

# Analisa SCF (*Stress Concentration Factor*) Menggunakan Pendekatan Numerik Pada Pelat dengan *Fillet* Asimetris Akibat Beban Tarik

Muhammad Dzaky Bestari, Dony Setyawan, dan Muhammad Nurul Misbach  
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: dony@na.its.ac.id

**Abstrak**—Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah yang mengalami perubahan bentuk yang sangat drastis atau diskontinuitas. Terdapat beberapa macam diskontinuitas pada material seperti *fillet*, *notch*, *hole*, dan lain lain. Dalam penelitian ini model pelat asimetris yang digunakan memiliki diskontinuitas yaitu *fillet*. Bentuk pelat *fillet* sering dijumpai pada bagian-bagian kapal seperti *bracket*, *Web Frame*, *Cantilever*, dan lain lain. Pada penelitian ini perhitungan nilai SCF menggunakan pendekatan numerik yang dilakukan menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Ukuran model pelat SS400 yang akan dianalisa yaitu 300mm x 60mm x 5mm. Jumlah model pada penelitian ini berjumlah 9 buah untuk 3 variasi H/h yaitu H/h=2, H/h=2.5, dan H/h=3. Masing – masing rasio H/h memiliki 3 variasi r/h yaitu sebesar r/h=0.4, r/h=0.6, dan r/h=0.8. Besar beban yang digunakan pada penelitian ini adalah 2700 N atau 2,7 KN untuk setiap model berdasarkan dari *yield stress material*. Tahapan konvergensi didapatkan pada ukuran mesh 0,75mm untuk setiap model. Nilai Faktor Konsentrasi tegangan pada pendekatan numerik untuk rasio H/h=2 adalah 1.427 pada radius 12 mm, 1.314 pada radius 18mm, dan 1.253 pada radius 24 mm. Nilai Faktor Konsentrasi tegangan pada pendekatan numerik untuk rasio H/h=2.5 adalah 1.436 pada radius 9.6mm, 1.325 pada radius 14.4mm, dan 1.253 pada radius 24 mm. Nilai Faktor Konsentrasi Tegangan pada pendekatan numerik untuk rasio H/h=3 adalah 1.434 pada radius 8 mm, 1.38 pada radius 12 mm, dan 1.27 pada radius 26 mm. Distribusi tegangan terbesar terdapat pada model rasio H/h=3 dengan radius 8 mm. pada rasio H/h yang sama, semakin besar rasio r/h maka nilai Faktor Konsentrasi Tegangannya semakin kecil. Pada rasio r/h yang sama, semakin besar rasio H/h maka nilai Faktor Konsentrasi Tegangannya semakin besar.

**Kata Kunci**—Metode Numerik, Pelat Asimetris dengan *Fillet*, *Stress Concentration Factor*.

## I. PENDAHULUAN

GEMOETRI benda akan sangat berpengaruh pada distribusi tegangan. Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah yang mengalami perubahan bentuk yang sangat drastis atau diskontinuitas sebuah material *hole*, *fillet radius*, dan *notch* merupakan beberapa contoh diskontinuitas yang menyebabkan tegangan terkonsentrasi pada daerah tersebut. Pada konstruksi kapal, *hatch* dan *bracket* merupakan konstruksi yang mempunyai *fillet*. Konsentrasi tegangan yang terjadi akibat *fillet* pada pelat perlu diketahui untuk menghindari initial crack yang lebih cepat pada material sehingga umur material jadi lebih panjang. Perhitungan Faktor Konsentrasi Tegangan dapat diketahui dengan menggunakan *finite elemen analysis*. *Stress Concentration Factor* atau Faktor konsentrasi Tegangan dapat diketahui dengan mencari nilai tegangan maksimal yang terjadi pada

material dan nilai tegangan nominalnya. Pada pelat dengan *fillet* yang simetri, distribusi tegangannya akan berbeda dengan pelat dengan *fillet* yang tidak simetri dikarenakan adanya *bending moment*.

## II. STUDI LITERATUR

### A. Tegangan

Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam *pound* atau *newton*, dan luas yang menahan dalam *inch<sup>2</sup>* atau *mm<sup>2</sup>* [1]. Akibatnya tegangan biasanya dinyatakan dalam *pound/inch<sup>2</sup>* yang sering disingkat *psi* atau *Newton/mm<sup>2</sup>* (MPa). Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja. Pada saat benda menerima beban sebesar P kg, maka benda akan bertambah panjang. Saat itu pada material bekerja tegangan (*engineering stress*).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dimana,  $\sigma$  adalah tegangan,  $F$  adalah beban yang diberikan, dan  $A$  adalah luas penampang mula-mula.

### B. Regangan

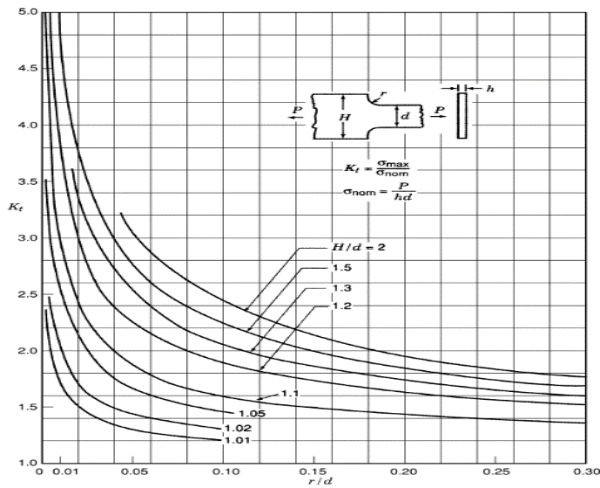
Regangan merupakan perubahan panjang material dibagi panjang awal akibat gaya tarik ataupun gaya tekan pada material [1]. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier dan akan berakhir sampai pada titik memanjang. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai batasan fase sifat plastis. Regangan dibedakan menjadi dua, yaitu: *engineering strain* dan *true strain*. *Engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal), sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

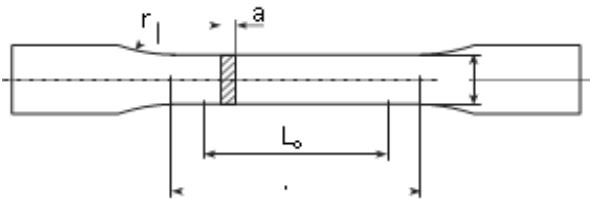
dimana, nilai  $\epsilon$  adalah *engineering strain*,  $\Delta L$  adalah perubahan panjang, dan  $L_0$  adalah panjang mula-mula.

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang di peroleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (*gage length*) benda uji,  $L$  dengan panjang awal  $L_0$ .

$$\delta = \frac{(L - L_0)}{L_0}$$



Gambar 1. SCF pelat dengan *fillet* pengujian tarik.



Gambar 2. Spesimen uji SS400.

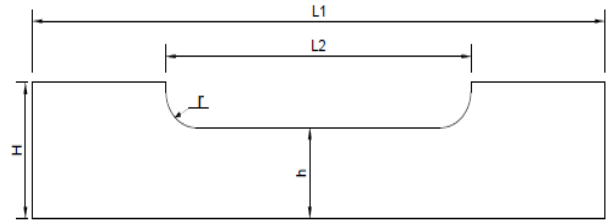
Dimana,  $L$  adalah panjang akhir, dan  $L_0$  adalah panjang awal. Jika sebuah material diberi beban dan mengalami regangan tetapi bila beban dihilangkan material tersebut kembali ke bentuk semula maka hal ini dikatakan elastis. Elastisitas ini berada di daerah elastis, sebelum titik luluh (*yield point*). Selama material masih berada di daerah elastis, jika beban dihilangkan maka material akan kembali ke bentuk semula.

C. Metode Elemen Hingga

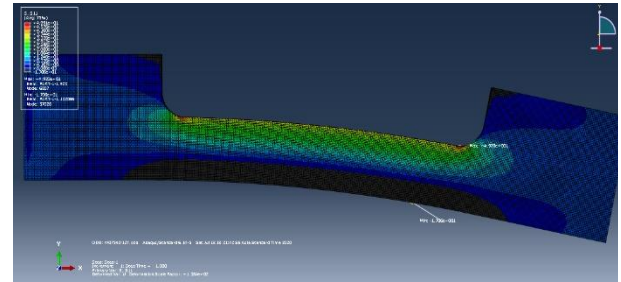
Dalam menganalisis perilaku struktur dapat dilakukan menggunakan dua metode yaitu dengan metode numerik dan eksperimen [2]. Analisis numerik dapat menggunakan pemodelan perhitungan matematik, pemodelan analitik dan pendekatan rumus empiris. Pemodelan perhitungan matematik untuk penyelesaian pada masalah teknik jarang untuk mendapatkan hasil yang analitik. Penyelesaian dengan menggunakan model matematik masih menghasilkan matematik yang rumit dapat mengakibatkan kondisi batas, dan sifat material. Metode elemen hingga dipergunakan sebagai solusi pendekatan yang dapat mengatasi persoalan-persoalan mekanika dengan geometri maupun pembebanan yang kompleks. Maka dari itu pemodelan numerik merupakan solusi untuk digunakan menganalisa hasil yang lebih akurat. Untuk kasus-kasus yang rumit digunakan *numerical modelling finite elements analysis* atau metode elemen hingga. Prinsip dasarnya yaitu memperlakukan suatu sistem sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil yang disebut dengan *finite element*. Antar elemen digabungkan melalui titik-titik yang disebut nodes atau nodal point [3].

D. Faktor Konsentrasi Tegangan

Setiap diskontinuitas fisik dalam bagian struktur atau perubahan tiba-tiba dalam bentuk geometri menyebabkan konsentrasi tegangan pada bagian tersebut. Perubahan tiba-tiba pada penampang melintang menyebabkan garis aliran



Gambar 3. Desain material.



Gambar 4. Hasil dari *software* berbasis elemen hingga.

Tabel 1. *Mechanical properties* SS400

Property	Value	Units
Elastic Modulus	210000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0,26	N/A
Density	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Yield Strength	295	N/mm <sup>2</sup>

tegangannya akan semakin besar berpengaruh pada nilai konsentrasi tegangan. Untuk mengurangi fenomena ini dapat dilakukan perubahan pada bagian *fillet* agar aliran garis dibagian tersebut menjadi stabil sehingga menyebabkan konsentrasi tegangan yang lebih rendah.

$$K = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{ref}}$$

Dimana, SCF adalah nilai Faktor Konsentrasi Tegangan,  $\sigma_{maks}$  adalah tegangan maksimal, dan  $\sigma_{ref}$  adalah tegangan referensi. Tegangan referensi atau tegangan nominal adalah tegangan total dalam suatu unsur dibawah kondisi pembebanan yang sama tanpa tegangan konsentrasi yang berarti tegangan pada material dimana material bebas dari lubang, potongan, takik atau lintasan sempit.

Faktor konsentrasi tegangan teoritis adalah fungsi dari geometri komponen dan pembebanan, ekspresi analitik untuk Faktor Konsentrasi Tegangan [4]. Faktor konsentrasi tegangan untuk pelat dengan *fillet* ditunjukkan sebagai fungsi rasio radius terhadap lebar,  $r/d$  pada Gambar 1.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data bertujuan untuk memperoleh data pokok atau data sekunder yang berhubungan dengan kondisi yang dibahas dalam penelitian ini. *Material properties* yang digunakan baja grade KI-D JIS3101 SS400 adalah modulus elastisitas sebesar 210000 N/mm<sup>2</sup>, tegangan luluh sebesar 295 N/mm<sup>2</sup>, rasio poisson sebesar 0,26 N/A, dan massa jenis baja sebesar 7850 Kg/m<sup>3</sup> seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 [5].

Tabel 2.  
Hasil pengujian tarik material SS400  
Report on Test JIS G3101SS400

No.	Specification Sample		Tensile Test Results				
	Width (mm)	Thickness (mm)	CSA (mm <sup>2</sup> )	Yield Stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
1	25,35	6	152,1	282,7	335,3	37,94	72,93
2	25,30	6	151,8	296,4	335,9	37,77	72,62
3	25,15	6	150,9	304,8	337,9	32,99	77,87
	Average		151,6	294,6	336,4	36,24	74,47

### B. Pengujian Material

Tahap pengujian tarik material SS400 bertujuan untuk memperoleh besar gaya yang diperlukan material mencapai batas *yield strength* sehingga dalam pemodelan mengetahui gaya material dalam kondisi plastis. Tes spesimen menggunakan standar BKI vol V tahun 2014. Gambar 2 merupakan model spesimen dari SS400 [5].

Tabel 2 merupakan hasil dari pengujian tarik material SS400, dari pengujian tarik ini akan dijadikan patokan dalam mendefinisikan besar beban yang digunakan sehingga distribusi tegangan yang terjadi tidak melebihi nilai dari *yield stress material*. Input beban yang digunakan pada analisa numerik sebesar 2700 N atau 2,7 KN dimana pendefinisian besar beban ini didasarkan pada nilai *yield stress* yang didapatkan pada Tabel 2.

### C. Pemodelan

Pelat yang digunakan berukuran L1=300 mm, L2=160 mm lebar *grip* (H) 60mm, dan tebal 5 mm dengan 3 variasi H/h sebesar H/h=2, H/h=2.5, dan H/h=3. Masing-masing dari variasi H/h mempunyai 3 variasi r/h sebesar r/h=0.4, r/h=0.6, dan r/h=0.8 sehingga jumlah total model uji adalah 9 buah (Gambar 3).

### D. Konvergensi

Tahapan ini dilakukan untuk memverifikasi tegangan yang terjadi pada model dengan melakukan optimasi *meshing* pada *software* untuk mendapatkan nilai tegangan yang konstan pada ukuran *meshing* optimal untuk analisis selanjutnya. Rekapitulasi hasil konvergensi pada setiap model dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil konvergensi yang dilakukan pada setiap model didapatkan pada ukuran *meshing* 0.75 mm seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3. dimana proses konvergensi dimulai pada ukuran *meshing* sampai dengan ukuran mesh 0.75 mm.

### E. Analisis Tegangan

Berdasarkan hasil *running* dari tiap-tiap model yang telah dilakukan konvergensi didapatkan hasil nilai tegangan berikut pada tiap-tiap model, tegangan yang diperoleh akan direkap untuk dibandingkan dengan tegangan hasil perhitungan dan pengujian material. Tegangan yang dihasilkan untuk analisis ini untuk menjawab rumusan masalah untuk menentukan konsentrasi tegangan.

Tegangan yang digunakan untuk analisis tegangan pada material yang mengalami diskontinuitas (*Fillet*) dengan menggunakan beban sebesar 2,7 KN yang digunakan untuk pengujian. Tegangan maksimal yang dihasilkan akan dibagi dengan tegangan nominal dari perhitungan matematis untuk

mendapatkan nilai SCF (*Stress Concentration Factor*) pada material.

## IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### A. Analisis Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan tahap-tahap yang telah dijelaskan maka akan didapatkan hasil berupa tegangan pada setiap model. Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan von mises, tegangan arah sumbu Y dan tegangan arah sumbu X. Hasil tersebut berupa tegangan maksimal yang akan digunakan untuk mengetahui perhitungan *stress concentration factor*. Berikut ini adalah hasil tegangan arah sumbu X yang searah dengan gaya pengujian tarik setiap model.

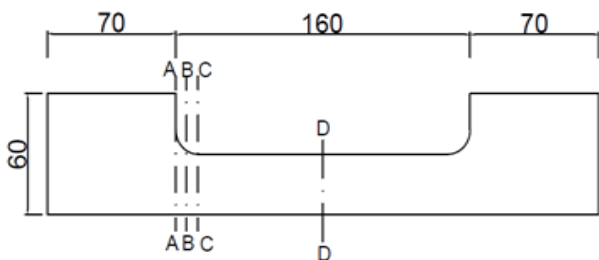
Gambar 4 merupakan hasil dari simulasi uji tarik menggunakan *software* berbasis elemen hingga dengan tegangan arah sumbu X maksimum pada model 1. Distribusi tegangan yang terjadi pada model tersebut dapat dibedakan dengan warna merah merupakan tegangan tertinggi dan biru tua merupakan tegangan terendah. Sedangkan warna hitam adalah nilai tegangan yang bernilai negatif atau beralawan arah beban.

### B. Distribusi Tegangan pada Penampang Melintang Model

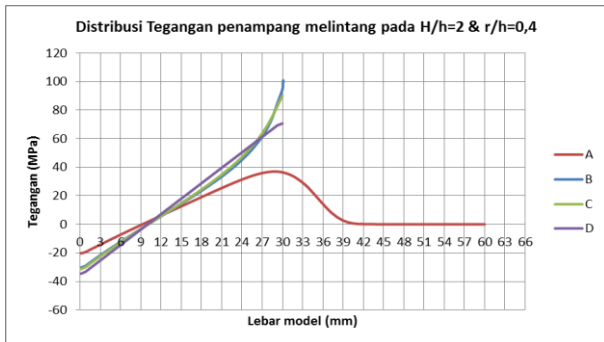
Berdasarkan hasil dari pendekatan metode numerik yang dilakukan pada analisis hasil dan pembahasan, maka dapat ditampilkan distribusi tegangan dalam bentuk sebuah grafik. Sumbu-y dari grafik ini adalah nilai tegangan yang terjadi dalam satuan MegaPascal (MPa) dan sumbu-x dari grafik ini adalah lebar model mulai dari bagian bawah ( $sb-x=0$ ) sampai bagian atas model dalam arah vertikal. Grafik yang disajikan memiliki 4 grafik untuk masing-masing model seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 adalah letak perpotongan dalam arah vertikal model yang akan dilihat distribusi tegangannya. Potongan A terletak pada 70 mm dari ujung model, potongan B terletak sejajar (dalam arah vertikal) dengan titik tegangan maksimum, potongan C adalah daerah lebar model sama dengan h yang paling dekat dengan *fillet radius*, dan potongan D terletak pada tengah model atau 150 mm dari ujung model.

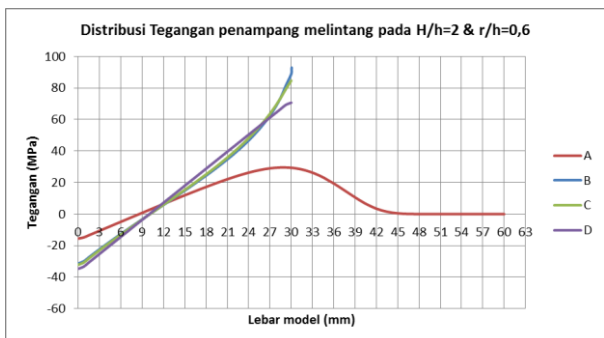
Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 merupakan grafik distribusi tegangan yang terjadi pada rasio H/h=2 untuk r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8. Terlihat bahwa distribusi tegangan yang terjadi pada potongan B dan C mempunyai tren grafik yang relatif sama untuk setiap model H/h=2 dimana grafik dimulai dengan nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) pada sumbu-x=0. Kemudian grafik naik membentuk sebuah lengkungan hingga mencapai titik tegangan maksimal. Nilai sumbu-y tertinggi pada potongan B



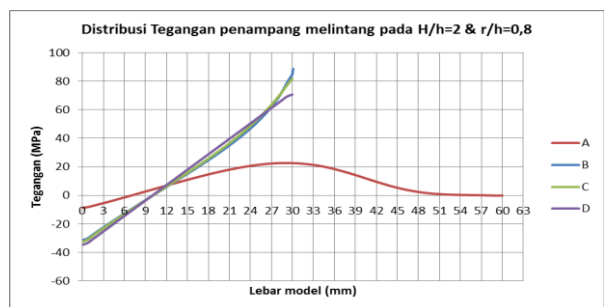
Gambar 5. Letak potongan A, B, C, dan D.



Gambar 6. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio  $H/h=2$  dan  $r/h=0,4$ .

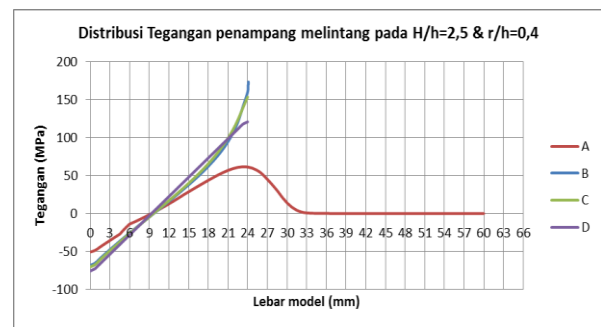


Gambar 7. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio  $H/h=2$  dan  $r/h=0,6$ .

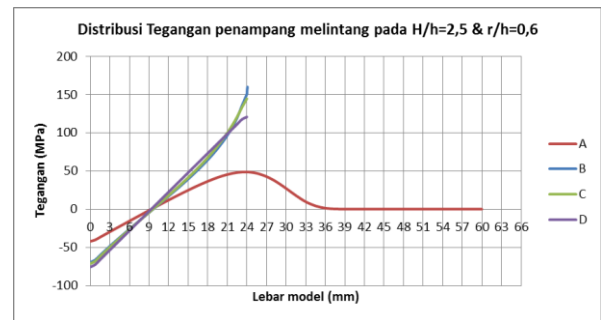


Gambar 8. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio  $H/h=2$  dan  $r/h=0,8$ .

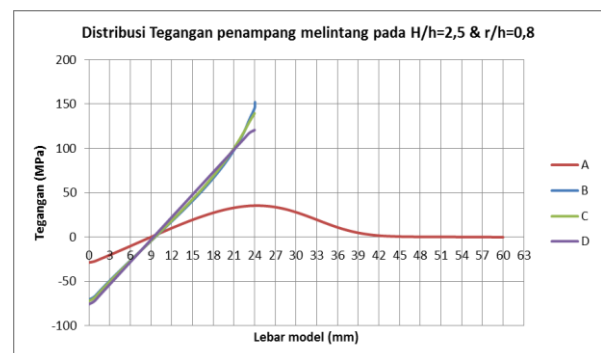
merupakan nilai tegangan arah maksimal yang terjadi pada setiap model  $H/h=2$ . Distribusi tegangan pada potongan A dimulai pada nilai tegangan bertanda minus untuk masing-masing model  $H/h=2$  (Gambar 8). Kemudian grafik naik membentuk sebuah bukit dan turun hingga mencapai nilai sumbu-y sama dengan nol. Puncak bukit pada potongan A untuk  $r/h=0,4$ ,  $r/h=0,6$ , dan  $r/h=0,8$  berada pada titik yang sama terhadap sumbu-x yaitu sumbu-x sama dengan 30 mm. Sedangkan nilai tegangan pada puncak bukit memiliki nilai tegangan yang berbeda yaitu sebesar 36,9 MPa untuk  $r/h=0,4$ , 29,6 MPa untuk  $r/h=0,6$ , dan 22,7 MPa untuk  $r/h=0,8$ . Nilai tegangan sama dengan nol pada potongan A dimulai pada sumbu-x sebesar 40 mm untuk  $r/h=0,4$ , pada sumbu-x sebesar 45 mm untuk  $r/h=0,6$ , dan pada sumbu-x sebesar 51 mm pada



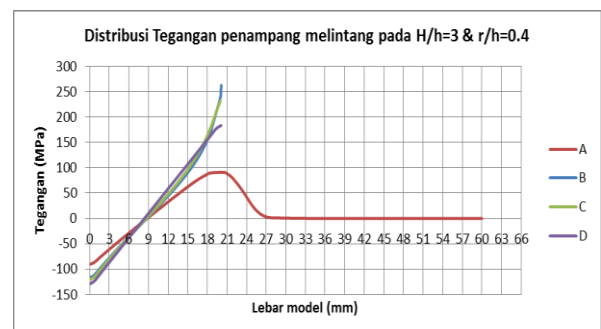
Gambar 9. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio  $H/h=2,5$  dan  $r/h=0,4$ .



Gambar 10. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio  $H/h=2,5$  dan  $r/h=0,6$ .



Gambar 11. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio  $H/h=2,5$  dan  $r/h=0,8$ .



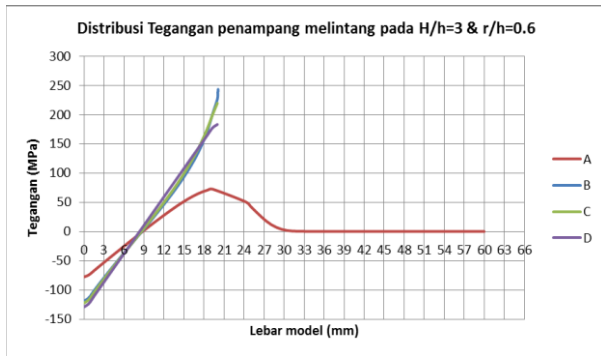
Gambar 12. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio  $H/h=3$  dan  $r/h=0,4$ .

$r/h=0,8$ . Distribusi tegangan pada potongan D mempunyai nilai yang identik sama untuk ketiga rasio  $r/h$  pada model  $H/h=2$ . Grafik pada potongan D membentuk sebuah garis lurus (linier) yang dimulai dengan nilai tegangan bertanda minus dan naik secara konstan hingga mencapai titik tertentu. Dari keempat potongan, nilai tegangan berlawanan arah terbesar berada pada potongan D dengan nilai -34,68 MPa. titik tertinggi pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal pada model  $H/h=2$  yaitu sebesar 70,684 MPa.

Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 merupakan grafik distribusi tegangan yang terjadi pada rasio  $H/h=2,5$  untuk

Tabel 3.  
Konvergensi model

No.	H/h	r/h	Stress (MPa)	Ukuran Meshing (mm)
1	2	0,4	100,890	0,75
2	2	0,6	92,926	0,75
3	2	0,8	88,607	0,75
4	2,5	0,4	173,291	0,75
5	2,5	0,6	159,924	0,75
6	2,5	0,8	152,200	0,75
7	3	0,4	262,676	0,75
8	3	0,6	243,296	0,75
9	3	0,8	232,536	0,75

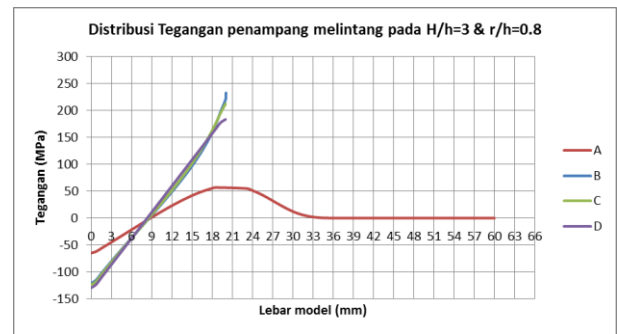


Gambar 13. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio H/h=3 dan r/h=0,6.

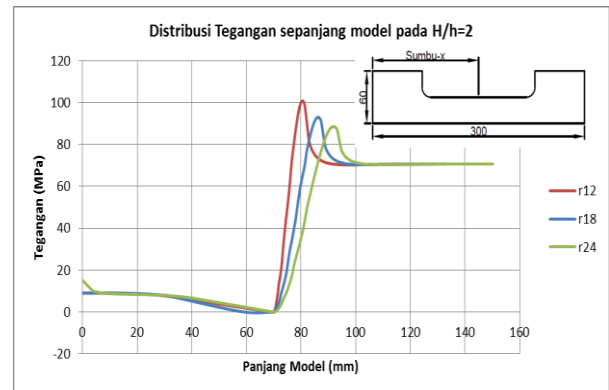
r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8. Terlihat bahwa distribusi tegangan yang terjadi pada potongan B dan C mempunyai tren grafik yang relatif sama untuk setiap model H/h=2,5 dimana grafik dimulai dengan nilai tegangan bertanda minus pada sumbu-x=0. Grafik naik membentuk sebuah lengkungan hingga mencapai titik tegangan maksimal. Nilai sumbu-y tertinggi pada potongan B merupakan nilai tegangan arah maksimal yang terjadi pada setiap model H/h=2,5. Distribusi tegangan pada potongan A dimulai pada nilai tegangan bertanda minus untuk masing-masing model H/h=2,5. Puncak bukit pada potongan A untuk r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8 berada pada titik yang sama terhadap sumbu-x yaitu sumbu-x sama dengan 24 mm. Sedangkan nilai tegangan Pada puncak bukit memiliki nilai tegangan yang berbeda yaitu sebesar 61,6 MPa untuk r/h=0,4, 48,6 MPa untuk r/h=0,6, dan 35,4 MPa untuk r/h=0,8. Nilai tegangan sama dengan nol pada potongan A dimulai pada sumbu-x sebesar 32 mm untuk r/h=0,4, pada sumbu-x sebesar 36 mm untuk r/h=0,6, dan pada sumbu-x sebesar 43 mm pada r/h=0,8.

Distribusi tegangan pada potongan D mempunyai nilai yang identik sama untuk ketiga rasio r/h pada model H/h=2,5. Grafik pada potongan D membentuk sebuah garis lurus (linier) yang dimulai dengan nilai tegangan bertanda minus dan naik secara konstan hingga mencapai titik tertentu. Dari keempat potongan, nilai tegangan berlawanan arah terbesar berada pada potongan D dengan nilai -75,681 MPa. titik tertinggi pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal pada model H/h=2 yaitu sebesar 120,681 MPa.

Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14 merupakan grafik distribusi tegangan yang terjadi pada rasio H/h=3 untuk r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8. Terlihat bahwa distribusi tegangan yang terjadi pada potongan B dan C mempunyai tren grafik yang relatif sama untuk setiap model H/h=3 dimana grafik dimulai dengan nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) pada sumbu-x=0. Kemudian grafik naik membentuk sebuah lengkungan hingga mencapai titik



Gambar 14. Distribusi tegangan penampang melintang pada rasio H/h=3 dan r/h=0,8.

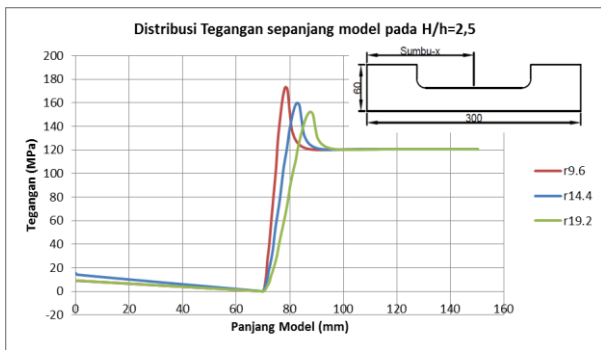


Gambar 15. Grafik distribusi tegangan sepanjang bagian atas model H/h=2.

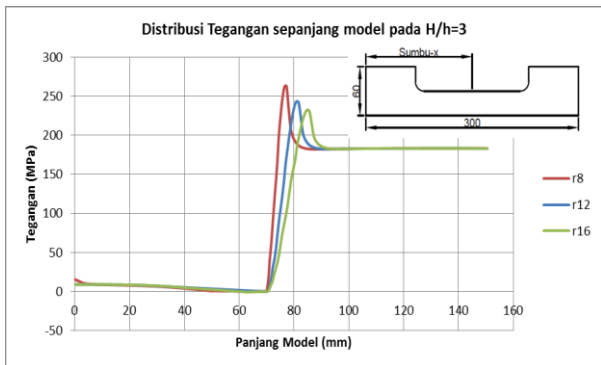
tegangan maksimal. Nilai sumbu-y tertinggi pada potongan B merupakan nilai tegangan arah maksimal yang terjadi pada setiap model H/h=3. Distribusi tegangan pada potongan A dimulai pada nilai tegangan bertanda minus untuk masing-masing model H/h=3. Kemudian grafik naik membentuk sebuah bukit dan turun hingga mencapai nilai sumbu-y sama dengan nol. Puncak bukit pada potongan A untuk r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8 berada pada titik yang sama terhadap sumbu-x yaitu sumbu-x sama dengan 20 mm. Sedangkan nilai tegangan Pada puncak bukit memiliki nilai tegangan yang berbeda yaitu sebesar 90,8 MPa untuk r/h=0,4, 72,6 MPa untuk r/h=0,6, dan 56,8 MPa untuk r/h=0,8. Nilai tegangan sama dengan nol pada potongan A dimulai pada sumbu-x sebesar 28 mm untuk r/h=0,4, pada sumbu-x sebesar 30 mm untuk r/h=0,6, dan pada sumbu-x sebesar 33 mm pada r/h=0,8.

Distribusi tegangan pada potongan D mempunyai nilai yang identik sama untuk ketiga rasio r/h pada model H/h=3. Grafik pada potongan D membentuk sebuah garis lurus (linier) yang dimulai dengan nilai tegangan bertanda minus dan naik secara konstan hingga mencapai titik tertentu. Dari keempat potongan, nilai tegangan berlawanan arah terbesar berada pada potongan D dengan nilai -129,213 MPa. titik tertinggi pada potongan D merupakan nilai tegangan nominal pada model H/h=2 yaitu sebesar 183,213 MPa.

Distribusi tegangan yang terjadi pada melintang model H/h=3 secara keseluruhan lebih besar dibandingkan dengan model H/h=2 dan H/h=2,5. Tren grafik antara potongan A, potongan B, potongan C, dan potongan D selalu dimulai pada nilai tegangan bertanda minus (berlawanan arah beban) untuk semua model atau dapat dikatakan bahwa sepanjang model, distribusi tegangan yang terjadi pada bagian bawah model mempunyai nilai tegangan berlawanan arah beban.



Gambar 16. Grafik distribusi tegangan sepanjang bagian atas model H/h=2.5.

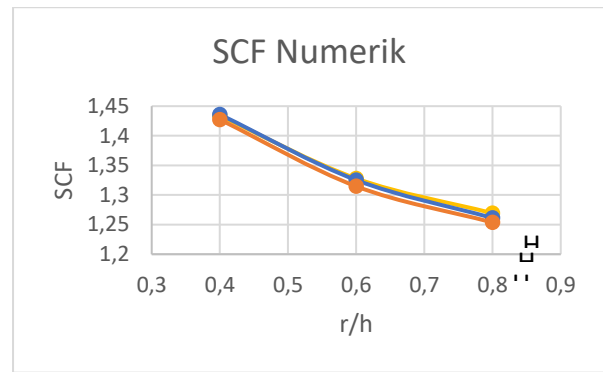


Gambar 17. Grafik distribusi tegangan sepanjang bagian atas model H/h=3.

C. Distribusi Tegangan Sepanjang Model

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dengan metode numerik, maka dapat ditampilkan penyebaran tegangan yang terjadi sepanjang model dalam bentuk sebuah grafik. Distribusi tegangan yang akan ditampilkan berada pada bagian atas sepanjang model. Distribusi tegangan yang ditampilkan hanya setengah dari panjang model dikarenakan bentuk model yang sama antara sisi kanan dan sisi kiri. Sumbu-x dari grafik ini adalah setengah dari panjang model dalam satuan milimeter (mm) atau sepanjang 150 mm dari ujung sisi model. Sumbu-y pada grafik ini adalah besarnya Tegangan dalam satuan MegaPascal (MPa). Nilai sumbu-x=0 pada grafik yang akan disajikan berada pada ujung sisi model.

Gambar 15 adalah distribusi tegangan yang terjadi sepanjang model H/h=2. Penyajian tegangan hanya setengah dari panjang model keseluruhan yaitu 150 mm dari ujung lebar grip dikarenakan bentuk yang sama antara sisi kanan dan sisi kiri pada model yang didesain. Terlihat pada Gambar 15 bahwa tren grafik antara radius fillet 12 mm, 18 mm, dan 24 mm mempunyai nilai yang relatif sama mulai dari sumbu-x= 0 mm sampai dengan sumbu-x= 70 mm. Titik ini merupakan perubahan lebar grip pada model. Dari titik ini, distribus tegangan naik sampai pada nilai sumbu-y tertinggi pada masing-masing model. Terlihat bahwa tren grafik pada radius 12 mm mempunyai kenaikan yang paling tajam dibandingkan dengan radius 18 mm dan radius 24 mm. Terlihat juga bahwa nilai tegangan tertinggi terhadap sumbu-x dan sumbu-y mempunyai titik yang berbeda untuk masing-masing model. Hal ini dikarenakan perbedaan *radius fillet* pada masing-masing model. Dari titik tegangan tertinggi, tren grafiknya mulai turun hingga mencapai nilai tegangan yang konstan. Nilai tegangan yang konstan ini merupakan tegangan nominal pada masing-masing model. Dapat dilihat



Gambar 18. Grafik perbandingan nilai SCF terhadap r/h untuk setiap rasio H/h.

bahwa tegangan nominal sepanjang bagian atas untuk r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8 mempunyai nilai yang identik sama yaitu 70,684 MPa.

Gambar 16 adalah distribusi tegangan yang terjadi sepanjang model H/h=2,5. Penyajian tegangan hanya setengah dari panjang model keseluruhan yaitu 150mm dari ujung lebar grip dikarenakan bentuk yang sama antara sisi kanan dan sisi kiri pada model yang didesain. Terlihat pada Gambar 16 bahwa tren grafik antara radius fillet 9,6 mm, 14,4 mm, dan 19,6 mm mempunyai nilai yang relatif sama mulai dari sumbu-x= 0mm sampai dengan sumbu-x= 70 mm. Titik ini merupakan perubahan lebar grip pada model. Dari titik ini, distribus tegangan naik sampai pada nilai sumbu-y tertinggi pada masing-masing model. Terlihat bahwa tren grafik pada radius 9,6 mm mempunyai kenaikan yang paling tajam dibandingkan dengan radius 14,4 mm dan radius 19,2 mm. Terlihat juga bahwa nilai tegangan tertinggi terhadap sumbu-x dan sumbu-y mempunyai titik yang berbeda untuk masing-masing model. Hal ini dikarenakan perbedaan radius fillet pada masing-masing model. Dari titik tegangan tertinggi, tren grafiknya mulai turun hingga mencapai nilai tegangan yang konstan. Nilai tegangan yang konstan ini merupakan tegangan nominal pada masing-masing model. Dapat dilihat bahwa tegangan nominal sepanjang bagian atas untuk r/h=0,4, r/h=0,6, dan r/h=0,8 mempunyai nilai yang identik sama yaitu 120,681MPa.

Gambar 18 adalah distribusi tegangan yang terjadi sepanjang model H/h=3. Penyajian tegangan hanya setengah dari panjang model keseluruhan yaitu 150mm dari ujung lebar grip dikarenakan bentuk yang sama antara sisi kanan dan sisi kiri pada model yang didesain. Terlihat pada Gambar 18 bahwa tren grafik antara radius fillet 8mm, 12mm, dan 16mm mempunyai nilai yang relatif sama mulai dari sumbu-x= 0mm sampai dengan sumbu-x= 70 mm. Titik ini merupakan perubahan lebar grip pada model. Dari titik ini, distribusi tegangan naik sampai pada nilai sumbu-y tertinggi pada masing-masing model. Terlihat bahwa tren grafik pada radius 8mm mempunyai kenaikan yang paling tajam dibandingkan dengan radius 12mm dan radius 16mm. Terlihat juga bahwa nilai tegangan tertinggi terhadap sumbu-x dan sumbu-y mempunyai titik yang berbeda untuk masing-masing model. Hal ini dikarenakan perbedaan radius fillet pada masing-masing model. Dari titik tegangan tertinggi, tren grafiknya mulai turun hingga mencapai nilai tegangan yang konstan. Nilai tegangan yang konstan ini merupakan tegangan nominal pada masing-masing model. Dapat dilihat

Tabel 4.

Hasil perhitungan faktor konsentrasi tegangan dengan metode numerik					
H/h	r/h	S <sub>max</sub> (MPa)	(S <sub>b-x</sub> ) (MPa)	S Max (MPa)	S nominal (MPa)
2	0,4	100,89		102,36	70,6837
	0,6	92,926		93,9796	70,6841
	0,8	88,61		89,3434	70,6841
2,5	0,4	173,291		176,396	120,681
	0,6	159,924		161,16	120,681
	0,8	152,2		153,32	120,682
3	0,4	262,676		269,122	183,213
	0,6	243,30		246,555	183,213
	0,8	232,54		233,734	183,213

bahwa tegangan nominal sepanjang bagian atas untuk  $r/h=0,4$ ,  $r/h=0,6$ , dan  $r/h=0,8$  mempunyai nilai yang identik sama yaitu 183,213 MPa. Dari hasil distribusi tegangan sepanjang model di atas dapat dilihat bahwa distribusi tegangan tertinggi berada pada rasio  $H/h=3$  untuk  $r/h$  yang sama. Sedangkan untuk  $H/h$  yang sama, distribusi tegangan tertinggi berada pada rasio  $r/h=0,4$ . Dari Sembilan model, dapat dilihat bahwa distribusi tegangan sepanjang model tertinggi berada pada model  $H/h=3$  dengan  $r/h=0,4$  atau radius fillet 8 mm. Tren grafik yang paling curam kenaikan tegangannya berada pada  $r/h=0,4$  kemudian  $r/h=0,6$  dengan kenaikan tegangan yang lebih landai, dan  $r/h=0,8$  yang kenaikan tegangannya paling landai. Adapun tegangan pada bagian atas sepanjang model dapat dikatakan sama untuk rasio  $H/h$  yang sama.

#### D. Faktor Konsentrasi Tegangan Pendekatan Numerik

Setelah tegangan maksimal dan tegangan nominal didapatkan melalui permodelan menggunakan metode numerik, maka data tersebut digunakan untuk menghitung Faktor Konsentrasi Tegangan. Hasil dari perhitungan numerik dapat berupa tegangan arah ataupun tegangan mises seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan nilai tegangan maksimal maupun tegangan nominal yang dihasilkan pada beban 2000 N atau 2,7 KN tidak melebihi nilai dari *yield stress material* sehingga Faktor Konsentrasi Tegangan dapat dianalisa pada beban ini. Terlihat juga bahwa terdapat perbedaan antara tegangan maksimal yang dihasilkan antara tegangan arah sumbu-x dan tegangan mises memiliki sedikit perbedaan nilai. Perbedaan nilai terbesar berada pada rasio  $H/h=3$  dengan  $r/h=0,4$  yaitu sebesar 6,446 MPa. perbedaan nilai terkecil antara tegangan maksimal yang didapatkan berada pada rasio  $H/h=2$  dengan  $r/h=0,8$  yaitu sebesar 0,7334 MPa. Dari Tabel 4 dapat dilihat juga bahwa nilai tegangan nominal mempunyai nilai yang dapat dikatakan sama pada  $r/h=0,4$ ,  $r/h=0,6$ , dan  $r/h=0,8$  untuk  $H/h$  yang sama. Nilai tegangan nominal pada  $H/h=2$  yaitu 70,68 MPa, pada  $H/h=2,5$  sebesar 120,68 MPa, dan pada  $H/h=3$  sebesar 183,21 MPa.

Gambar 17 menunjukkan grafik rasio  $H/h$  dimana sumbu-y dari grafik ini adalah nilai Faktor Konsentrasi Tegangan dan sumbu-x dari grafik ini adalah rasio perbandingan antara radius fillet terhadap lebar model ( $r/h$ ). Dari ketiga grafik diatas dapat dilihat bahwa untuk rasio  $H/h$  yang sama maka nilai Faktor Konsentrasi Tegangan Terbesar berada pada  $r/h=0,4$  dan nilai Faktor Konsentrasi Tegangan terkecil berada pada  $r/h=0,8$ . Terlihat pada Gambar 17 bahwa secara umum nilai SCF terbesar berada pada rasio  $H/h=3$  dan  $r/h=0,4$  yang berarti bahwa semakin kecil *radius fillet*

Tabel 5.

Nilai faktor konsentrasi tegangan pada pendekatan numerik			
No.	H/h	r/h	SCF
1	2	0,4	1,427345
2	2	0,6	1,314666
3	2	0,8	1,253561
4	2,5	0,4	1,435943
5	2,5	0,6	1,32518
6	2,5	0,8	1,261166
7	3	0,4	1,433719
8	3	0,6	1,327941
9	3	0,8	1,269211

*material*, semakin besar nilai SCF-nya dan semakin besar perbandingan rasio lebar grip dan lebar model, semakin besar pula nilai SCF-nya (Tabel 5). Distribusi tegangan terbesar dari 9 model berada pada rasio  $H/h=3$  radius 8 mm yang menghasilkan tegangan maksimal arah sumbu-x sebesar 262.676 Mpa dan tegangan nominal arah sumbu-x sebesar 183.213 Mpa. Distribusi Tegangan terkecil dari 9 model berada pada rasio  $H/h=2$  radius 24 mm yang menghasilkan tegangan maksimal arah sumbu-x sebesar 88,61 MPa dan tegangan nominal arah sumbu-x sebesar 70,681 MPa. Sedangkan dari ketiga rasio  $H/h$  yaitu  $H/h=2$ ,  $H/h=2,5$ , dan  $H/h=3$  mempunyai tren grafik yang sama dimana nilai faktor konsentrasi tegangan yang terjadi mengalami penurunan seiring bertambahnya rasio radius fillet terhadap lebar model.

#### V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis oleh penulis dapat disimpulkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Dari hasil perhitungan numerik didapatkan nilai SCF pada rasio  $H/h=2$  yaitu 1.427 untuk  $r/h=0,4$ , 1.315 untuk  $r/h=0,6$ , dan 1.254 untuk  $r/h=0,8$ . Nilai SCF pada rasio  $H/h=2,5$  yaitu 1.436 untuk  $r/h=0,4$ , 1.325 untuk  $r/h=0,6$ , dan 1.261 untuk  $r/h=0,8$ . Nilai SCF pada rasio  $H/h=3$  yaitu 1.434 untuk  $r/h=0,4$ , 1.328 untuk  $r/h=0,6$ , dan 1.269 untuk  $r/h=0,8$ . (2) Dari hasil perhitungan pada pendekatan numerik menggunakan *software* berbasis elemen hingga dapat disimpulkan bahwa untuk rasio  $H/h$  yang sama, semakin besar rasio  $r/h$  maka semakin kecil Faktor Konsentrasi Tegangannya. (3) Dari Sembilan model, dapat dilihat bahwa distribusi tegangan sepanjang model tertinggi berada pada model  $H/h=3$  dengan  $r/h=0,4$  atau radius fillet 8 mm. Tren grafik yang paling curam kenaikan tegangannya berada pada  $r/h=0,4$  kemudian  $r/h=0,6$  dengan kenaikan tegangan yang lebih landai, dan  $r/h=0,8$  yang kenaikan tegangannya paling landai. Adapun tegangan pada bagian atas sepanjang model dapat dikatakan sama untuk rasio  $H/h$  yang sama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. P. Popov and Z. Astamar, *Mekanika Teknik (Mechanics of Material)*, 2nd ed. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1984.
- [2] D. L. Logan, *A First Course in The Finite Element Method*, 4th ed. United States of Amerika: CL Engineering, 2011.
- [3] H. E. Davis, G. E. Troxell, and C. T. W. (Author), *The Testing and Inspection of Engineering Materials*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1964.
- [4] W. D. Pilkey, D. F. Pilkey, and Z. Bi, *Peterson's Stress Concentration Factors*. John Wiley & Sons, 2020.
- [5] Biro Klasifikasi Indonesia, *Rules for the Classification and Construction of Seagoing Steel Ships*, 2nd ed. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia, 2006.