

Studi Pengaruh Ukuran Bracket Pondasi Mesin terhadap Tegangan dengan Menggunakan Finite Element Method

Jonathan Adhi Putra dan Mohammad Nurul Misbah
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: mnmisbah@na.its.ac.id

Abstrak—Bracket berfungsi sebagai kekuatan tambahan atau penopang dua elemen konstruksi untuk meminimalisir terjadinya crack atau deformasi. Salah satu penggunaan bracket terletak pada konstruksi pondasi mesin kapal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa ukuran bracket yang optimal dalam sebuah konstruksi pondasi mesin. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan dengan variasi ukuran kaki-kaki bracket untuk melihat pengaruh ukuran bracket terhadap tegangan yang terjadi pada bracket. Ukuran kaki bracket yang digunakan adalah ukuran existing dari data kapal, ukuran dari hasil perhitungan menurut standar Biro Klasifikasi Indonesia, 468 mm, 398 mm, 328 mm, dan 257 mm. Penelitian ini menggunakan Finite Element Software untuk mempermudah proses perhitungan. Selain ukuran bracket, dilakukan juga perhitungan dengan mempertimbangkan sudut kemiringan dari pondasi mesin akibat gerak rolling kapal yaitu sebesar 00, 50, 100, 150, 200, dan 300. Untuk mengetahui bahwa tegangan pada setiap bracket diijinkan atau tidak, maka tegangan dibandingkan dengan tegangan ijin yang sudah ditentukan oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Hasil dari penelitian ini adalah semua variasi ukuran bracket masih memenuhi tegangan ijin bahan pada setiap kemiringan yang diuji. Akan tetapi, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai umur dari konstruksi bracket untuk setiap variasi akibat perubahan tegangan normal yang terjadi karena gerak rolling kapal.

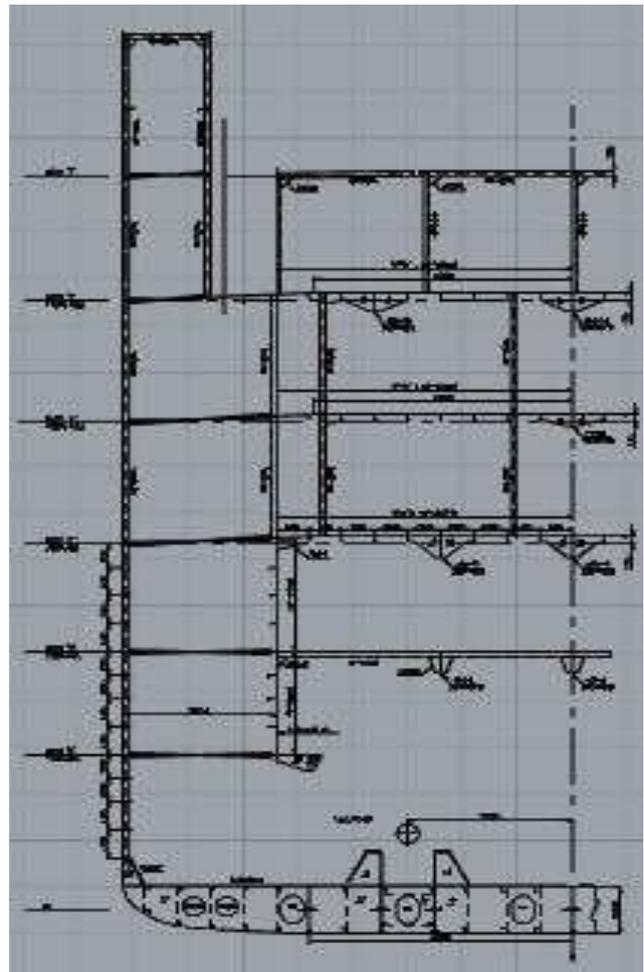
Kata Kunci—Bracket, Finite Element Software, Tegangan, Optimal.

I. PENDAHULUAN

KONSTRUKSI kapal dapat didefinisikan secara umum berarti komponen-komponen suatu bangunan kapal yang mendukung satu sama lain. Dalam bidang perkapalan, konstruksi kapal merupakan susunan komponen-komponen pada bangunan kapal yang mana terdiri dari badan kapal beserta bangunan atas kapal [1].

Pada konstruksi di kapal, perlu adanya kekuatan tambahan sebagai penopang yang dinamakan bracket. Bracket secara umum didefinisikan sebagai suatu konstruksi dari bahan logam, aluminium, plastik, dan kayu yang berfungsi sebagai penopang atau penahan konstruksi tersebut agar tidak mengalami pembengkokan atau deformasi pada suatu konstruksi tersebut.

Secara khusus, bracket pada kapal berupa pelat siku yang berfungsi sebagai penguat sambungan antara dua elemen konstruksi misalnya pada penumpu bujur pondasi mesin kapal dan pelat hadap dudukan mesin [2]. Sistem konstruksi pada pondasi mesin harus sangat diperhatikan, dikarenakan beban yang disangga oleh pondasi mesin sangat berat. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk memastikan bahwa bracket yang dipasang pada pondasi mesin cukup kuat tetapi tidak berlebihan agar penggunaan material lebih optimal.



Gambar 1. Penampang Melintang Kapal.

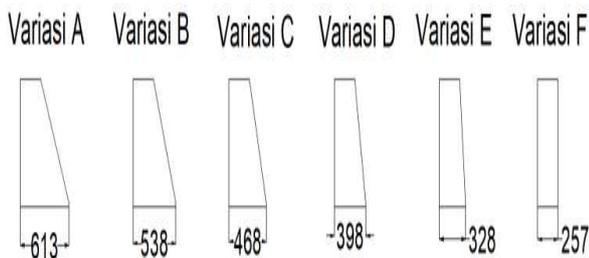
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beban Statis

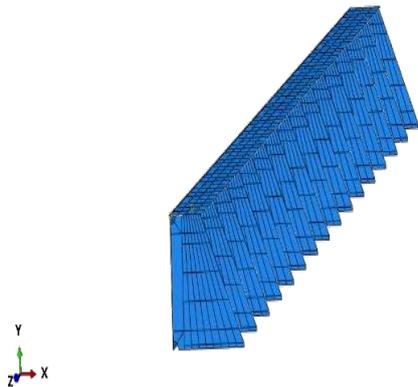
Beban statis pada kapal adalah gaya tekan air ke atas, berat bagian konstruksi kapal, berat muatan dan barang-barang lain di dalam kapal, reaksi tumpuan pada waktu kapal kandas atau di dok. Dalam banyak hal, perhitungan kekuatan bagian konstruksi kapal didasarkan seluruhnya pada beban statis, seolah-olah kapal terapung diam di air tenang.

B. Finite Element Method

Finite Element Method adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk mendapatkan solusi untuk kelas besar masalah teknik yang melibatkan analisis tegangan, perpindahan panas, elektromagnetisme, dan aliran fluida. Terdapat banyak masalah rekayasa praktis yang tidak



Gambar 4. Variasi Bracket.



Gambar 5. Model Variasi A Menggunakan *Finite Element Software*.

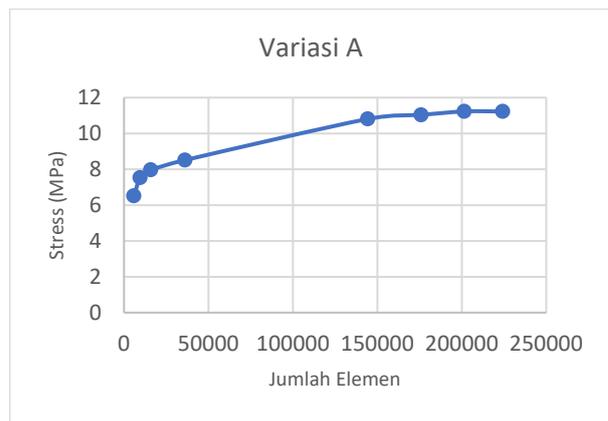
bisa kita dapatkan solusi eksaknya. Ketidampungan untuk mendapatkan solusi yang tepat ini dapat dikaitkan dengan kesulitan mengatur persamaan diferensial atau kesulitan yang timbul dari batas dan kondisi awal. Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan perkiraan numerik. Berbeda dengan solusi analitik yang menunjukkan perilaku yang tepat dari sistem pada setiap titik dalam sistem, solusi numerik mendekati solusi eksak hanya pada titik-titik diskrit, yang disebut node [3].

C. Konvergensi

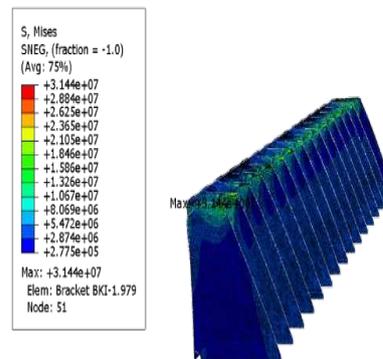
Konvergensi adalah tahapan dalam finite element analysis yang bertujuan untuk memastikan bahwa ukuran elemen yang digunakan tidak berpengaruh terhadap hasil analisis. Walaupun pemodelan menggunakan ukuran elemen yang lebih kecil pasti menghasilkan solusi yang lebih akurat, belum tentu ukuran elemen tersebut merupakan ukuran yang optimal dalam prose analisis. Tingkat akurasi yang sama dapat dicapai dengan pemodelan mesh yang lebih kasar yang membutuhkan komputasi yang jauh lebih sedikit. Uji konvergensi dilakukan untuk menentukan ukuran terbaik dari elemen dengan pertimbangan beban komputasi dan keakuratan hasil [4].

D. Konstruksi Bracket

Bracket secara umum adalah suatu konstruksi dari bahan logam, aluminium, plastik, dan kayu yang berfungsi sebagai penopang atau penahan konstruksi tersebut agar tidak mengalami pembengkokkan atau deformasi pada suatu konstruksi tersebut [1]. Di dalam dunia perkapalan, bracket adalah suatu konstruksi dari bahan logam atau aluminium yang berguna untuk memperkuat suatu profil kapal agar tidak mengalami crack atau deformasi. Menurut Biro



Gambar 2. Contoh Grafik Uji Konvergensi pada Variasi A.



Gambar 3. Hasil Simulasi pada Variasi A dengan Kemiringan 30 Derajat.

Klasifikasi Indonesia, panjang lengan pada bracket tidak boleh lebih kecil dari [5]:

$$l = 46.2 \cdot \sqrt[3]{\frac{W}{k_1}} \cdot \sqrt{k_2} \cdot c_t \tag{1}$$

$$l_{min} = 100 \text{ mm}$$

E. Konstruksi Bracket

Kegagalan (*failure*) dari suatu elemen mesin yang menerima pembebanan, dinyatakan apabila elemen tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang direncanakan. Oleh karena itu perlu diberikan kriteria - kriteria kapan logam tersebut dapat dikatakan gagal.

Teori kegagalan dibedakan menurut jenis material yang digunakan, untuk material getas (*brittle*) biasanya menggunakan *Maximum Normal Stress Criterion* dan *Mohr's Creation*, sedangkan untuk material ulet (*ductile*) biasanya menggunakan *Maximum Shearing Stress Criterion (Tresca Criterion)* dan *Maximum Distortion Energy Criterion (Von Mises Criterion)* [6].

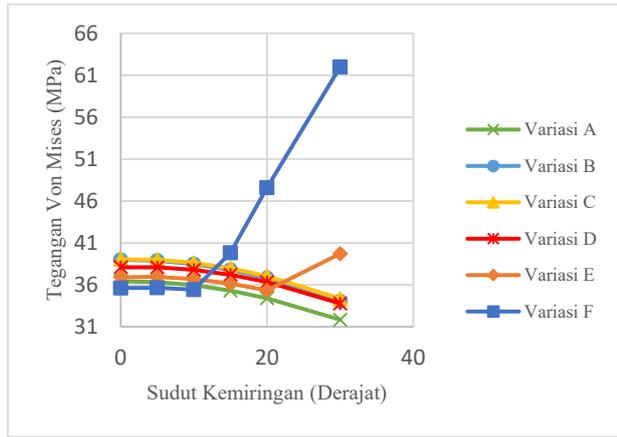
F. Tegangan Von Mises

Tegangan *Von Mises* adalah tegangan efektif pada saat material *ductile* mencapai titik *yield*. Tegangan *Von Mises* mendefinisikan *yield* sebagai kegagalan, sehingga hasil yang didapat dari analisis Tegangan *Von Mises* berupa nilai tegangan tarik pada konstruksi.

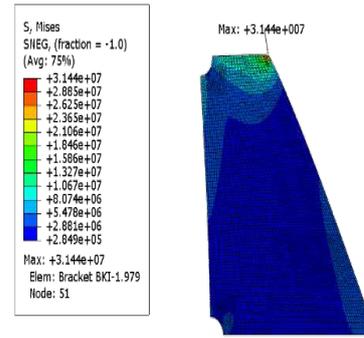
Besar nilai Tegangan *Von Mises* dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \tag{2}$$

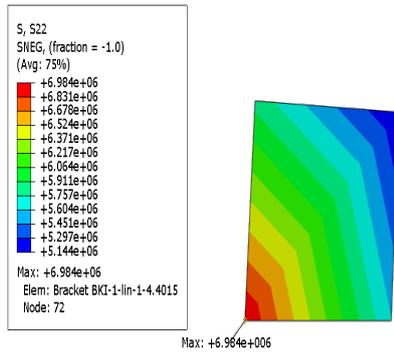
$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \tag{3}$$



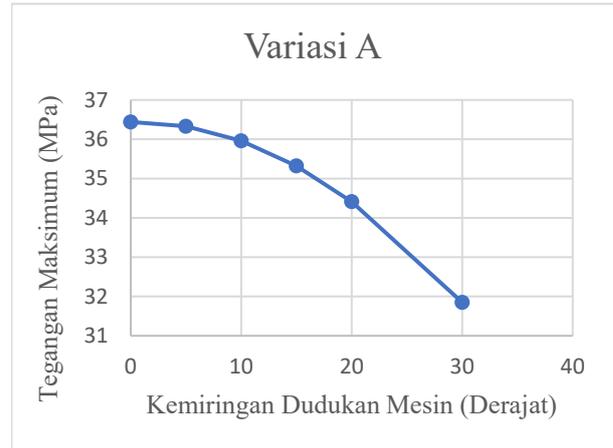
Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Tegangan Setiap Variasi.



Gambar 8. Hasil Pembacaan Tegangan pada Variasi A (Port Side).



Gambar 7. Tegangan Normal Sumbu Y Variasi A.



Gambar 9. Kurva Tegangan Von Mises Variasi A.

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xy}^2 \quad (4)$$

Dimana,

I_1 = Stress Invariant 1

I_2 = Stress Invariant 2

σ_x = Tegangan Normal pada Sumbu X

σ_y = Tegangan Normal pada Sumbu Y

σ_z = Tegangan Normal pada Sumbu Z

τ_{xz} = Tegangan geser pada bidang X yang bekerja searah Sumbu Z

τ_{yz} = Tegangan geser pada bidang Y yang bekerja searah Sumbu Z

τ_{xy} = Tegangan geser pada bidang X yang bekerja searah Sumbu Y

G. Tegangan Normal

Intensitas gaya biasanya diurai kan menjadi tegak lurus dan sejajar terhadap bidang irisan. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan tersebut disebut sebagai tegangan normal (*normal stress*) yang dinotasikan σ [7]. Besar tegangan normal dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (5)$$

Dimana,

σ = Tegangan Normal (N/m²)

ΔA = Luas penampang benda (m²)

ΔF = Gaya Normal (N)

H. Tegangan Ijin

Tegangan ijin merupakan tegangan yang tidak boleh dilampaui sebuah sistem struktur, dimanapun letaknya akibat

faktor keamanan. Secara umum, tegangan ijin dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan Ijin} = \frac{\text{Tegangan Luluh}}{\text{Faktor Keamanan}} \quad (6)$$

Semakin tinggi faktor keamanan, semakin rendah juga tegangan ijin dari struktur. Faktor keamanan harus lebih besar dari 1 agar tegangan luluh dari material struktur tidak terlampaui. Menurut Biro Klasifikasi Indonesia, tegangan ijin pada struktur alas dalam kapal dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$\sigma_{ijin} = \frac{230}{k} \quad (7)$$

$$k = \frac{235}{ReH} \quad (8)$$

Dimana,

σ_{ijin} = Tegangan Ijin (MPa)

k = Faktor Material

ReH = Titik luluh material (MPa)

III. METODOLOGI

A. Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan. Studi literatur yang digunakan yaitu beban statis, teori kegagalan, finite element method, tegangan von mises, tegangan ijin, tegangan normal, dan konstruksi bracket.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan setelah identifikasi masalah diperoleh. Data yang dikumpulkan adalah data gambar

Tabel 1.
Hasil Pembacaan Tegangan Von Mises Variasi A

Kemiringan (Derajat)	Stress PS (MPa)	Stress SB (MPa)	Stress Max (MPa)
0	36.44	36.44	36.44
5	36.26	36.33	36.33
10	35.82	35.96	35.96
15	35.11	35.32	35.32
20	34.14	34.41	34.41
30	31.44	31.85	31.85

Tabel 2.
Perbandingan Tegangan Von Mises terhadap Tegangan Ijin

Variasi	Sudut (Derajat)	σ_{vm} max (MPa)	σ_{ijin} (MPa)	Kelayakan
A	0	36.44	209.09	Layak
B	0	38.99	209.09	Layak
C	0	39.05	209.09	Layak
D	0	38.1	209.09	Layak
E	30	39.72	209.09	Layak
F	30	61.99	209.09	Layak

penampang melintang kapal, ukuran-ukuran utama kapal, spesifikasi main engine, dan general arrangement. Gambar 1 penampang melintang kapal.

C. Perhitungan Beban pada Pondasi Mesin

Beban yang diberikan pada pondasi mesin didapat dari persamaan tebal alas dalam pada BKI Rules for Hull 2019 Sec-8B 4.1

$$t = 1.1 \cdot a \cdot \sqrt{p \cdot k} + tk \tag{9}$$

dengan diasumsikan penambahan tebal sebanyak 15% sesuai ketentuan maksimum penambahan tebal pada Sec 8C 2.2 sehingga

$$115\% \cdot t \approx \sqrt{1.15^2 p \cdot k} + tk \tag{10}$$

$$p' = 1.15^2 p \tag{11}$$

dengan nilai p didapatkan dari persamaan

$$p = 9.81 \cdot \frac{G}{V} \cdot h \cdot (1 + av) \tag{12}$$

Dimana,

G = Total berat muatan (ton)

V = Total volume ruang muat (m³)

h = Tinggi ruang muat diukur dari inner bottom (m)

Sehingga didapatkan beban keseluruhan yang digunakan pada simulasi adalah 397.5442 kN.

D. Perhitungan Tegangan Ijin

Untuk menghitung tegangan ijin yang digunakan, digunakan persamaan (6), (7), dan (8) dengan safety factor 1.1 dan ReH baja 235 N/mm². Sehingga didapatkan tegangan ijin sebesar 209.09 MPa.

E. Pemodelan Pondasi Mesin

Variasi ukuran kaki-kaki bracket pondasi mesin yang dimodelkan adalah 613 mm yang selanjutnya disebut Variasi A, 538 mm yang selanjutnya disebut Variasi B, 468 mm yang selanjutnya disebut variasi C, 398 mm yang selanjutnya

disebut Variasi D, 328 mm yang selanjutnya disebut Variasi E, 257 mm yang selanjutnya disebut Variasi F. Variasi bracket dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan setengah bagian dari pondasi mesin untuk mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk proses *running*. Penulis memodelkan bentuk pondasi mesin berdasarkan gambar penampang melintang kapal dengan mengasumsikan jarak antar *bracket* sebesar 600 mm.

F. Konvergensi

Uji konvergensi dilakukan untuk mengetahui apakah hasil simulasi sudah mendekati hasil yang sebenarnya. Uji konvergensi dikatakan berhasil apabila *error* dari hasil perhitungan akibat perubahan ukuran *mesh* < 2%. Meshing dilakukan mulai dari ukuran 0.05 mm sampai terkecil. Gambar 3 menunjukkan hasil konvergensi pada Variasi A. Hasil uji konvergensi menunjukkan bahwa model sudah konvergen pada ukuran *mesh* 0.08 mm. Contoh grafik uji konvergensi pada variasi A dapat dilihat pada Gambar 4.

G. Solution

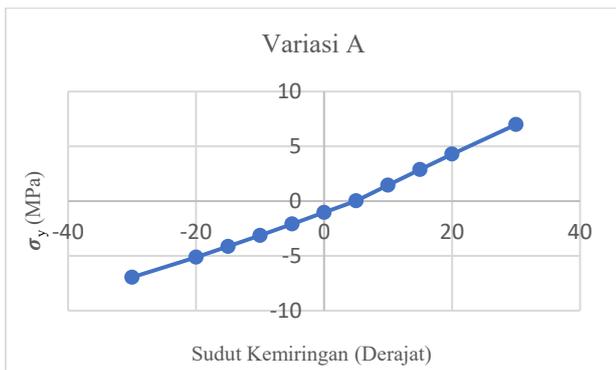
Setelah dilakukan pemodelan, dilakukan pembacaan tegangan dengan menggunakan *finite element software*. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan dengan mempertimbangkan sudut kemiringan pondasi mesin akibat gerak *rolling* kapal. Sudut kemiringan yang digunakan adalah 0^o, 5^o, 10^o, 15^o, 20^o, dan 30^o.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

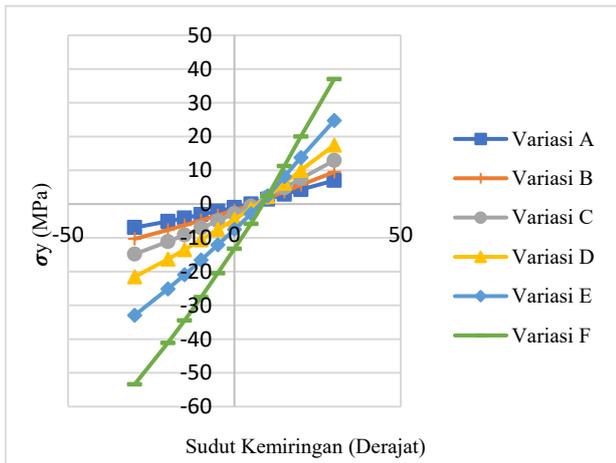
A. Analisis Tegangan Von Mises

Setelah dilakukan simulasi perhitungan menggunakan *finite element software*, maka akan didapatkan hasil seperti pada Gambar 5.

Untuk memastikan hasil tegangan maksimum yang terbaca berada pada *part bracket*, maka dilakukan pemilihan batasan *part* yang ditinjau dengan membuat *display group*. Berikut adalah hasil setelah dilakukan pengaturan *display group*:



Gambar 10. Kurva Tegangan Normal Variasi A.



Gambar 11. Kurva Nilai Tegangan Normal Akibat Gerak Rolling Kapal.

Hasil pembacaan tegangan variasi A (Port Side) dapat dilihat pada Gambar 6.

Model di-*running* pada setiap variasi kemiringan, kemudian hasil tegangan disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 7. Perlakuan tersebut diberikan pada tiap variasi sehingga didapatkan hasil tegangan tiap variasi yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 8.

Nilai tegangan paling tinggi terjadi pada Variasi F yaitu 61.99 MPa dengan sudut kemiringan 30 derajat, sedangkan nilai tegangan paling rendah juga terjadi pada Variasi F yaitu sebesar 35.62 MPa dengan sudut kemiringan 0 derajat. Nilai tegangan tersebut masih memenuhi tegangan ijin yaitu sebesar 209.09 Mpa.

B. Analisis Tegangan Normal

Untuk memperkuat hasil analisa, maka dilakukan juga pengujian untuk melihat nilai tegangan normal pada sumbu Y. Hal ini bertujuan untuk melihat apakah bracket mengalami tegangan tarik atau tekan. Untuk itu perlu dilakukan peninjauan terhadap elemen pada bracket yang mengalami tegangan terbesar. Tegangan normal sumbu Y variasi A dapat dilihat pada Gambar 9.

Hasil pembacaan tegangan normal pada Variasi A ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 10. Perlakuan tersebut diberikan pada tiap variasi sehingga didapatkan hasil tegangan tiap variasi yang disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 11.

Pada analisa ini, dilakukan perbandingan perubahan nilai tegangan normal yang bekerja pada sumbu-Y saja untuk melihat potensi perambatan retak pada *bracket*. *Bracket* diputar dari sudut -30° sampai 30° sesuai dengan batasan yang

Tabel 3.
Hasil Pembacaan Tegangan Normal Variasi A

Sudut Kemiringan (Derajat)	σ_y (MPa)
-30	-6.956
-20	-5.122
-15	-4.142
-10	-3.132
-5	-2.097
0	-1.04
5	0.01793
10	1.452
15	2.88
20	4.286
30	6.989

Tabel 4.
Perbandingan Perubahan Nilai Tegangan Normal

Variasi	σ_y min (MPa)	σ_y max (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)
A	-6.956	6.989	13.945
B	-10.3	9.5	19.8
C	-14.84	12.9	27.74
D	-21.57	17.46	39.03
E	-32.94	24.72	57.66
F	-53.39	37.01	90.4

diuji. Perubahan nilai tegangan normal paling tinggi terjadi pada Variasi F yaitu sebesar 90.4 MPa.

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan simulasi perhitungan menggunakan finite element software dari 6 variasi ukuran bracket yaitu Variasi A, Variasi B, Variasi C, Variasi D, Variasi E, Variasi F dan 6 variasi sudut kemiringan yaitu 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 30°, maka kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut;(1)Pada kondisi tegak, semua tegangan yang dialami masih memenuhi persyaratan dari tegangan ijin. Nilai tegangan paling rendah terjadi pada Variasi F dengan nilai tegangan sebesar 35.62 Mpa sedangkan tegangan paling tinggi terjadi pada Variasi C yaitu sebesar 39.05 Mpa;(2)Jika bracket diberi variasi kemiringan sesuai dengan arah gerak rolling kapal, semua nilai tegangan yang dialami masih memenuhi persyaratan tegangan ijin dengan nilai tegangan paling tinggi terjadi pada Variasi F dengan sudut kemiringan 30° sebesar 61.99 Mpa;(3)Untuk menentukan bracket yang optimal, maka diperlukan fungsi tujuan yaitu berat dari konstruksi bracket. Dalam hal ini, berat dari konstruksi bracket dapat diwakilkan oleh ukuran dari kaki-kaki bracket. Dari data yang sudah didapatkan, dapat disimpulkan bahwa ukuran bracket yang optimal adalah bracket dengan Variasi F. Meskipun Variasi F akan mengalami peningkatan nilai tegangan pada sudut tertentu, besar tegangan yang terjadi tidak melebihi nilai dari tegangan ijin yang menjadi batasan utama dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Yuniarto and D. Hardianto, "Kekuatan Sruktur Bracket Yang Dilubangi pada Konstruksi Kapal," in *Prosiding Seminakel*, 2019, pp.

- 59–72.
- [2] F. A. Nugraha, H. Kirmi, B. Haryanto, and M. Afiffa, “Analisis penggunaan media tandan sawit dan kompos dengan sistem aerobic wetland dalam mengolah air asam tambang,” *SPECTA J. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 35–44, 2020.
- [3] S. Moaveni, *Finite Element Analysis : Theory and Application with ANSYS*, 3rd ed. Harlow: Prentice Hall, 2007.
- [4] O. F. Hughes, J. K. Paik, and D. Beeghi, *Ship Structural Analysis and Design*. Jersey City, N.J.: Society of Naval Architects and Marine Engineer, 2010.
- [5] B. K. Indonesia, *Rules for Hull. Rules for Classification and Construction*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia, 2019.
- [6] Sadeli Jokowiyono and Santoso Mulyadi, “Analisa tegangan von mises pada alat bantu jalan (walker),” *Anal. Tegangan Von Mises Pada Alat Bantu Jalan*, vol. 5, no. 2, pp. 34–41, 2012.
- [7] F. P. B. et Al, *Mechanics of Materials*. New York: McGraw-Hill/Connect Learn Succed, 2011.