

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

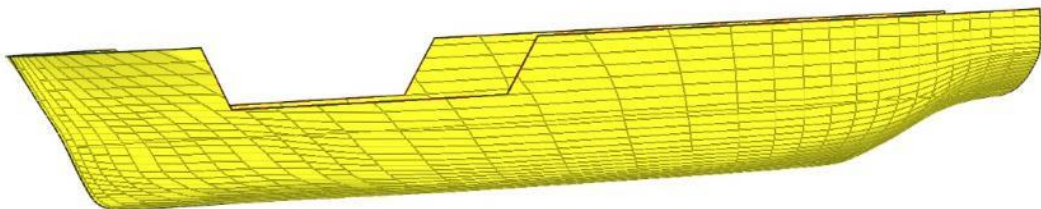
5.1 Permodelan Kapal

Pemodelan kapal dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak komputer untuk merepresentasikan bentuk lambung kapal secara tiga dimensi. Tahap awal dalam pemodelan ini menampilkan garis-garis utama yang membentuk kerangka dasar lambung kapal, memperlihatkan kontur dan bentuk secara menyeluruh yang mencerminkan desain eksternal kapal.

Pemodelan kemudian dilanjutkan dengan pembentukan mesh atau grid, di mana lambung kapal dibagi menjadi sejumlah elemen-elemen kecil yang lebih terperinci. Grid ini tidak hanya merepresentasikan permukaan luar kapal, tetapi juga mulai memperlihatkan struktur internal seperti sekat dan bulkhead. Pembagian ini penting untuk memungkinkan analisis dan simulasi yang mendalam, baik dari sisi hidrodinamika aliran air maupun evaluasi kekuatan struktural kapal.

Pada tahap akhir, mesh kapal disempurnakan menjadi lebih rapat dan detail, menyiapkan model yang sangat representatif untuk digunakan dalam berbagai simulasi komputer. Model ini memungkinkan perhitungan hambatan kapal, simulasi aliran fluida di sekitar lambung kapal, serta analisis tegangan dan kekuatan struktur secara akurat dan efektif.

Pendekatan pemodelan berbasis mesh ini merupakan langkah krusial dalam proses desain kapal modern, karena mendukung evaluasi dan optimasi performa kapal secara komprehensif melalui simulasi komputer, sehingga memaksimalkan efisiensi hidrodinamika serta kekuatan struktural kapal.



Gambar 5.1 Permodelan Lambung KN. Sibaru-Baru

5.2 Grid Analisis

Hasil analisis hydrostatic kapal menunjukkan hubungan antara draft kapal dengan sejumlah parameter utama yang menggambarkan kondisi stabilitas dan keseimbangan kapal pada berbagai kedalaman perendaman. Dengan peningkatan draft dari 1,5 meter hingga 2,75 meter, terlihat kenaikan progresif pada nilai displacement yang mencapai lebih dari 1.2 juta ton, menandakan bertambahnya volume air yang dipindahkan oleh lambung kapal sesuai dengan perendaman yang lebih dalam.

Posisi LCB (Longitudinal Center of Buoyancy) kapal berada pada kisaran 26,5 meter dari referensi titik tertentu, dengan pergerakan yang sangat kecil dan relatif stabil ditunjukkan oleh nilai yang berkisar antara 26,1 hingga 26,9 meter. Hal ini menunjukkan keseimbangan longitudinal lambung kapal yang tetap terjaga sepanjang rentang draft yang diuji.

VCB (Vertical Center of Buoyancy) meningkat secara signifikan dari sekitar 0,84 meter hingga mencapai 1,52 meter, menunjukkan perubahan posisi titik apung kapal secara vertikal seiring peningkatan draft. Parameter ini penting untuk penilaian stabilitas kapal secara keseluruhan.

Luas permukaan air apung (WPA) dan luas kontak permukaan lambung kapal dengan air (WSA) juga meningkat dengan nilai masing-masing mencapai di atas 500 m² dan 680 m² pada draft maksimum, yang berdampak pada gaya apung dan hambatan kapal ketika bergerak di air.

Lokasi Longitudinal Center of Flotation (LCF) dan TPC (Ton per Centimeter) juga didokumentasikan, dengan LCF berada pada sekitar 25 meter dan TPC yang menunjukkan kemampuan kapal menahan berat tambahan per kenaikan satu sentimeter draft, meningkat dari 4,7 hingga 5,43 ton/cm, yang menunjang analisis efisiensi dan kapasitas kapal dalam menghadapi beban.

Tabel 5.1 Hidrostatik Kapal Model

Draft (m)	Displ (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)
1,500	567,330	26,871	0,842	458,180	26,153	518,410	4,700
1,550	590,900	26,842	0,869	461,280	26,106	525,010	4,730
1,600	614,610	26,813	0,896	464,310	26,059	531,600	4,760

1,650	638,490	26,783	0,923	467,300	26,012	538,190	4,790
1,700	662,520	26,755	0,951	470,230	25,965	544,770	4,820
1,750	686,690	26,726	0,978	473,110	25,919	551,340	4,850
1,800	711,010	26,698	1,005	475,930	25,871	557,900	4,880
1,850	735,470	26,669	1,032	478,730	25,823	564,480	4,910
1,900	760,080	26,641	1,060	481,520	25,775	571,070	4,940
1,950	784,820	26,613	1,087	484,280	25,726	577,680	4,960
2,000	809,710	26,585	1,114	487,000	25,676	584,280	4,990
2,050	834,740	26,557	1,142	489,690	25,625	590,900	5,020
2,100	859,910	26,529	1,169	492,440	25,571	597,610	5,050
2,150	885,220	26,501	1,196	495,250	25,513	604,400	5,080
2,200	910,670	26,472	1,224	498,090	25,453	611,250	5,110
2,250	936,270	26,444	1,251	500,950	25,391	618,150	5,130
2,300	962,020	26,415	1,278	503,820	25,328	625,090	5,160
2,350	987,910	26,385	1,306	506,690	25,262	632,060	5,190
2,400	1013,960	26,355	1,333	509,580	25,194	639,080	5,220
2,450	1040,150	26,325	1,361	512,480	25,125	646,140	5,250
2,500	1066,490	26,295	1,388	515,360	25,055	653,230	5,280
2,550	1092,970	26,264	1,416	518,250	24,983	660,350	5,310
2,600	1119,610	26,233	1,443	521,180	24,910	667,540	5,340
2,650	1146,390	26,201	1,471	524,140	24,835	674,780	5,370
2,700	1173,330	26,169	1,499	527,130	24,758	682,070	5,400
2,750	1200,420	26,136	1,526	530,180	24,679	689,450	5,430
2,800	1227,690	26,102	1,554	533,680	24,579	697,260	5,470
2,850	1255,130	26,068	1,582	537,330	24,472	705,280	5,510
2,900	1282,760	26,032	1,610	541,140	24,357	713,470	5,550
2,950	1310,600	25,996	1,638	545,030	24,239	721,760	5,590
3,000	1338,630	25,957	1,666	549,030	24,115	730,200	5,630
3,050	1366,870	25,918	1,694	553,090	23,986	738,740	5,670
3,100	1395,320	25,877	1,722	557,210	23,854	747,380	5,710
3,150	1423,990	25,835	1,750	561,590	23,710	756,300	5,760
3,200	1452,890	25,791	1,778	566,110	23,560	765,380	5,800
3,250	1481,990	25,747	1,807	569,470	23,465	773,450	5,840
3,300	1511,250	25,702	1,835	572,210	23,399	781,000	5,870
3,350	1540,640	25,657	1,864	574,630	23,346	788,320	5,890
3,400	1570,150	25,613	1,892	576,810	23,305	795,450	5,910
3,450	1599,760	25,570	1,921	578,780	23,272	802,440	5,930
3,500	1629,470	25,528	1,949	580,640	23,244	809,370	5,950
3,550	1659,270	25,487	1,977	582,390	23,219	816,230	5,970

3,600	1689,160	25,447	2,005	584,030	23,199	823,030	5,990
3,650	1719,130	25,407	2,034	585,580	23,183	829,770	6,000
3,700	1749,180	25,369	2,062	587,060	23,170	836,470	6,020
3,750	1779,310	25,332	2,090	588,490	23,159	843,160	6,030
3,800	1809,500	25,295	2,118	589,860	23,151	849,810	6,050
3,850	1839,770	25,260	2,146	591,170	23,146	856,430	6,060
3,900	1870,100	25,226	2,174	592,440	23,142	863,040	6,070
3,950	1900,500	25,192	2,202	593,670	23,139	869,640	6,090
4,000	1930,950	25,160	2,230	594,850	23,139	876,220	6,100
4,000	1930,950	25,160	2,230	594,850	23,139	876,220	6,100

Analisis hasil grid pada rentang perubahan maksimum 5% menunjukkan bahwa displacement kapal mengalami peningkatan yang terkendali hingga sekitar 5,2%, yang menandakan perubahan volume air yang dipindahkan relatif stabil. Posisi Longitudinal Center of Buoyancy (LCB) mengalami variasi kecil sekitar 1,7%, menandakan keseimbangan longitudinal tetap terjaga dengan baik. Sementara itu, Vertical Center of Buoyancy (VCB) mengalami perubahan mendekati 5%, menunjukkan pergeseran titik apung secara vertikal yang masih dalam batas aman. Luas permukaan air apung (WPA) dan luas permukaan lambung yang terkena air (WSA) bertambah secara bertahap sesuai dengan peningkatan draft, dengan masing-masing kenaikan sekitar 2% dan 2,5%, yang berkontribusi pada gaya apung dan hambatan fluida kapal. Posisi Longitudinal Center of Flotation (LCF) tetap stabil dengan perubahan di bawah 1%, dan nilai Ton per Centimeter (TPC) meningkat sekitar 2%, memperlihatkan efisiensi kapal dalam menahan beban tambahan serta pengaruh terhadap kenaikan draft. Secara keseluruhan, variasi kecil ini mencerminkan kestabilan dan konsistensi karakteristik hidrostatik kapal, sehingga desain dan performa kapal dapat diprediksi tetap optimal dalam rentang operasi tersebut.

Tabel 5.2 Grid Analisis Kapal Model

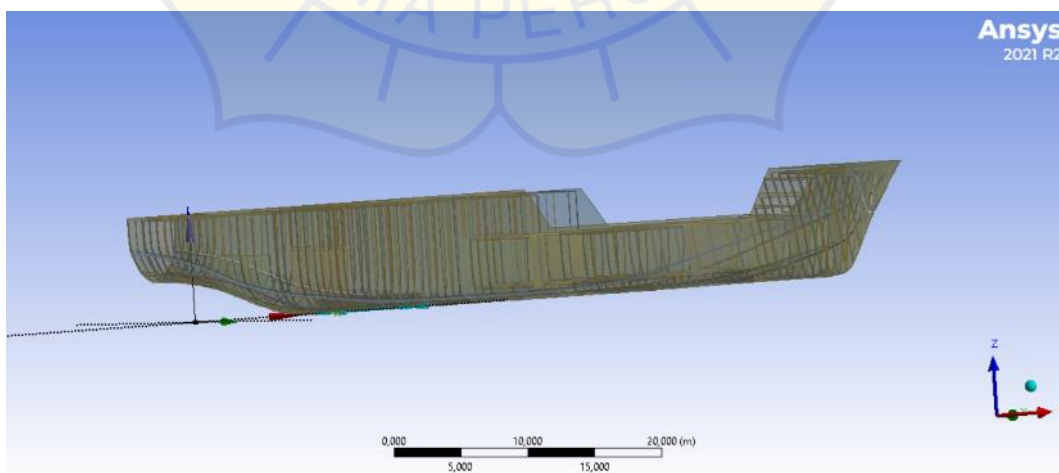
Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)
5,2474%	1,7007%	4,9881%	2,0175%	0,8565%	0,6234%	2,0851%
4,9585%	1,6653%	4,8331%	2,0558%	0,8159%	0,7009%	2,0930%

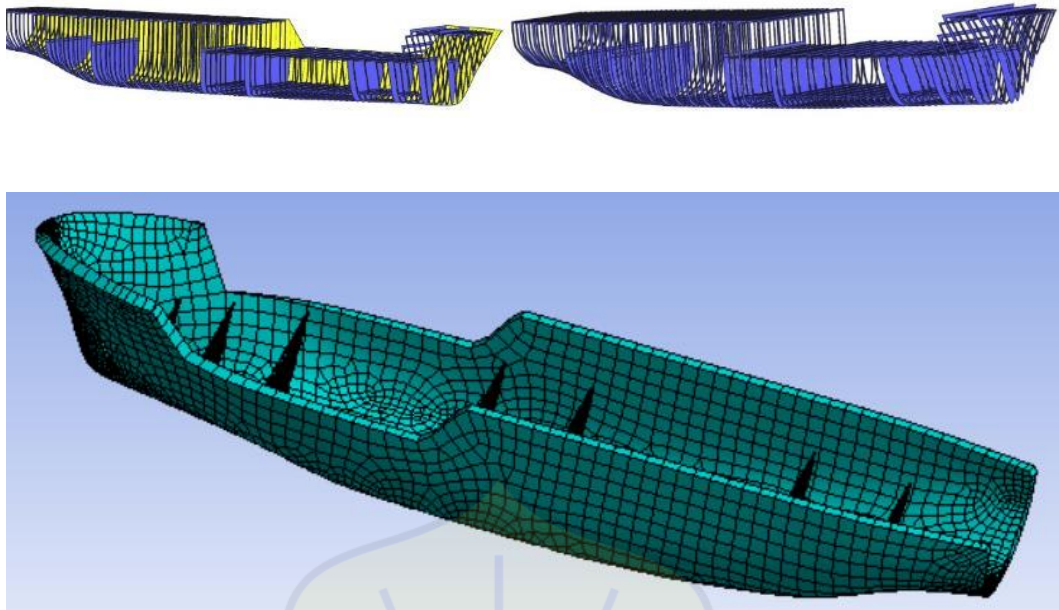
4,7005%	1,6298%	4,6875%	2,0878%	0,7675%	0,7790%	2,1008%
4,4339%	1,5906%	4,5504%	2,1046%	0,7304%	0,8471%	2,1086%
4,2082%	1,5586%	4,5216%	2,1100%	0,7009%	0,9039%	2,1162%
3,9916%	1,5266%	4,3967%	2,1338%	0,6713%	0,9637%	2,1443%
3,7819%	1,4982%	4,2786%	2,1436%	0,6416%	1,0122%	2,1721%
3,5800%	1,4661%	4,0698%	2,1496%	0,6157%	1,0604%	2,2200%
3,4102%	1,4376%	4,0566%	2,1590%	0,5936%	1,1090%	2,2470%
3,2339%	1,4128%	3,9558%	2,1516%	0,5831%	1,1477%	2,0766%
3,0739%	1,3842%	3,8600%	2,2969%	0,4284%	1,3023%	2,2645%
2,9063%	1,3518%	3,8529%	2,3237%	0,3824%	1,3581%	2,3307%
2,7549%	1,3193%	3,6784%	2,3656%	0,3285%	1,4247%	2,4158%
2,6073%	1,2905%	3,5953%	2,4299%	0,2548%	1,5060%	2,5000%
2,4630%	1,2579%	3,5948%	2,4943%	0,1807%	1,5872%	2,5832%
2,3316%	1,2290%	3,5172%	2,5551%	0,1103%	1,6646%	2,4561%
2,2016%	1,2001%	3,3646%	2,6087%	0,0474%	1,7361%	2,5388%
2,0336%	1,1673%	3,3691%	2,6642%	0,0238%	1,8082%	2,6012%
1,9764%	1,1307%	3,3008%	2,7697%	0,1389%	1,9174%	2,7011%
1,8122%	1,0978%	3,2329%	2,8421%	0,2189%	1,9946%	2,7810%
1,7356%	1,0648%	3,1700%	2,9232%	0,3153%	2,0807%	2,8788%
1,6496%	1,0280%	3,1780%	2,9945%	0,4083%	2,1581%	2,9567%
1,4639%	0,9911%	3,0492%	3,0640%	0,4978%	2,2331%	3,0337%
1,3617%	0,9580%	3,0591%	3,1234%	0,5798%	2,3002%	3,0726%
1,3355%	0,9209%	3,0020%	3,2070%	0,6866%	2,3882%	3,1481%
1,2146%	0,8800%	2,9489%	3,2768%	0,7820%	2,4643%	3,2044%
1,0841%	0,8390%	2,8958%	3,4315%	0,9724%	2,6008%	3,4186%
1,0254%	0,7979%	2,9077%	3,5304%	1,1074%	2,6964%	3,5753%
0,8762%	0,7491%	2,8571%	3,6837%	1,3015%	2,8286%	3,7477%
0,7935%	0,7078%	2,8694%	3,8455%	1,5017%	2,9632%	3,8998%
0,7000%	0,6549%	2,8211%	4,0271%	1,7334%	3,1137%	4,0675%
0,5948%	0,6019%	2,7745%	4,1702%	1,9428%	3,2385%	4,1799%
0,4787%	0,5487%	2,7294%	4,2481%	2,0835%	3,3168%	4,2207%
0,4221%	0,4916%	2,7429%	4,3777%	2,2227%	3,4346%	4,4444%
0,2829%	0,4343%	2,6997%	4,4772%	2,3981%	3,5279%	4,4310%
0,2031%	0,3806%	2,7117%	4,4757%	2,4590%	3,5532%	4,5205%
0,1158%	0,3229%	2,6703%	4,4192%	2,4445%	3,5399%	4,4974%
0,0234%	0,2689%	2,6824%	4,3322%	2,3987%	3,5070%	4,3294%
0,0096%	0,2186%	2,5899%	4,2506%	2,3428%	3,4760%	4,2132%
0,1100%	0,1721%	2,6028%	4,1568%	2,2774%	3,4390%	4,1147%
0,2130%	0,1254%	2,5654%	4,0659%	2,2156%	3,4060%	4,0336%
0,2573%	0,0863%	2,5291%	3,9826%	2,1706%	3,3785%	3,9866%

0,3055%	0,0472%	2,4938%	3,9034%	2,1208%	3,3539%	3,9566%
0,3566%	0,0039%	2,5074%	3,8217%	2,0662%	3,3274%	3,7833%
0,4676%	0,0315%	2,4733%	3,7402%	2,0155%	3,3017%	3,7874%
0,5232%	0,0632%	2,4402%	3,6607%	1,9733%	3,2793%	3,6318%
0,5250%	0,0988%	2,4079%	3,5807%	1,9265%	3,2566%	3,6364%
0,5854%	0,1267%	2,3299%	3,5010%	1,8794%	3,2327%	3,5149%
0,6470%	0,1546%	2,2999%	3,4258%	1,8322%	3,2103%	3,3937%
0,7103%	0,1866%	2,2707%	3,3561%	1,7892%	3,1901%	3,4319%
0,7224%	0,2107%	2,2422%	3,2877%	1,7416%	3,1700%	3,3279%

5.3 Permodelan FEM Lambung

Pemodelan FEM (*Finite Element Method*) pada lambung kapal dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak untuk menghasilkan geometri matematis dan struktural dari bentuk kapal secara detail. Proses ini melibatkan pembentukan mesh yang terdiri dari elemen-elemen kecil yang membagi keseluruhan permukaan dan volume lambung kapal sehingga memungkinkan analisis mekanis dan struktural secara komprehensif. Dalam pemodelan ini, berbagai bagian lambung diberi pewarnaan berbeda untuk menandai segmen-segmen struktur dan memudahkan identifikasi area analisis. Dengan pendekatan FEM, dapat diperoleh simulasi perilaku lambung kapal terhadap beban dan tekanan, serta prediksi distribusi tegangan yang membantu dalam evaluasi kekuatan dan kestabilan struktur kapal secara keseluruhan. Metode ini memegang peranan penting dalam proses desain dan pengujian kapal sebelum tahap produksi fisik dilakukan.



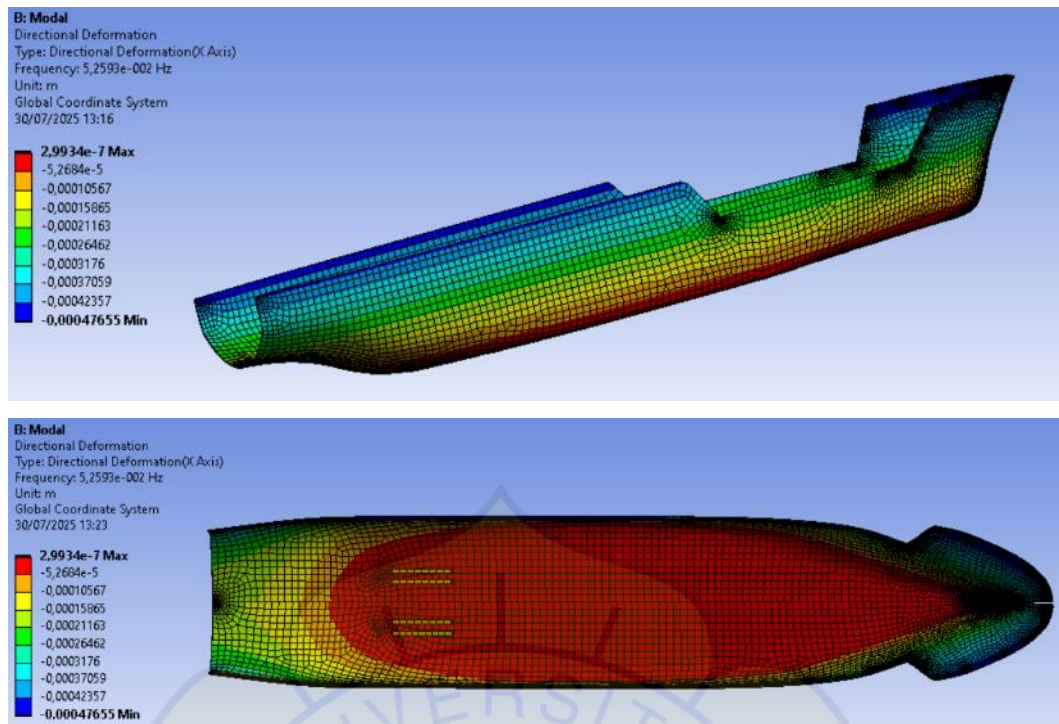


Gambar 5.2 Model Lambung dan Meshing FEA

Analisis deformasi arah X pada lambung kapal menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method) menunjukkan distribusi perpindahan yang sangat kecil, dengan nilai maksimum perpindahan sekitar $2,99 \times 10^{-7}$ meter. Hasil simulasi ini memvisualisasikan respons struktural lambung terhadap beban dinamis, yang ditunjukkan melalui variasi warna dimana daerah dengan warna merah menandakan titik tertinggi perpindahan, sementara warna biru menunjukkan deformasi paling minimal.

Dari tampilan samping maupun tampilan atas, dapat disimpulkan bahwa lambung kapal memelihara kekakuan struktural yang tinggi dengan deformasi yang hampir tidak berarti di seluruh bagian, termasuk pada area kritis seperti bagian buritan dan lunas kapal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa desain lambung sudah mampu menahan beban serta gaya-gaya yang bekerja tanpa menimbulkan perubahan bentuk signifikan yang dapat mengganggu performa atau integritas struktur kapal.

Secara keseluruhan, hasil analisis ini menunjukkan bahwa lambung kapal memiliki ketahanan mekanis yang baik terhadap deformasi arah longitudinal, sehingga memastikan keamanan dan kestabilan struktur kapal selama operasional di lingkungan dinamis seperti gelombang dan beban muatan.



Gambar 5.3 Deformation Efek Pada Lambung Existing

Analisis partisipasi faktor dalam tiga arah utama—X, Y, dan Z—telah dilakukan untuk memahami distribusi massa efektif dari masing-masing mode getar pada struktur yang ditinjau. Hasil analisis menunjukkan bahwa kontribusi terbesar terhadap respons dinamis dalam arah X berasal dari mode pertama, dengan massa efektif sebesar 15.534,5 satuan dan menyumbang penuh (100%) terhadap total massa efektif arah tersebut. Kontribusi ini diikuti oleh mode-mode berikutnya yang secara akumulatif mencakup seluruh massa efektif hingga mencapai nilai total sekitar 22.215,6 satuan. Rasio massa efektif terhadap total massa dalam arah X adalah sebesar 0,2605.

Untuk arah Y, distribusi partisipasi menunjukkan bahwa mode kelima memberikan kontribusi massa efektif terbesar yaitu sekitar 60.414,2 satuan, diikuti oleh mode keempat dan ketiga. Secara akumulatif, keenam mode mencakup massa efektif total sebesar 259.333 satuan. Rasio massa efektif terhadap total massa dalam arah Y adalah sekitar 0,3041. Hal ini menunjukkan bahwa dalam arah Y, respons struktur tersebar lebih merata dibandingkan arah X, dengan partisipasi signifikan dari beberapa mode.

Pada arah Z, mode pertama juga memberikan kontribusi dominan dengan massa efektif sebesar 247.412 satuan. Total massa efektif dari seluruh mode dalam arah Z adalah sebesar 275.639 satuan, dengan rasio terhadap total massa sebesar 0,3232. Mode-mode lainnya seperti mode kedua hingga keenam juga turut berperan dalam peningkatan massa efektif secara bertahap hingga mencakup keseluruhan. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa arah Z menunjukkan pengaruh dinamis terbesar dibandingkan arah X dan Y, yang tercermin dari nilai massa efektif total dan rasio terhadap massa keseluruhan. Hal ini perlu menjadi perhatian khusus dalam perencanaan atau penguatan struktur terhadap beban dinamis atau gempa.

Tabel 5.3 Evaluasi Frekuensi Linier Pada Lambung Existing

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.525933E-01	19.014	-124.64	1.000000	15534.5	0.699262	0.182151E-01
2	0.220448	4.5362	-24.015	0.192681	576.733	0.725222	0.676255E-03
3	0.259329	3.8561	60.911	0.488709	3710.20	0.892231	0.435043E-02
4	0.582279	1.7174	-40.135	0.322012	1610.79	0.964739	0.188875E-02
5	0.598900	1.6697	24.491	0.196500	599.824	0.991739	0.703330E-03
6	0.819197	1.2207	-13.547	0.108691	183.520	1.000000	0.215188E-03
sum					22215.6		0.260491E-01
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.525933E-01	19.014	-11.832	0.030832	139.995	0.539826E-03	0.164152E-03
2	0.220448	4.5362	383.75	1.000000	147265.	0.568400	0.172677
3	0.259329	3.8561	129.49	0.337432	16767.6	0.633057	0.196611E-01
4	0.582279	1.7174	172.50	0.449520	29757.6	0.747804	0.348925E-01
5	0.598900	1.6697	245.79	0.640501	60414.2	0.980763	0.708393E-01
6	0.819197	1.2207	70.631	0.184053	4988.70	1.000000	0.584955E-02
sum					259333.		0.304084
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.525933E-01	19.014	497.41	1.000000	247412.	0.897595	0.290105
2	0.220448	4.5362	7.0529	0.014179	49.7428	0.897775	0.583265E-04
3	0.259329	3.8561	9.6510	0.019403	93.1412	0.898113	0.109214E-03
4	0.582279	1.7174	-113.61	0.228415	12908.3	0.944943	0.151358E-01
5	0.598900	1.6697	70.139	0.141010	4919.52	0.962791	0.576844E-02
6	0.819197	1.2207	-101.27	0.203602	10256.2	1.000000	0.120260E-01
sum					275639.		0.323203

Dalam arah Rotasi X (RotX), distribusi partisipasi massa efektif menunjukkan dominasi oleh mode kedua, dengan nilai partisipasi tertinggi yang setara dengan massa efektif sebesar 95.360.200 satuan. Meskipun mode ini memiliki rasio sebesar 1.000000, kontribusi dari mode ketiga dan keempat juga signifikan, masing-masing dengan massa efektif sebesar 44.316.400 dan 23.574.600 satuan. Total akumulasi massa efektif untuk arah RotX mencapai 178.727.200 satuan, dengan rasio terhadap massa total sebesar 0,6730. Hal ini mengindikasikan bahwa arah rotasi X memiliki respon dinamis yang cukup kuat, terutama pada mode-mode awal.

Untuk arah Rotasi Y (RotY), mode pertama menunjukkan dominasi yang jauh lebih signifikan dibandingkan arah lainnya, dengan massa efektif sangat besar yaitu sekitar $6,07938 \times 10^8$ satuan. Ini menunjukkan bahwa respons dinamis dalam arah ini sangat terkonsentrasi pada mode pertama. Mode-mode berikutnya berkontribusi dalam skala yang jauh lebih kecil, seperti mode kedua dan ketiga yang hanya memiliki massa efektif puluhan juta atau lebih rendah. Jumlah keseluruhan massa efektif untuk arah RotY adalah sebesar $6,14028 \times 10^8$ satuan dengan rasio terhadap total massa mencapai 0,8482, menjadikannya sebagai arah rotasi dengan pengaruh terbesar dalam sistem.

Sementara itu, arah Rotasi Z (RotZ) memperlihatkan kontribusi dominan dari mode kedua dan ketiga. Mode kedua memiliki massa efektif sebesar $2,15348 \times 10^7$ satuan, dan mode ketiga mencapai $2,20939 \times 10^8$ satuan. Keduanya secara kumulatif menyumbang lebih dari 90% dari total massa efektif arah RotZ. Total keseluruhan massa efektif dalam arah ini adalah $2,38623 \times 10^8$ satuan, dengan rasio terhadap massa total sebesar 0,3277. Dibandingkan dengan arah RotY, pengaruh dinamika pada arah RotZ lebih merata di beberapa mode.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa dari ketiga arah rotasi, RotY memiliki massa efektif dan kontribusi terbesar terhadap dinamika struktur, terutama terkonsentrasi pada mode pertama. Arah RotX menyusul dengan kontribusi besar namun lebih tersebar di beberapa mode, sedangkan RotZ memiliki distribusi yang cukup merata dengan dominasi pada mode kedua dan ketiga. Temuan ini penting untuk dipertimbangkan dalam proses desain struktur agar mampu mengakomodasi

momen rotasi akibat gaya dinamis secara efektif, terutama dalam arah RotY yang menunjukkan respons paling signifikan.

Tabel 5.4 Evaluasi Frekuensi Translasi Pada Lambung Existing

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTX DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.525933E-01	19.014	100.60	0.032577	10119.9	0.566222E-03	0.381074E-03
2	0.220448	4.5362	-3088.0	1.000000	0.953602E+07	0.534118	0.359087
3	0.259329	3.8561	-1046.6	0.338922	0.109539E+07	0.595406	0.412476E-01
4	0.582279	1.7174	-1535.4	0.497209	0.235746E+07	0.727309	0.887722E-01
5	0.598900	1.6697	-2108.2	0.682697	0.444450E+07	0.975984	0.167361
6	0.819197	1.2207	-655.15	0.212157	429224.	1.00000	0.161628E-01
sum					0.178727E+08		0.673012
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTY DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.525933E-01	19.014	-24657.	1.000000	0.607983E+09	0.990155	0.839839
2	0.220448	4.5362	-657.33	0.026659	432087.	0.990859	0.596865E-03
3	0.259329	3.8561	55.618	0.002256	3093.36	0.990864	0.427302E-05
4	0.582279	1.7174	1583.6	0.064224	0.250778E+07	0.994948	0.346413E-02
5	0.598900	1.6697	-1092.4	0.044303	0.119330E+07	0.996892	0.164837E-02
6	0.819197	1.2207	1381.5	0.056029	0.190860E+07	1.00000	0.263646E-02
sum					0.614028E+09		0.848190
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTZ DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.525933E-01	19.014	-384.78	0.026215	148059.	0.620471E-03	0.203338E-03
2	0.220448	4.5362	14678.	1.000000	0.215438E+09	0.903459	0.295874
3	0.259329	3.8561	4700.4	0.320240	0.220939E+08	0.996048	0.303429E-01
4	0.582279	1.7174	-28.817	0.001963	830.422	0.996052	0.114047E-05
5	0.598900	1.6697	536.51	0.036553	287846.	0.997258	0.395316E-03
6	0.819197	1.2207	808.88	0.055109	654285.	1.00000	0.898569E-03
sum					0.238623E+09		0.327715

Tabel 5.5 Frekuensi dan Mass Distribution Lambung Existing

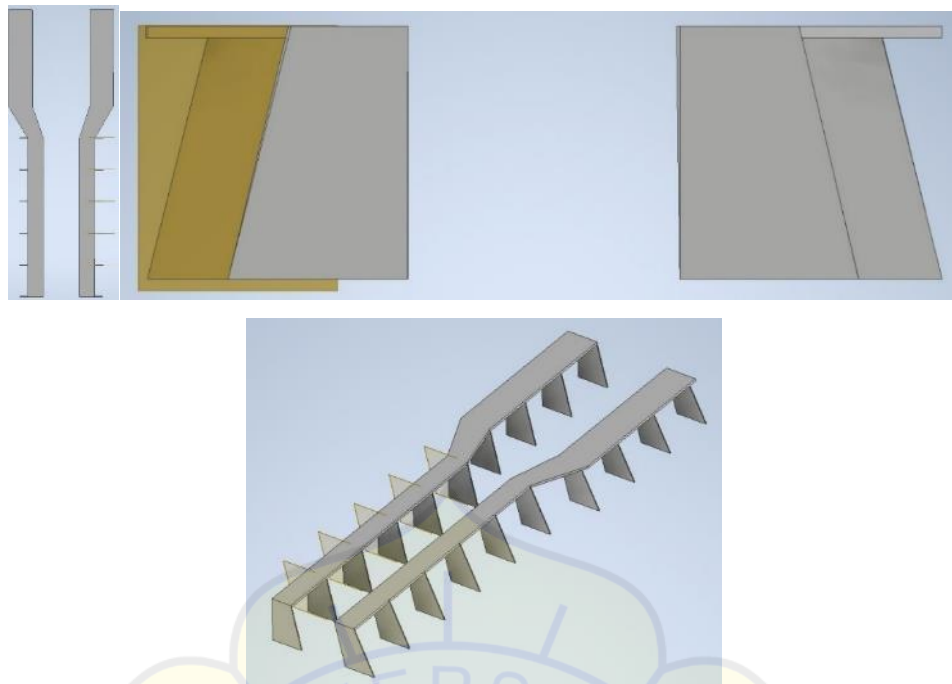
***** MODAL MASSES, KINETIC ENERGIES, AND TRANSLATIONAL EFFECTIVE MASSES SUMMARY *****									
MODE	FREQUENCY	MODAL MASS	KENE	X-DIR	EFFECTIVE MASS				RATIO%
					RATIO%	Y-DIR	RATIO%	Z-DIR	
1	0.5259E-01	0.1656E+06	9040.	0.1553E+05	1.82	140.0	0.02	0.2474E+06	29.01
2	0.2204	0.5028E+05	0.4824E+05	576.7	0.07	0.1473E+06	17.27	49.74	0.01
3	0.2593	0.4588E+05	0.6091E+05	3710.	0.44	0.1677E+05	1.97	93.14	0.01
4	0.5823	0.6796E+05	0.4548E+06	1611.	0.19	0.2976E+05	3.49	0.1291E+05	1.51
5	0.5989	0.7145E+05	0.5059E+06	599.8	0.07	0.6041E+05	7.08	4920.	0.58
6	0.8192	0.4181E+05	0.5539E+06	183.5	0.02	4989.	0.58	0.1026E+05	1.20
sum				0.2222E+05	2.60	0.2593E+06	30.41	0.2756E+06	32.32

Penataan mesin kapal, atau yang sering disebut *engine seating* atau *engine foundation*, merupakan *struktur vital* yang dirancang untuk menopang dan mengamankan mesin utama kapal. Pada gambar yang disajikan, terlihat detail geometris untuk *engine foundation* KN Sibaru-Baru, sebuah elemen struktural krusial yang memastikan performa dan keamanan operasional mesin. Desain ini mencakup berbagai komponen yang bekerja sama untuk mentransfer beban dan getaran mesin ke struktur lambung kapal secara efisien.

terlihat tampilan potongan (*section view*) dan profil (*profile view*) dari *engine foundation*. Tampilan ini memperlihatkan bagaimana bentuk dasar penopang mesin dirancang secara vertikal dan horizontal.

Model 3D dari *engine foundation* secara utuh, yang memberikan *gambaran komprehensif* mengenai keseluruhan struktur. Model ini menunjukkan *dua balok memanjang* yang sejajar, menjadi *tumpuan utama* bagi mesin. Balok-balok ini diperkuat oleh serangkaian *pelat tegak* atau *web frames* yang *tegak lurus* terhadap balok memanjang.

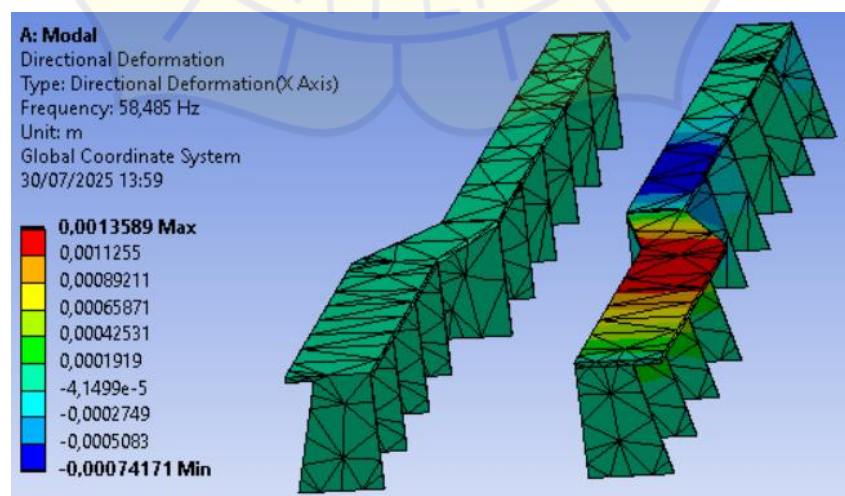
- Balok Memanjang: Berfungsi sebagai *penyangga utama* yang memikul berat mesin dan menyalurkan *gaya-gaya vertikal* maupun *horizontal* yang timbul saat mesin beroperasi.
- Pelat Tegak (Web Frames): Berperan sebagai *pengaku (stiffeners)* yang meningkatkan *kekakuan* dan *kekuatan* balok memanjang, serta membantu menyebarkan beban dari mesin ke *area yang lebih luas* dari lambung kapal. Desain ini memastikan bahwa getaran dan torsi yang dihasilkan mesin dapat diredam dan didistribusikan secara merata, sehingga *meminimalkan konsentrasi tegangan* pada satu titik dan mencegah kerusakan struktural.



Gambar 5.4 Ilustrasi Engine Sitting

5.5 Existing FEM

Analisis modal dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik dinamis dari struktur engine sitting kapal KN Sibaru Baru. Berdasarkan hasil pemodelan, didapatkan enam mode getar utama dengan rentang frekuensi antara 58,485 Hz hingga 191,258 Hz. Dari visualisasi deformasi arah X (gambar pertama), terlihat bahwa deformasi maksimum terjadi pada bagian tengah struktur, dengan nilai mencapai $\pm 0,0013589$ meter. Hal ini mengindikasikan potensi konsentrasi getaran pada wilayah tersebut saat struktur mengalami eksitasi pada frekuensi tertentu.



Gambar 5.4 Deformation Distribution Existing Engine Sitting

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa massa efektif terbesar dalam arah translasi terjadi pada:

- Z-Axis dengan total massa efektif sebesar $0,275e+06$ (rasio 32,32% terhadap total massa).
- Disusul oleh arah Y-Axis dengan nilai $0,2593e+06$ (rasio 30,41%).
- Arah X-Axis memiliki massa efektif paling rendah yaitu $0,2222e+05$ (rasio 2,60%).

Dari sisi rotasi, nilai massa efektif terbesar berada pada:

- RotZ (Rotasi terhadap sumbu Z) dengan total sebesar 3.823,57 satuan dan rasio 0,2538.
- Disusul oleh RotX sebesar 348,07 satuan (rasio 0,3149).
- RotY dengan jumlah 3.122,8 satuan (rasio 0,6598).

Partisipasi Faktor Translasi

Arah X:

Kontribusi terbesar terhadap arah X berasal dari mode pertama dan keenam dengan partisipasi kumulatif mencapai 0,3065. Rasio efektif terhadap massa total hanya $0,255 \times 10^{-3}$, menunjukkan arah ini relatif kurang dominan dalam respons dinamis struktur.

Arah Y:

Mode pertama berkontribusi paling signifikan terhadap respons arah Y dengan nilai massa efektif sebesar 526,279 satuan. Total kumulatifnya mencapai 1053,63, atau sekitar 87,96% dari massa total. Hal ini menunjukkan arah Y memberikan pengaruh besar terhadap vibrasi translasi engine sitting.

Arah Z:

Partisipasi arah Z didominasi oleh mode keempat, dengan nilai efektif tertinggi 745,034 satuan. Kumulatif massa efektif mencapai 0,9887, atau 82,29% dari total massa, menunjukkan arah ini juga berpengaruh signifikan terhadap respons dinamis vertikal struktur.

Tabel 5.6 Frekuensi Linier Engine Sitting Existing

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	58.4855	0.17098E-01	0.17270	0.482170	0.298247E-01	0.973063E-01	0.248238E-04
2	67.4218	0.14832E-01	-0.85650E-01	0.239134	0.733599E-02	0.121241	0.610594E-05
3	185.620	0.53874E-02	0.11569	0.323008	0.133845E-01	0.164909	0.111403E-04
4	186.141	0.53723E-02	0.16007	0.446916	0.256228E-01	0.248507	0.213266E-04
5	189.688	0.52718E-02	-0.31945	0.891906	0.102050	0.581456	0.849390E-04
6	191.258	0.52285E-02	0.35817	1.000000	0.128285	1.00000	0.106775E-03
sum					0.306503		0.255110E-03
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	58.4855	0.17098E-01	22.941	1.000000	526.279	0.499493	0.438036
2	67.4218	0.14832E-01	22.839	0.995545	521.600	0.994545	0.434141
3	185.620	0.53874E-02	0.22754	0.009919	0.517767E-01	0.994594	0.430951E-04
4	186.141	0.53723E-02	0.75085	0.032730	0.563781	0.995129	0.469250E-03
5	189.688	0.52718E-02	0.32676	0.014244	0.106772	0.995231	0.888691E-04
6	191.258	0.52285E-02	2.2417	0.097715	5.02507	1.00000	0.418250E-02
sum					1053.63		0.876961
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	58.4855	0.17098E-01	0.25234E-02	0.003195	0.636763E-05	0.644029E-05	0.529995E-08
2	67.4218	0.14832E-01	-0.18573E-01	0.023519	0.344966E-03	0.355343E-03	0.287124E-06
3	185.620	0.53874E-02	-0.78971	1.000000	0.623638	0.631110	0.519070E-03
4	186.141	0.53723E-02	0.58557	0.741504	0.342894	0.977916	0.285399E-03
5	189.688	0.52718E-02	0.10920	0.138280	0.119248E-01	0.989977	0.992529E-05
6	191.258	0.52285E-02	-0.99549E-01	0.126059	0.991010E-02	1.00000	0.824844E-05
sum					0.988718		0.822936E-03

Partisipasi Faktor Rotasi

RotX:

Partisipasi terbesar berasal dari mode pertama dan kedua. Nilai kumulatif partisipasi efektif mencapai 348,065, dengan rasio terhadap massa total sebesar 0,3149.

RotY:

Meskipun nilai partisipasi relatif lebih kecil dibandingkan arah lainnya, akumulasi dari enam mode menghasilkan nilai efektif sebesar 3.122,8 satuan (rasio 0,6598). Ini menunjukkan bahwa arah rotasi terhadap sumbu Y cukup berperan dalam respons rotasional struktur.

RotZ:

Rotasi terhadap sumbu Z menunjukkan partisipasi tertinggi dari semua arah rotasi, dengan total nilai efektif 3.823,57 satuan dan rasio sebesar 0,2538 terhadap total massa. Mode kedua dan ketiga sangat dominan dalam arah ini.

Tabel 5.7 Frekuensi Linier Translasi Engine Sitting Existing

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTX DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	58.4855	0.17098E-01	-13.198	1.000000	174.177	0.500416	0.157627E-01
2	67.4218	0.14832E-01	-13.186	0.999126	173.873	0.999958	0.157351E-01
3	185.620	0.53874E-02	-0.47614E-01	0.003608	0.226713E-02	0.999964	0.205171E-06
4	186.141	0.53723E-02	0.93889E-02	0.000711	0.881519E-04	0.999965	0.797756E-08
5	189.688	0.52718E-02	-0.11074	0.008391	0.122640E-01	1.000000	0.110987E-05
6	191.258	0.52285E-02	0.25144E-02	0.000191	0.632200E-05	1.000000	0.572127E-09
sum					348.065		0.314992E-01
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTY DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	58.4855	0.17098E-01	0.11413	0.077952	0.130263E-01	0.417132E-02	0.275235E-05
2	67.4218	0.14832E-01	-0.11695E-01	0.007987	0.136767E-03	0.421511E-02	0.288978E-07
3	185.620	0.53874E-02	0.86964	0.593961	0.756278	0.246393	0.159795E-03
4	186.141	0.53723E-02	-1.4641	1.000000	2.14370	0.932856	0.452948E-03
5	189.688	0.52718E-02	-0.30995	0.211692	0.960672E-01	0.963619	0.202982E-04
6	191.258	0.52285E-02	0.33706	0.230211	0.113610	1.000000	0.240049E-04
sum					3.12282		0.659828E-03
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTZ DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	58.4855	0.17098E-01	27.177	0.490155	738.584	0.193166	0.490214E-01
2	67.4218	0.14832E-01	55.446	1.000000	3074.21	0.997180	0.204042
3	185.620	0.53874E-02	0.53064	0.009570	0.281577	0.997254	0.186889E-04
4	186.141	0.53723E-02	2.6938	0.048585	7.25656	0.999152	0.481634E-03
5	189.688	0.52718E-02	-0.26756	0.004826	0.715910E-01	0.999171	0.475165E-05
6	191.258	0.52285E-02	1.7807	0.032117	3.17103	1.000000	0.210468E-03
sum					3823.57		0.253779

Analisis penting terkait *massa modal, energi kinetik, dan massa efektif translasi* dari suatu struktur, yang dikelompokkan berdasarkan mode-mode vibrasi dominan. Analisis ini sangat krusial dalam memahami *respons dinamis* suatu sistem terhadap beban eksternal atau getaran internal.

Setiap baris dalam tabel merepresentasikan suatu mode vibrasi (Mode 1 hingga Mode 6

Frequency (Frekuensi): Frekuensi resonansi alami untuk setiap mode, diukur dalam Hertz (Hz). Frekuensi menunjukkan seberapa sering struktur akan bergetar jika terjadi eksitasi pada mode tersebut.

- Mode 1 memiliki frekuensi terendah (58.49 Hz), mengindikasikan mode global atau dominan.
- Frekuensi cenderung meningkat pada mode-mode yang lebih tinggi (misalnya, Mode 6 sebesar 191.3 Hz), yang seringkali terkait dengan bentuk-bentuk deformasi lokal atau lebih kompleks.

Modal Mass (Massa Modal): Massa efektif yang berpartisipasi dalam setiap mode vibrasi, diukur dalam satuan massa (misalnya, kg atau ton). Massa modal merepresentasikan bagian dari massa total struktur yang berkontribusi pada deformasi mode tertentu.

- Massa modal bervariasi secara signifikan antar mode, dengan Mode 1 dan 2 memiliki massa modal terbesar (456.3 dan 441.4), menunjukkan bahwa mode-mode ini melibatkan sebagian besar

Effective Mass (Massa Efektif) dan Ratio%: Massa efektif translasi menunjukkan seberapa besar massa struktur yang berkontribusi pada gerakan translasi (pergerakan lurus) dalam arah tertentu (X, Y, atau Z) untuk setiap mode. *Ratio%* menunjukkan persentase kontribusi massa efektif mode tersebut terhadap massa total struktur.

- X-DIR (Arah X): Kontribusi massa efektif dalam arah X sangat kecil ($< 0.01\%$ untuk sebagian besar mode), menunjukkan bahwa mode-mode ini didominasi oleh gerakan dalam arah lain atau rotasi.
- Y-DIR (Arah Y): Terdapat kontribusi signifikan massa efektif dalam arah Y, terutama pada Mode 1 (43.80%) dan Mode 2 (43.41%), yang menunjukkan bahwa pergerakan lateral (melintang) sangat dominan pada mode-mode ini.
- Z-DIR (Arah Z): Kontribusi massa efektif dalam arah Z juga relatif kecil, dengan mode-mode yang berbeda menunjukkan persentase yang bervariasi, namun tidak ada yang dominan secara keseluruhan.

Total Massa Efektif dan Distribusi

Pada bagian bawah tabel, terdapat ringkasan total (sum) untuk massa efektif dan rasionya.

- Total Massa Efektif X-DIR: Total massa efektif dalam arah X adalah 0.3065 (dengan rasio 0.03%), yang sangat rendah, mengkonfirmasi bahwa gerakan dalam arah X tidak dominan.
- Total Massa Efektif Y-DIR: Total massa efektif dalam arah Y adalah 1054.0 (dengan rasio dominan 87.70%), menunjukkan bahwa sebagian besar respons dinamis struktur terjadi dalam arah lateral (Y). Ini bisa diartikan bahwa struktur lebih rentan atau lebih fleksibel terhadap beban yang bekerja dalam arah Y.
- Total Massa Efektif Z-DIR: Total massa efektif dalam arah Z adalah 0.9887 (dengan rasio 0.08%), yang juga sangat rendah.

Tabel 5.8 Fekuensi dan Mass Distribution Engine Sitting Existing

***** MODAL MASSES, KINETIC ENERGIES, AND TRANSLATIONAL EFFECTIVE MASSES SUMMARY *****

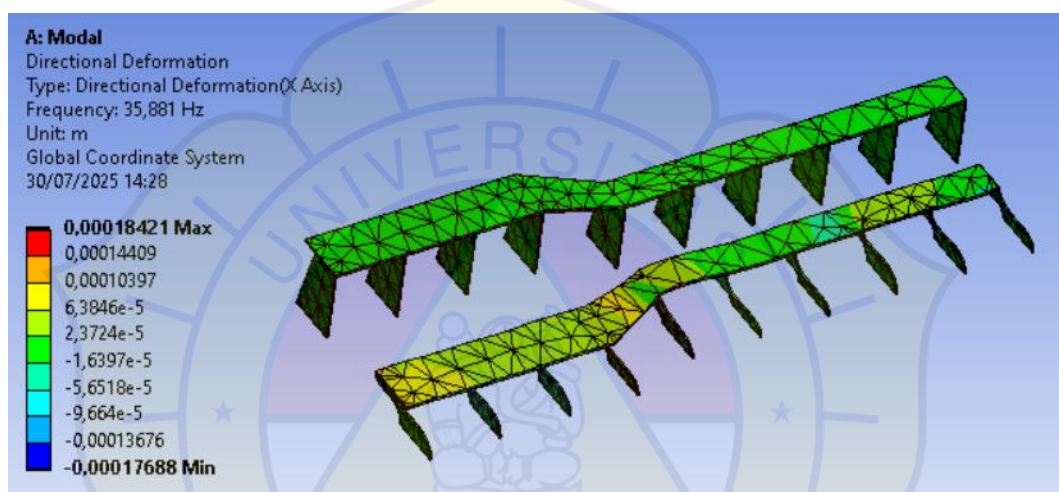
MODE	FREQUENCY	MODAL MASS	KENE	EFFECTIVE MASS					
				X-DIR	RATIO%	Y-DIR	RATIO%	Z-DIR	RATIO%
1	58.49	456.3	0.3081E+08	0.2982E-01	0.00	526.3	43.80	0.6368E-05	0.00
2	67.42	441.4	0.3961E+08	0.7336E-02	0.00	521.6	43.41	0.3450E-03	0.00
3	185.6	12.78	0.8691E+07	0.1338E-01	0.00	0.5178E-01	0.00	0.6236	0.05
4	186.1	7.101	0.4857E+07	0.2562E-01	0.00	0.5638	0.05	0.3429	0.03
5	189.7	7.807	0.5545E+07	0.1021	0.01	0.1068	0.01	0.1192E-01	0.00
6	191.3	14.29	0.1032E+08	0.1283	0.01	5.025	0.42	0.9910E-02	0.00
-----				-----					
sum				0.3065	0.03	1054.	87.70	0.9887	0.08
-----				-----					

5.6 Evaluasi FEM

Analisis dalam rangka evaluasi pada *engine seating* yang telah dimodifikasi melalui peningkatan ketebalan bagian tegak dari 10 mm menjadi 15 mm, menghasilkan frekuensi resonansi 35,881 Hz. Visualisasi skala warna menunjukkan area deformasi maksimum positif (merah) dan negatif (biru), sementara hijau mengindikasikan deformasi minimal. Deformasi cenderung terkonsentrasi pada ujung dan area perubahan geometri signifikan, yang mengindikasikan bahwa modifikasi ini mempengaruhi distribusi kekakuan dan respons dinamis pada *engine seating*. dilakukan analisis mendalam terhadap deformasi engine seating KN

Sibaru-Baru setelah serangkaian modifikasi. Fokus utama modifikasi adalah peningkatan ketebalan pada bagian tegak dari 10 mm menjadi 15 mm, dengan tujuan mengoptimalkan kinerja struktural dan respons dinamis.

Frekuensi Resonansi 35,881 Hz. Nilai frekuensi ini menunjukkan frekuensi alami di mana struktur *engine seating* akan bergetar secara maksimal jika dikenai eksitasi dalam mode yang ditampilkan. Perubahan ketebalan pada bagian tegak *engine seating* dari 10 mm menjadi 15 mm telah mempengaruhi frekuensi resonansi ini, yang perlu dibandingkan dengan frekuensi awal sebelum modifikasi untuk mengetahui dampaknya.



Gambar 5.5 Deformation Distribution Existing Engine Sitting

Analisis faktor partisipasi efektif untuk engine seating yang telah dimodifikasi menunjukkan kontribusi masing-masing mode getar terhadap massa efektif dalam arah translasi X, Y, dan Z.

Untuk arah X, mode pertama mendominasi dengan effective mass sebesar $0.2982E-01$ yang memberikan kontribusi 0.04081 dari total massa efektif. Meskipun demikian, mode-mode berikutnya (Mode 2 hingga Mode 6) secara kolektif meningkatkan akumulasi massa efektif hingga mencapai 1.00000 pada Mode 6, dengan total effective mass sebesar 0.344962. Rasio massa efektif kumulatif terhadap total massa terdistribusi secara progresif, mencapai 0.249787 pada Mode 6.

Pada arah Y, mode pertama juga menunjukkan kontribusi effective mass yang signifikan sebesar 577.251, dengan rasio partisipasi tertinggi 1.000000. Mode-mode selanjutnya mempertahankan kontribusi yang konsisten, dan effective mass kumulatif pada Mode 6 mencapai 1.000000, dengan total effective mass 1151.09. Rasio massa efektif kumulatif terhadap total massa mencapai 0.833505 pada Mode 6, menunjukkan dominasi mode-mode awal.

Pada arah Z, mode pertama menunjukkan effective mass sebesar $0.403752E-03$ dengan rasio partisipasi 0.006778. Mode-mode selanjutnya secara bertahap meningkatkan effective mass kumulatif, mencapai 1.00000 pada Mode 6. Total effective mass untuk arah Z adalah 20.4525, dengan rasio kumulatif terhadap total massa sebesar $0.148097E-02$ pada Mode 6.

Secara keseluruhan, analisis faktor partisipasi ini menunjukkan bahwa modifikasi engine seating telah mempengaruhi distribusi massa efektif pada masing-masing arah. Dari ketiga arah, arah Y menunjukkan kontribusi massa efektif terbesar dengan nilai total 1151.09, dibandingkan dengan arah X (0.344962) dan arah Z (20.4525). Hal ini mengindikasikan bahwa engine seating memiliki respons dinamis yang paling signifikan pada arah Y.

Tabel 5.9 Frekuensi Linier Engine Sitting Modification

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC. FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	35.8814	0.27870E-01	0.15923E-01	0.044081	0.253529E-03	0.734948E-03	0.183581E-06
2	55.8890	0.17893E-01	-0.20243E-01	0.056043	0.409794E-03	0.192289E-02	0.296732E-06
3	198.819	0.50297E-02	-0.21246	0.588173	0.451375E-01	0.132771	0.326841E-04
4	203.436	0.49155E-02	0.36121	1.000000	0.130475	0.511001	0.944771E-04
5	210.036	0.47611E-02	-0.24810	0.686848	0.615529E-01	0.689435	0.445705E-04
6	232.402	0.43029E-02	-0.32731	0.906146	0.107133	1.00000	0.775752E-04
sum					0.344962		0.249787E-03
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC. FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	35.8814	0.27870E-01	24.026	1.000000	577.251	0.501481	0.417987
2	55.8890	0.17893E-01	23.946	0.996653	573.392	0.999611	0.415194
3	198.819	0.50297E-02	-0.33376	0.013892	0.111396	0.999708	0.806619E-04
4	203.436	0.49155E-02	-0.19253	0.008013	0.370669E-01	0.999740	0.268402E-04
5	210.036	0.47611E-02	0.43565	0.018132	0.189792	0.999905	0.137428E-03
6	232.402	0.43029E-02	0.33091	0.013773	0.109502	1.00000	0.792906E-04
sum					1151.09		0.833505
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC. FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	35.8814	0.27870E-01	0.20094E-01	0.006778	0.403752E-03	0.197409E-04	0.292357E-06
2	55.8890	0.17893E-01	0.21765E-01	0.007342	0.473729E-03	0.429033E-04	0.343027E-06
3	198.819	0.50297E-02	1.3983	0.471689	1.95529	0.956440E-01	0.141582E-02
4	203.436	0.49155E-02	2.9645	1.000000	8.78818	0.525330	0.636353E-02
5	210.036	0.47611E-02	1.3189	0.444903	1.73952	0.610382	0.125959E-02
6	232.402	0.43029E-02	2.8229	0.952234	7.96868	1.00000	0.577013E-02
sum					20.4525		0.148097E-01

Analisis modifikasi engine sitting menunjukkan perubahan signifikan pada distribusi massa efektif dan partisipasi faktor dalam tiga arah rotasi utama (ROTX, ROTY, dan ROTZ). Untuk arah ROTX, total massa efektif adalah 550.125 dengan rasio massa efektif kumulatif terhadap massa total sebesar 0.423031E-01. Mode 1 dan 2 memberikan kontribusi massa efektif terbesar (184.799 dan 182.131 secara berurutan), menunjukkan bahwa mode-mode ini sangat mempengaruhi respons struktural dalam arah ini.

Dalam arah ROTY, total massa efektif jauh lebih rendah, yaitu 39.2916, dengan rasio massa efektif kumulatif terhadap massa total sebesar 0.726320E-02. Mode 1 kembali menjadi dominan dengan massa efektif sebesar 31.1238E-02, diikuti oleh mode 2. Hal ini mengindikasikan bahwa respons dalam arah ROTY lebih terkonsentrasi pada mode-mode frekuensi rendah.

Sebaliknya, arah ROTZ menunjukkan total massa efektif yang jauh lebih besar yaitu 4165.36, dengan rasio massa efektif kumulatif terhadap massa total sebesar 0.235901. Mode 1 memiliki massa efektif yang sangat dominan sebesar 809.513, diikuti oleh mode 2 sebesar 3355.26. Ini menunjukkan bahwa modifikasi engine sitting memiliki dampak paling besar pada respons rotasi di sekitar sumbu Z, dengan mode frekuensi rendah menyerap sebagian besar energi. Secara keseluruhan, analisis ini menyoroti bagaimana modifikasi engine sitting secara selektif memengaruhi karakteristik dinamika struktural, terutama dalam hal distribusi massa efektif pada mode-mode getaran yang berbeda di berbagai arah rotasi.

Tabel 5.7 Frekuensi Linier Translasi Engine Sitting Modification

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTX DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	35.8814	0.27870E-01	-13.594	1.000000	184.799	0.335923	0.142106E-01
2	55.8890	0.17893E-01	-13.496	0.992754	182.131	0.666995	0.140054E-01
3	198.819	0.50297E-02	0.44431	0.032684	0.197410	0.667354	0.151803E-04
4	203.436	0.49155E-02	-2.4870	0.182949	6.18533	0.678597	0.475634E-03
5	210.036	0.47611E-02	-12.028	0.884770	144.664	0.941564	0.111243E-01
6	232.402	0.43029E-02	-5.6699	0.417082	32.1472	1.00000	0.247203E-02
sum					550.125		0.423031E-01
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROY DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	35.8814	0.27870E-01	-0.55891E-02	0.001446	0.312382E-04	0.795036E-06	0.577450E-08
2	55.8890	0.17893E-01	-0.92735E-01	0.023992	0.859973E-02	0.219664E-03	0.158969E-05
3	198.819	0.50297E-02	-3.8653	1.000000	14.9405	0.380467	0.276181E-02
4	203.436	0.49155E-02	-2.8121	0.727527	7.90795	0.581730	0.146181E-02
5	210.036	0.47611E-02	-2.1935	0.567481	4.81136	0.704183	0.889398E-03
6	232.402	0.43029E-02	-3.4093	0.882021	11.6231	1.00000	0.214858E-02
sum					39.2916		0.726320E-02
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION *****ROTZ DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	35.8814	0.27870E-01	28.452	0.491189	809.513	0.194344	0.458459E-01
2	55.8890	0.17893E-01	57.925	1.000000	3355.26	0.999861	0.190022
3	198.819	0.50297E-02	-0.55409	0.009566	0.307021	0.999935	0.173878E-04
4	203.436	0.49155E-02	-0.39166	0.006761	0.153395	0.999971	0.868738E-05
5	210.036	0.47611E-02	0.19497	0.003366	0.380131E-01	0.999981	0.215283E-05
6	232.402	0.43029E-02	0.28489	0.004918	0.811644E-01	1.00000	0.459666E-05
sum					4165.36		0.235901

Analisis faktor partisipasi untuk arah ROTZ menunjukkan total massa efektif sebesar 4165.36 dan rasio massa efektif kumulatif terhadap massa total sebesar 0.235901. Mode 1, dengan frekuensi 35.8814 Hz, memberikan kontribusi massa efektif yang paling signifikan, yaitu 809.513, yang menyumbang 0.194344 dari fraksi massa kumulatif. Selanjutnya, Mode 2, dengan frekuensi 55.8890 Hz, menunjukkan dominasi yang jauh lebih besar dengan massa efektif sebesar 3355.26, menjadikan fraksi massa kumulatif mencapai 0.999861. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar respons dinamis dalam arah ROTZ terkonsentrasi pada dua mode frekuensi terendah ini. Mode-mode berikutnya (3 hingga 6) memiliki kontribusi massa efektif yang jauh lebih kecil, dengan nilai-nilai yang berkisar dari 0.307021 hingga 0.811644E-01, dan secara kolektif menyumbang sisa fraksi massa hingga mencapai 1.000000. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa desain atau modifikasi yang dilakukan secara efektif mengkonsentrasikan energi respons getaran pada mode-mode awal dalam arah ROTZ, yang penting untuk dipertimbangkan dalam evaluasi kinerja struktural secara keseluruhan.

Tabel 5.11 Fekuensi dan Mass Distribution Engine Sitting**Modification**

***** MODAL MASSES, KINETIC ENERGIES, AND TRANSLATIONAL EFFECTIVE MASSES SUMMARY *****

MODE	FREQUENCY	MODAL MASS	KENE	EFFECTIVE MASS					
				X-DIR	RATIO%	Y-DIR	RATIO%	Z-DIR	RATIO%
1	35.88	496.7	0.1262E+08	0.2535E-03	0.00	577.3	41.80	0.4038E-03	0.00
2	55.89	469.3	0.2893E+08	0.4098E-03	0.00	573.4	41.52	0.4737E-03	0.00
3	198.8	105.6	0.8237E+08	0.4514E-01	0.00	0.1114	0.01	1.955	0.14
4	203.4	69.75	0.5698E+08	0.1305	0.01	0.3707E-01	0.00	8.788	0.64
5	210.0	41.38	0.3603E+08	0.6155E-01	0.00	0.1898	0.01	1.740	0.13
6	232.4	110.8	0.1181E+09	0.1071	0.01	0.1095	0.01	7.969	0.58
sum				0.3450	0.02	1151.	83.35	20.45	1.48