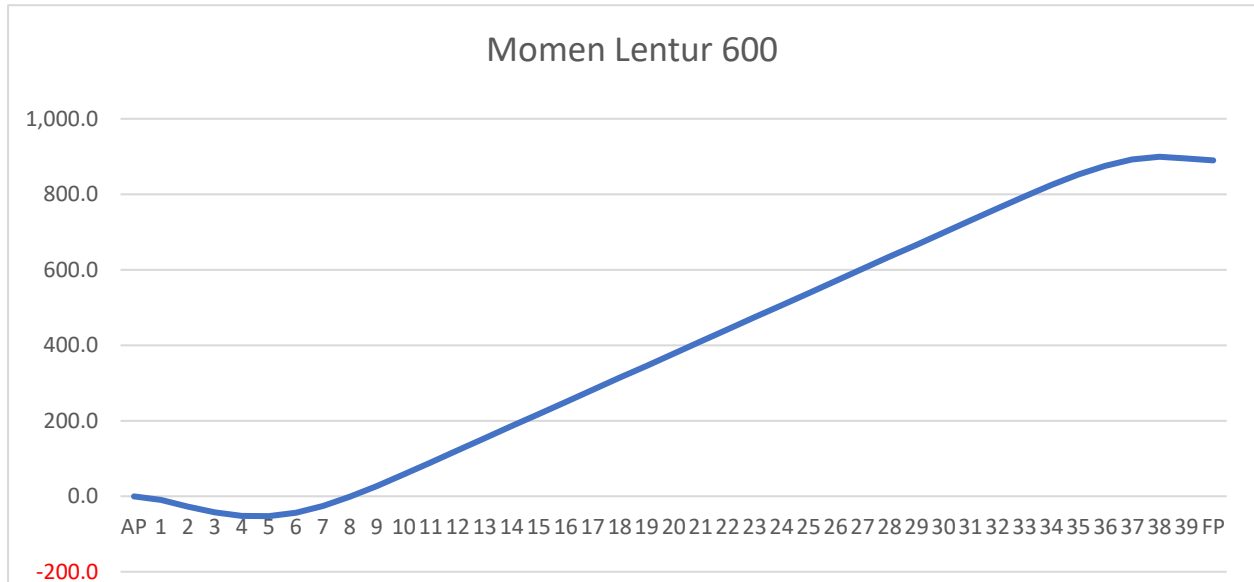
Station	W	B	B koreksi	B koreksi =	B Koreksi	W-B koreksi	$\Sigma f(x)$	Shear Force	Moment Bending
AP	0.0	0.0	-5.8	-5.8	-5.8	5.8	5.8	0.0	0.0
1	2.04	0.1	-5.7	-5.7	-5.7	7.7	13.5	-28.90	-9.5
2	1.57	0.5	-5.3	-5.3	-5.3	6.8	20.3	-26.86	-27.7
3	1.82	1.8	-4.0	-4.0	-4.0	5.8	26.1	-20.25	-43.1
4	3.19	4.2	-1.6	-1.6	-1.6	4.8	30.9	-8.04	-52.4
5	3.45	7.2	1.4	1.4	1.4	2.0	32.9	7.23	-52.6
6	3.16	10	4.2	4.2	4.2	-1.1	31.9	21.47	-43.2
7	3.52	12.2	6.4	6.4	6.4	-2.9	29.0	32.67	-25.5
8	4.75	13.8	8.0	8.0	8.0	-3.3	25.7	40.81	-1.5
9	4.43	14.8	9.0	9.0	9.0	-4.6	21.1	45.90	26.9
10	4.4	15.3	9.5	9.5	9.5	-5.1	16.0	48.44	57.8
11	5.31	15.4	9.6	9.6	9.6	-4.3	11.7	48.95	89.6
12	3.44	15.4	9.6	9.6	9.6	-6.2	5.5	48.95	121.7
13	3.53	15.4	9.6	9.6	9.6	-6.1	-0.6	48.95	153.7
14	9.11	15.4	9.6	9.6	9.6	-0.5	-1.1	48.95	185.7
15	6.91	15.4	9.6	9.6	9.6	-2.7	-3.8	48.95	217.8
16	6.31	15.4	9.6	9.6	9.6	-3.3	-7.1	48.95	249.8
17	6.13	15.4	9.6	9.6	9.6	-3.5	-10.6	48.95	281.9
18	5.9	15.4	9.6	9.6	9.6	-3.7	-14.3	48.95	313.9
19	12.59	15.4	9.6	9.6	9.6	3.0	-11.4	48.95	345.9
20	11.2	15.4	9.6	9.6	9.6	1.6	-9.8	48.95	378.0
21	11.19	15.4	9.6	9.6	9.6	1.6	-8.2	48.95	410.0
22	10.94	15.4	9.6	9.6	9.6	1.3	-6.9	48.95	442.0
23	10.95	15.4	9.6	9.6	9.6	1.3	-5.6	48.95	474.1
24	11.16	15.4	9.6	9.6	9.6	1.5	-4.0	48.95	506.1
25	12.19	15.4	9.6	9.6	9.6	2.6	-1.4	48.95	538.2
26	10.83	15.4	9.6	9.6	9.6	1.2	-0.2	48.95	570.2
27	10.85	15.4	9.6	9.6	9.6	1.2	1.0	48.95	602.2
28	10.76	15.4	9.6	9.6	9.6	1.1	2.1	48.95	634.3
29	10.78	15.4	9.6	9.6	9.6	1.2	3.3	48.95	666.3

30	9.89	15.4	9.6	9.6	9.6	0.3	3.6	48.95	698.3
31	9.58	15.4	9.6	9.6	9.6	-0.0	3.5	48.95	730.4
32	9.77	15.4	9.6	9.6	9.6	0.1	3.7	48.95	762.4
33	9.5	15.2	9.4	9.4	9.4	0.1	3.8	47.93	794.1
34	9.96	14.6	8.8	8.8	8.8	1.1	4.9	44.88	824.5
35	1.17	13.6	7.8	7.8	7.8	-6.7	-1.8	39.79	852.2
36	3.24	12	6.2	6.2	6.2	-3.0	-4.7	31.65	875.6
37	2.95	9.6	3.8	3.8	3.8	-0.9	-5.6	19.44	892.3
38	3	6.2	0.4	0.4	0.4	2.6	-3.0	2.14	899.4
39	0.61	2.8	-3.0	-3.0	-3.0	3.6	0.6	-15.16	895.1
FP	0.14	0.7	0.7	0.7		-0.6		0.00	890.1
Total	262.2	493.4	Total		261.5		MAX =	48.95	899.4
Selisih	231.2	-5.8	Selisih						

Berdasarkan tabel momen lentur kapal muatan penuh dengan *frame spacing* 600 mm , diperoleh gaya lintang maksimum sebesar 48,95 ton dan momen lentur maksimum sebesar 899,4 ton·m . Pada bagian awal kapal, nilai momen lentur masih relatif kecil dan bernilai negatif, kemudian mengalami peningkatan seiring bertambahnya stasiun. Perubahan tersebut menunjukkan adanya perubahan distribusi beban bersih antara berat kapal dan gaya apung sepanjang badan pada kondisi muatan penuh.

Nilai momen lentur mengalami peningkatan yang cukup besar pada bagian awal hingga pertengahan kapal, kemudian mencapai nilai maksimum sebesar 899,4 ton·m . Setelah mencapai nilai maksimum, momen lentur selanjutnya mengalami perubahan menuju bagian ujung kapal. Dengan demikian, pada kondisi kapal muatan penuh dengan *frame spacing* 600 mm , nilai 899,4 ton·m merupakan momen kekuatan maksimum yang menjadi parameter utama dalam evaluasi kekuatan memanjang. Nilai ini selanjutnya dapat

digunakan untuk menghitung tegangan berdasarkan karakteristik penampang kapal, sehingga respon struktur pada kondisi muatan penuh dapat dievaluasi.



Gambar 4. 16 Grafik Momen Lentur Muatan Penuh 600

Berdasarkan grafik momen lentur kapal muatan penuh dengan *frame spacing* 600 mm , terlihat bahwa nilai momen lentur pada bagian awal kapal masih relatif kecil dan berada di daerah negatif. Selanjutnya, mulai sekitar stasiun 6 , momen gradien-angsur meningkat dan terus bertambah sepanjang badan kapal. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya perubahan distribusi beban bersih akibat perbedaan distribusi berat kapal dan gaya apung pada kondisi muatan penuh.

Peningkatan momen menjadi lebih jelas pada area stasiun 10–30 , kemudian terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada sekitar stasiun 37–38 . Nilai maksimum yang diperoleh adalah sekitar 899,4 ton·m . Setelah mencapai nilai maksimum, grafik menunjukkan sedikit penurunan hingga mendekati 890 ton·m pada FP . Dengan demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi muatan penuh pada *frame spacing* 600 mm menghasilkan momen lentur maksimum sebesar 899,4 ton·m , dengan respon lentur terbesar berada di sekitar station 37–38. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter dalam evaluasi kekuatan memanjang kapal.

4.8 Momen Inersia Penampang

4.8.1 Momen Inersia Penampang 550

Tabel 4. 21 Momen Inersia Penampang 550

No.	Nama Bagian	Jml	Lebar	Tinggi	Sudut Thdp Sb. Horizontal	Luas Total (cm ²) [AT]	Tb. Thdp Base	Momen Luas (cm ⁴) [AT x z]	Momen Inersia (cm ⁴) [AT x z ²]	Momen Inersia Individu		
			(cm)	(cm)	(derajat)		(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	lx cos ² a	ly sin ² a	lo
			[b]	[h]	[a]		[Z]	[AT x z]	[AT x z ²]	[lx = 1/12 x b x h ³]	[ly = 1/12 x h x b ³]	[lx cos ² a + ly sin ² a]
	Keel	1	140.00	100.00	0.00	14000.00	50.00	700000.00	35000000.00	11666666.67	0.00	11666666.67
	bottom plate	1	140.00	80.00	0.00	11200.00	40.00	448000.00	17920000.00	5973333.33	0.00	5973333.33
	Tank Top Plate	1	530.00	80.00	100.00	42400.00	40.00	1696000.00	67840000.00	13516359.16	399271881.95	112426452.42
	Inner Bottom Frame 1 WEB	1	9.0	0.6	100.00	5.4000	40.00	216.00	8640.00	0.10	14.66	3.83
	FACE	1	6.0	0.6	100.00	3.6000	40.00	144.00	5760.00	0.06	4.34	1.16
	Inner Bottom Frame 2 WEB	1	9.0	0.6	100.00	5.4000	40.00	216.00	8640.00	0.10	14.66	3.83
	FACE	1	6.0	0.6	100.00	3.6000	100.30	361.08	36216.32	0.06	4.34	1.16
	Bottom Frame 1 WEB	2	10.0	0.9	100.00	18.0000	100.45	1808.10	181623.65	0.36	30.17	8.01
	FACE	2	7.5	0.9	100.00	13.5000	100.45	1356.08	136217.73	0.27	12.73	3.47
	Bottom Frame 2 WEB	2	10.0	0.6	100.00	12.0000	100.30	1203.60	120721.08	0.11	20.11	5.24
	FACE	2	7.5	0.9	100.00	13.5000	100.45	1356.08	136217.73	0.27	12.73	3.47
	plat sisi	1	140.00	0.7	100.00	98.0000	300.00	29400.00	8820000.00	2.39	64392.20	16512.34
	Main Frame 1 WEB	2	7.5	0.5	100.00	7.5000	300.00	2250.00	675000.00	0.05	7.07	1.85
	Face	2	5.5	0.6	100.00	6.6000	300.00	1980.00	594000.00	0.06	3.35	0.90
	Main Frame 2 WEB	2	7.5	0.6	100.00	9.0000	300.00	2700.00	810000.00	0.08	8.49	2.24
	Face	2	5.5	0.6	100.00	384.5309	300.00	115359.28	34607784.67	0.06	3.35	0.90
	Deck Plate	1	70.0	0.8	100.00	77.9223	300.00	23376.68	7013003.41	1.79	9198.89	2359.98
	Shell Plate	1	140.0	0.6	100.00	84.0000	300.00	25200.00	7560000.00	1.51	55193.32	14153.03
	Main Frame 1 WEB	2	7.5	0.5	100.00	7.5000	300.00	2250.00	675000.00	0.05	7.07	1.85
	Face	2	5.5	0.5	100.00	5.5000	300.00	1650.00	495000.00	0.03	2.79	0.74
	Main Frame 2 WEB	2	7.5	0.5	100.00	7.5000	300.00	2250.00	675000.00	0.05	7.07	1.85
	Face	2	5.5	0.5	100.00	5.5000	300.00	1650.00	495000.00	0.03	2.79	0.74
	Deck Frame 1 web	1	7.5	0.5	100.00	3.7500	300.00	1125.00	337500.00	0.05	7.07	1.85
	Face	1	5.5	0.5	100.00	2.7500	300.00	825.00	247500.00	0.03	2.79	0.74
	Deck Frame 2 web	1	7.5	0.5	100.00	3.7500	300.00	1125.00	337500.00	0.05	7.07	1.85
	Face	1	5.5	0.5	100.00	2.7500	300.00	825.00	247500.00	0.03	2.79	0.74
	Side Girder 1	1	4.0	0.7	100.00	2.8000	300.00	840.00	252000.00	0.07	1.50	0.44
	Face	1	7.5	0.7	100.00	5.2500	300.00	1575.00	472500.00	0.13	9.90	2.63
						68389.60		3065041.89	185708324.60			130099527.24
						Σ1		Σ2	Σ3			Σ4

Berdasarkan hasil perhitungan momen inersia penampang kapal pada *frame spacing* 550 mm, penampang kapal tersusun atas beberapa elemen konstruksi longitudinal dan transversal yang meliputi keel plate, bottom plate, tank top plate, bottom frame, pelat sisi, main frame, deck plate, shell plate, deck frame, dan side girder deck. Setiap elemen dihitung berdasarkan luas penampang, posisi titik berat, serta jaraknya terhadap sumbu acuan. Perhitungan momen inersia dilakukan dengan mempertimbangkan momen inersia lokal masing-masing elemen dan pengaruh jaraknya terhadap sumbu netral menggunakan teorema sumbu sejajar. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa elemen dengan luas penampang besar dan posisi yang relatif jauh dari sumbu netral memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap momen inersia penampang. Nilai momen inersia total selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam analisis kekuatan memanjang kapal, khususnya dalam menentukan tegangan lentur akibat momen lentur yang bekerja pada kondisi pembebanan kapal.

4.8.2 Momen Inersia Penampang 600

Tabel 4. 22 Momen Inersia Penampang 600

No.	Nama Bagian	Jml	Lebar		Tinggi	Sudut Thdp Sb. Horizontal (derajat)	Luas Total (cm ²) [AT]	Tb. Thdp Base (cm) [Z]	Momen Luas (cm ⁴) [AT x z]	Momen Inersia (cm ⁴) [AT x z ²]	Momen Inersia Individu		
			Ix cos ² a	Iy sin ² a							Io		
		[n]	[b]	[h]	[a]						{ k = 1/12 x b x h ³ }	{ l = 1/12 x h x b ³ }	{ k cos ² a + l y sin ² a }
	Keel	1	140.00	100.00	0.00		14000.00	50.00	700000.00	35000000.00	11666666.67	0.00	11666666.67
	bottom plate	1	140.00	80.00	0.00		11200.00	40.00	448000.00	17920000.00	5973333.33	0.00	5973333.33
	Tank Top Plate	1	530.00	80.00	100.00		42400.00	40.00	1696000.00	67840000.00	13516359.16	399271881.95	112426452.42
	Inner Bottom Frame 1 WEB	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	40.00	210.00	8400.00	0.13	9.90	2.63
	FACE	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	40.00	210.00	8400.00	0.13	9.90	2.63
	Inner Bottom Frame 2 WEB	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	40.00	210.00	8400.00	0.13	9.90	2.63
	FACE	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	100.35	526.84	52868.14	0.13	9.90	2.63
	Bottom Frame 1 WEB	2	8.0	0.8	100.00		12.8000	100.40	1285.12	129026.05	0.20	13.73	3.67
	FACE	2	8.0	0.8	100.00		12.8000	100.40	1285.12	129026.05	0.20	13.73	3.67
	Bottom Frame 2 WEB	2	8.0	0.8	100.00		12.8000	100.40	1285.12	129026.05	0.20	13.73	3.67
	FACE	2	8.0	0.8	100.00		12.8000	100.40	1285.12	129026.05	0.20	13.73	3.67
	plat sisi	1	140.0	0.8	100.00		112.0000	300.00	33600.00	10080000.00	3.57	73591.09	18871.86
	Main Frame 1 WEB	2	7.5	0.7	100.00		10.5000	300.00	3150.00	945000.00	0.13	9.90	2.63
	Face	2	7.5	0.7	100.00		10.5000	300.00	3150.00	945000.00	0.13	9.90	2.63
	Main Frame 2 WEB	2	7.5	0.7	100.00		10.5000	300.00	3150.00	945000.00	0.13	9.90	2.63
	Face	2	7.5	0.7	100.00		384.5309	300.00	115359.28	34607784.67	0.13	9.90	2.63
	Deck Plate	1	700.0	0.8	100.00		77.9223	300.00	23376.68	7013003.41	17.85	919886.03	2358664.34
	Shell Plate	1	140.0	0.7	100.00		98.0000	300.00	29400.00	8820000.00	2.39	64392.20	16512.34
	Main Frame 1 WEB	2	7.5	0.7	100.00		10.5000	300.00	3150.00	945000.00	0.13	9.90	2.63
	Face	2	7.5	0.7	100.00		10.5000	300.00	3150.00	945000.00	0.13	9.90	2.63
	Main Frame 2 WEB	2	7.5	0.7	100.00		10.5000	300.00	3150.00	945000.00	0.13	9.90	2.63
	Face	2	7.5	0.7	100.00		10.5000	300.00	3150.00	945000.00	0.13	9.90	2.63
	Deck Frame 1 web	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	300.00	1575.00	472500.00	0.13	9.90	2.63
	Face	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	300.00	1575.00	472500.00	0.13	9.90	2.63
	Deck Frame 2 web	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	300.00	1575.00	472500.00	0.13	9.90	2.63
	Face	1	7.5	0.7	100.00		5.2500	300.00	1575.00	472500.00	0.13	9.90	2.63
	Side Girder 1	1	20.0	0.8	100.00		16.0000	300.00	4800.00	1440000.00	0.51	214.55	55.39
	Face	1	7.5	0.1	100.00		0.9000	300.00	270.00	81000.00	0.00	1.70	0.44
							68456.05		3085453.28	191900960.42			132460613.62
							Σ1		Σ2	Σ3			Σ4

Berdasarkan hasil perhitungan momen inersia penampang pada jarak Frame 600 mm, momen inersia diperoleh dari penjumlahan kontribusi seluruh elemen konstruksi yang membentuk penampang melintang kapal. Elemen seperti keel plate, bottom plate, tank top plate, pelat sisi, shell plate, dan deck plate memberikan kontribusi terhadap momen inersia sesuai dengan luas penampang dan jaraknya terhadap sumbu netral. Komponen yang memiliki luas penampang besar dan terletak relatif jauh dari sumbu netral memberikan kontribusi momen inersia yang lebih besar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa distribusi material pada penampang berpengaruh terhadap kekakuan struktur terhadap pembebanan lentur. Nilai momen inersia total selanjutnya digunakan bersama momen lentur dan jarak terhadap sumbu netral untuk menentukan tegangan lentur pada penampang kapal.

4.9 Pemeriksaan Kekuatan Kapal

4.9.1 Hasil Frame 550

Tabel 4. 23 Hasil Frame 550

Kesimpulan Perhitungan Kekuatan Memanjang Kapal					
Pengecekan Tegangan	σ_{deck}	σ_{bottom}	σ_{max}	Ket.	Kesimpulan
Kondisi Hogging	929.593	47.713	964.93	< Teg. Max	Accepted
Kondisi Sagging	607.903	31.201	964.93	< Teg. Max	Accepted
Pengecekan Modulus	W_{bottom}	W_{deck}	W_{min}		
	3981509.00	204356.73	3338.761	> Wmin	Accepted
Pengecekan Momen Inersia	I_{NA}	I_y			
	178440747.05	2622262.59		> I_y	Accepted
Total Conclusion	Accepted				
Berdasarkan hasil pemeriksaan, konfigurasi <i>frame spacing</i> 550 mm memenuhi persyaratan kekuatan panjang berdasarkan kriteria BKI yang digunakan.					

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa konfigurasi *frame spacing* 550 mm memenuhi seluruh kriteria pemeriksaan yang digunakan. Pada kondisi hogging dan sagging, tegangan yang terjadi pada deck dan bottom masih berada di bawah nilai tegangan maksimum yang digunakan sebagai pembanding. Selain itu, nilai modulus penampang bawah dan deck memenuhi persyaratan terhadap nilai modulus minimum. Dari sisi karakteristik penampang, nilai momen inersia terhadap sumbu netral juga lebih besar dari nilai I_y yang digunakan sebagai pembanding. Dengan demikian, berdasarkan parameter tegangan, modulus penampang, dan momen inersia, konfigurasi *frame spacing* 550 mm dinyatakan Accepted berdasarkan kriteria BKI yang digunakan dalam perhitungan.

4.9.2 Hasil Frame 600

Tabel 4. 24 Hasil Frame 600

Kesimpulan Perhitungan Kekuatan Memanjang Kapal					
Pengecekan Tegangan	σ_{deck}	σ_{bottom}	σ_{max}	Ket.	Kesimpulan
Kondisi Hogging	875.678	44.945	964.93	< Teg. Max	Accepted
Kondisi Sagging	582.356	29.890	964.93	< Teg. Max	Accepted
Pengecekan Modulus	W_{bottom}	W_{deck}	W_{min}		
	3981509.00	204356.73	3338.761	> Wmin	Accepted
Pengecekan Momen Inersia	I_{NA}	I_y			
	185293931.60	2622262.59		> I_y	Accepted
Total Conclusion	Accepted				
Berdasarkan hasil pemeriksaan, konfigurasi <i>frame spacing</i> 600 mm memenuhi persyaratan kekuatan panjang berdasarkan kriteria BKI yang digunakan.					

Berdasarkan hasil pemeriksaan kekuatan memanjang pada konfigurasi *frame spacing* 600 mm, seluruh parameter yang diperiksa menunjukkan hasil yang memenuhi kriteria yang digunakan. Pada kondisi hogging dan sagging, tegangan yang terjadi pada bagian deck dan bottom masih berada di bawah nilai tegangan maksimum sebesar 964,93. Pemeriksaan modulus penampang menunjukkan bahwa nilai W_{bottom} dan W_{deck} memenuhi kriteria terhadap W_{min} . Selain itu, nilai momen inersia penampang sebesar 185.293.931,60 juga lebih besar dari nilai I_y sebesar 2.622.262,59. Berdasarkan pemeriksaan ketiga tersebut, yaitu tegangan, modulus penampang, dan momen inersia, konfigurasi *frame spacing* 600 mm dinyatakan Accepted berdasarkan kriteria BKI yang digunakan dalam perhitungan .