



ANALISIS TEGANGAN REGANGAN PADA PELAT *DECK* DAN *BOTTOM* KAPAL *FERRY RO-RO* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD*

Stress Strain Analysis on Deck and Bottom Plate of Ferry Ro-Ro Ship with Finite Element Method

Amalia Ika Wulandari^{1,a}, Alamsyah¹, dan Cindy Lionita Agusty¹

¹Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno-Hatta Km. 15, Balikpapan, Indonesia

e-mail: ^aamaliaikaw@lecturer.itk.ac.id

Diterima: 2 Juni 2021; Direvisi: 14 Juli 2021; Disetujui: 6 Agustus 2021

Abstrak

Tegangan regangan merupakan suatu hal yang krusial pada kekuatan kapal, hal ini menjadi penting sekali untuk mengetahui beban maksimal yang bisa diterima oleh kapal karena antara kedua hal tersebut saling berkaitan, alasan keselamatan juga menjadi satu hal mengapa tegangan regangan patut untuk diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan regangan maksimum kapal (pada pelat geladak dan alas) dengan variasi ketebalan pelat AH36 100%, 90%, 80%, dan 60%, menggunakan metode yakni metode elemen hingga. Hasil penelitian didapatkan nilai tegangan maksimum pada ketebalan 100% yaitu 312,539 N/mm² dengan beban merata terhadap pelat sebesar 3 x 10¹² ton dengan ukuran sebesar 3 meter didapatkan regangan maksimum yang dihasilkan yaitu 1,48 x 10⁻³, untuk ketebalan 90% dihasilkan tegangan maksimum sebesar 353,47 N/mm² dan regangan maksimum yang dihasilkan yaitu 1,68 x 10⁻³, ketebalan 80% tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 617,78 N/mm² dengan regangan maksimum yang dihasilkan yaitu 0,29 x 10⁻³, ketebalan 60% tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar 820,03 N/mm² dengan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu 0,39 x 10⁻³. Untuk pelat 100% dan 90% tidak melebihi tegangan izin yang ditetapkan oleh regulasi BKI, sedangkan untuk pelat 80% dan 60% melebihi tegangan izin.

Kata kunci: kekuatan kapal; metode elemen hingga; regangan; tegangan

Abstract

Stress strain is a crucial thing in the strength of the ship, it becomes very important to know the maximum load that can be accepted by the ship because between these two things are interrelated, safety reasons are also one thing why stress strain should be known. This study aims to analyze the maximum stress strain of ships (on deck and bottom plate) with variations in thickness of plate AH36 of 100%, 90%, 80%, and 60%, using the finite element method. The results showed that the maximum stress value at 100% thickness was 312,539 N/mm² with the even load of 3 x 10¹² tons with a size of 3 meters so that is obtained the resulting maximum strain of 1.48 x 10⁻³, for a thickness of 90% the maximum stress is 353,47 N/mm² and the maximum strain is 1,68 x 10⁻³, the thickness of 80% of the maximum stress produced is 617,78 N/mm² with the maximum strain produced is 0,29 x 10⁻³, the thickness of 60% of the maximum stress is 820,03 N/mm² and the resulting maximum strain is 0,39 x 10⁻³. For plates 100% and 90% do not exceed the allowable stresses set by BKI regulations, while for plates 80% and 60% exceed the allowable stresses.

Keywords: ship strength; finite element method; strain; stress

PENDAHULUAN

Saat kapal sedang beroperasi, kapal akan menerima beban yang besar dan berulang-ulang, yang di kemudian hari akan berdampak pada berkurangnya kekuatan kapal dalam menerima jumlah tegangan dan regangan. Oleh sebab itu sangat diperlukan prediksi secara sistematis berat beban yang dapat ditahan oleh kapal. Hal ini dilakukan agar nantinya tidak terjadi kelebihan pembebanan kapal tersebut yang akan menyebabkan kerusakan struktur kapal. Kerusakan struktur kapal dapat merugikan pemilik kapal, membahayakan keselamatan penumpang, dan hal-hal berbahaya lainnya. Pemilihan dan perencanaan desain pelat menjadi salah satu solusi untuk menahan beban yang akan terjadi pada kapal agar kapal tersebut tidak mengalami korosi, tegangan, regangan, lendutan, dan hal-hal lain yang dapat membahayakan struktur dan keadaan kapal. Pemeliharaan struktur kapal juga sangat diperlukan untuk menanggulangi pengurangan ketebalan pelat selama kapal beroperasi. Karena ketika pelat kapal semakin menipis maka kemungkinan tegangan yang terjadi pada kapal juga akan semakin besar. Kemudian nilai tegangan yang semakin besar dan berulang inilah yang akan menyebabkan tegangan yang dialami kapal akan mendekati titik leleh pada suatu struktur, selain kondisi ini, terdapat beban dinamis yang akan menambah ketegangan yang terjadi pada kapal, karena peristiwa yang dialami kapal inilah maka sangat memungkinkan akan terjadi kelelahan bahkan deformasi pada struktur kapal. Berdasarkan hal-hal yang dipaparkan di atas maka penulis mencoba melakukan analisis respons pelat baja pada kapal terhadap beban struktur yang akan disajikan dengan judul “Analisis Tegangan Regangan Pelat *Deck* dan *Bottom* pada Kapal *Ferry Ro-Ro* Menggunakan *Finite Element Method*”.

TINJAUAN PUSTAKA

Pelat Baja

Kapal *ro-ro* merupakan kapal yang dirancang untuk memuat kendaraan yang dapat berjalan

masuk atau keluar kapal dengan penggerakannya sendiri, sehingga kapal disebut kapal *roll on-roll off (Ro-Ro)*. *Ro-ro* dapat mengangkut truk, penumpang, dan mobil. Karakteristik dari kapal ini antara lain, memiliki akses *ramp* pada *bow* dan *stern*, memiliki geladak kendaraan dengan lajur yang panjang, dan memiliki banyak ventilator pada atas *deck* sebagai tempat pembuangan asap kendaraan bongkar. (Aden, dkk., 2017).

Pembebanan

Ada beberapa beban yang sering diterima oleh kapal, yakni beban tetap (statis), beban dinamis, dan beban semu. Beban statis adalah beban yang arah dan besarnya tidak berubah, meskipun terdapat perubahan nilainya sangat kecil sehingga tidak terlihat dengan kasat mata dan membutuhkan atensi khusus untuk mengetahui pergerakannya, yang termasuk gaya tarik bumi pada massa badan dan permesinan kapal, pada massa muatan kapal, gaya tekan air ke atas, gaya reaksi tanah pada waktu kapal kandas, gaya reaksi balok lunas pada waktu kapal dilimbungkan, dan lain-lain. Selain itu dikenal juga beban *quasi* statis atau beban semu, yaitu beban yang memiliki perubahan besar dan arah namun sangat kecil dan lamban. Hal ini terjadi karena perubahannya lebih lama dari waktu getar kapal (Kalam, dkk., 2017).

Beban dinamis adalah beban yang terjadi pada kurun waktu yang cepat. Pada beban dinamis bukan beban dari luar seperti gaya tarik bumi saja yang bekerja, tetapi terdapat juga beban yang ditimbulkan akibat kapal itu sendiri, seperti massa kapal, kecepatan, dan muatannya. Beban ini biasanya akan menimbulkan getaran pada kapal baik secara menyeluruh atau pada bagian-bagian tertentu. Beban ini salah satu contohnya disebabkan oleh ombak yang menghantam badan kapal, tubrukan yang terjadi pada kapal dan hal lainnya. Beban dinamis seringkali lebih berbahaya daripada beban statis dan semu karena sering menyebabkan deformasi bahkan retakan pada kapal (Kalam, dkk., 2017).

Tegangan

Tegangan merupakan perilaku material saat diberikan gaya atau beban. Jika suatu material dengan nilai luasan penampang yang sama diberikan beban yang sama dan searah di sepanjang material tersebut nantinya akan timbul tegangan pada material tersebut. Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak (Sears, 1944). *Stress* atau yang biasa disebut tegangan diartikan sebagai nilai perbandingan perubahan bentuk dan ukuran yang diakibatkan pada arah gaya luar yang diberikan pada material tersebut. tegangan secara matematis dituliskan pada persamaan (1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

σ = tegangan (Pa), F = gaya (N), dan A = luas penampang (mm²).

Deformasi lateral yang lebih kecil terjadi pada petunjuk utama lainnya juga tegangan geser hanya menyebabkan deformasi geser. Deformasi tergantung pada konstanta elastis E. Deformasi tergantung pada konstanta elastis E (Dokkum,2003).

Regangan

Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan. Regangan juga disebut derajat deformasi (Sarojo, 2002). Persamaan dari regangan dapat dituliskan pada persamaan (2).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

ε = regangan, ΔL = pertambahan panjang (mm), dan L = panjang mula-mula (mm).

Secara sederhana regangan dapat dikatakan seberapa banyak perubahan panjang dari suatu material. Jika tegangan adalah pembebanan pada material dari arah luar, maka regangan adalah respons material dari pembebanan tersebut. Hubungan antara tegangan dan regangan mengikuti hukum Hooke untuk elastisitas, dalam batas (limit) elastik suatu benda, dan hal ini menunjukkan bahwa

tegangan berbanding lurus dengan regangan (Blatt, 1986). Perbandingan antara tegangan regangan biasa dikenal dengan modulus elastisitas atau *modulus Young* (E dengan satuan N/mm²) yang secara matematis dirumuskan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

$$E = \frac{F L}{A \Delta L} \quad (4)$$

Untuk menyempurnakan bongkar dan muat dari geladak yang berbeda pada geladak dibutuhkan rampa internal. Hal ini juga membutuhkan spasi dari ruang muat (Lamb, 2003).

Hubungan Tegangan Regangan

Hubungan tegangan regangan pada suatu bahan *homogeny isotropic* elastis berdasar pada hukum Hooke untuk tegangan tiga dimensi. Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dinyatakan dalam persamaan (3).

Nilai modulus elastis merupakan sifat pasti dari suatu bahan. Kebanyakan baja memiliki nilai E antara 200 sampai 210 x 10⁹ N/m² atau E = 210 x 10⁶ kN/m².

Tegangan Akibat Pembebanan

Beban yang terjadi akibat beban statis maupun dinamis akan menyebabkan perubahan bentuk pada kapal secara keseluruhan ataupun pada bagian yang terkena beban tersebut saja. Kemudian beban ini akan menyebabkan tegangan pada kapal yang nantinya menyebabkan retakan pada beban kapal. Kapal akan mengalami lengkungan. Terdapat dua jenis lengkungan yakni kondisi *hogging* yaitu saat bagian tengah kapal terjadi kelengkungan yang berlebih daripada ujungnya. Serta kondisi *sagging* yaitu kondisi kapal pada bagian *deck* akan mengalami tarikan yang jauh lebih besar daripada bagian alas, kemudian lengkungan yang terjadi pada bagian ujung kapal lebih besar daripada bagian tengah kapal (Kalam, dkk., 2017).

Faktor keamanan (*safety factor*) adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu berupa beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi

tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate* (*ultimate load*). Dengan membagi beban *ultimate* ini dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan *ultimate* (*ultimate strength*) atau tegangan *ultimate* (*ultimate stress*) dari suatu bahan. Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan izin (*allowable stress*) yang dibuat lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian “statis”. Ini penting untuk berbagai pertimbangan (Yunanto, dkk., 2014). Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan izin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diizinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang. Suatu perbandingan (rasio) yang penting dapat ditulis dalam persamaan (5).

$$SF = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{working\ stress}} \quad (5)$$

SF = *Safety Factor*, σ_{yield} = tegangan luluh material (N/mm^2), dan $\sigma_{working\ stress}$ = tegangan yang bekerja pada struktur (N/mm^2).

METODE

Metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pemodelan *midship*, penentuan tegangan dan regangan pada pelat *deck* dan *bottom* kapal *ferry ro-ro*, analisis menggunakan *finite element method*. Metode ini merupakan metode yang dilakukan dengan membagi bagian yang akan dianalisis menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang kemudian dianalisis dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan hasil keseluruhan. Bagian-bagian kecil ini yang kemudian disebut dengan elemen, lalu antara satu elemen dengan elemen lain dihubungkan dengan *node*, sedangkan proses pembagiannya menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

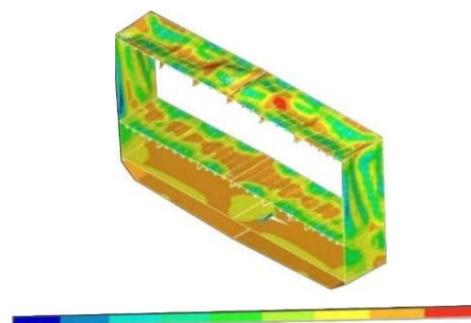
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah model struktur dan beban struktur selesai dimasukkan dan berhasil dilakukan *running*

maka desain disimpan lalu dibuat model struktur untuk kasus berikutnya. Berikut adalah bentuk model dua kasus yang akan dianalisis dengan tebal yang bervariasi yakni dengan ketebalan 100% (12, 10, dan 8 mm), 90%, 80%, dan 60%. Adapun tegangan dalam kasus ini adalah ketika tegangan material pelat mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai *yield strength*. Tegangan *von Mises* digunakan untuk memprediksi tingkat luluh material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian.

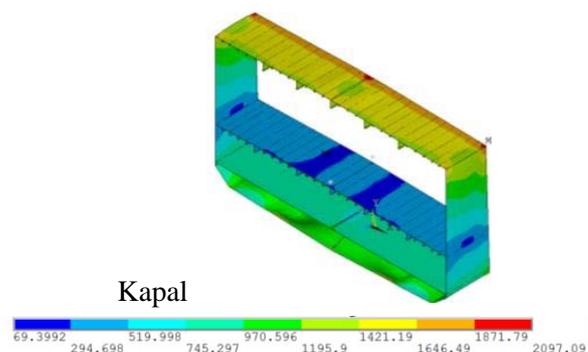
Hasil *Running* Analisis Kapal *Ferry Ro-Ro*

Hasil *running* untuk ketebalan 100% digambarkan pada Gambar 1 sebagai berikut:



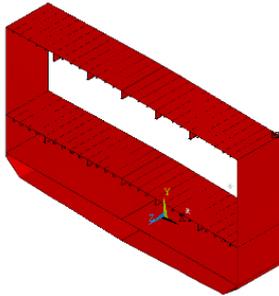
Gambar 1. Tegangan *von Mises* *case* 1 ketebalan 12 mm (100%)

Sesuai dengan material yang tergambar seperti Gambar 1, deformasi yang terjadi pada pelat geladak dengan ketebalan 12 mm dengan beban merata dari arah Y sebesar 3 x 10 ton dengan tegangan maksimum yang dikeluarkan yaitu 312,539 N/mm^2 dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu $1,48 \times 10^{-3}$. Hasil *running* untuk ketebalan 90% digambarkan pada Gambar 2.



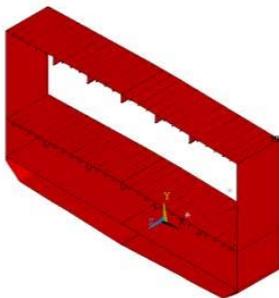
Gambar 2. Tegangan *von Mises* ketebalan 10,8 mm (90%)

Sesuai dengan material yang tergambar seperti Gambar 2, deformasi yang terjadi pada pelat geladak dengan ketebalan 10,8 mm dengan beban merata dari arah Y sebesar 3 x 10 ton dengan tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar 493,47 N/mm² dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu 1,68 x 10⁻³. Hasil *running* untuk ketebalan 80% digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tegangan *von mises* ketebalan 9,6 mm (80%)

Sesuai dengan material yang tergambar seperti Gambar 3, deformasi yang terjadi pada pelat geladak dengan ketebalan 9.6 mm dengan beban merata dari arah Y sebesar 3 x 10 ton dengan tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar 617,78 N/mm² dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu 0,29 x 10⁻³. Hasil *running* untuk ketebalan 60% digambarkan pada Gambar 4.



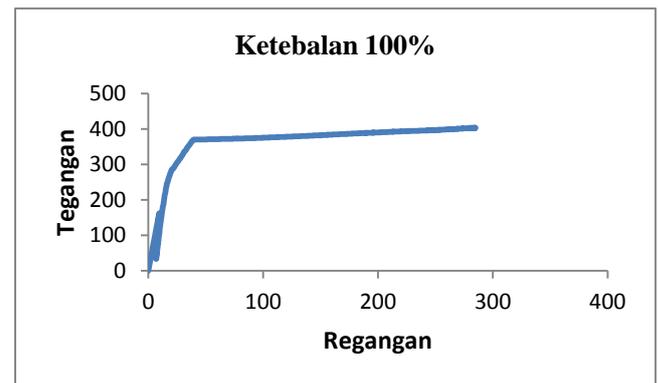
Gambar 4. Tegangan *von mises* ketebalan 7,2 mm (60%)

Sesuai dengan material yang tergambar seperti Gambar 4, deformasi yang terjadi pada pelat geladak dengan ketebalan 7,2 mm dengan beban merata dari arah Y sebesar 3 x 10 ton dengan tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar 820,03 N/mm² dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu 0,39 x 10⁻³

Gambar dan Grafik

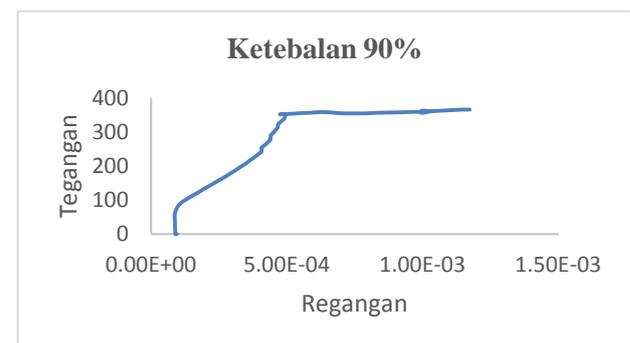
Hubungan tegangan regangan yang bekerja

pada ketebalan 100% sesuai hasil analisis pada data yang tertera di atas kemudian didapatkan tegangan-tegangan yang bekerja pada setiap elemen-elemen pada pelat struktur alas dan geladak *midship* kapal *ro-ro*, dengan mempertimbangkan kondisi syarat batas maka didapatkan kurva tegangan regangan pada Gambar 5 sebagai berikut:



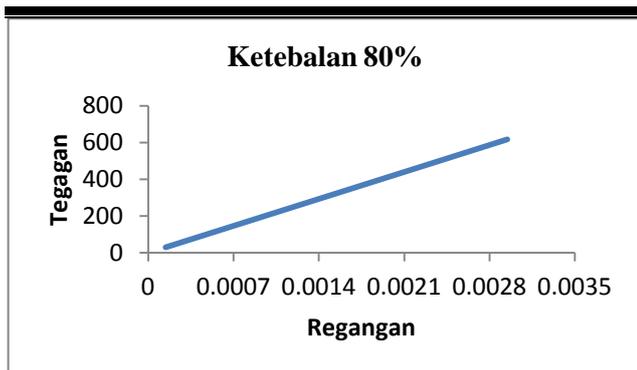
Gambar 5. Kurva tegangan regangan ketebalan 100%

Hubungan tegangan regangan yang bekerja pada ketebalan 90% sesuai hasil analisa pada data yang tertera di atas kemudian didapatkan tegangan-regangan yang bekerja pada setiap elemen-elemen pada pelat struktur alas dan geladak *midship* kapal *ro-ro*, dengan mempertimbangkan kondisi syarat batas maka didapatkan kurva tegangan regangan pada Gambar 6 sebagai berikut:

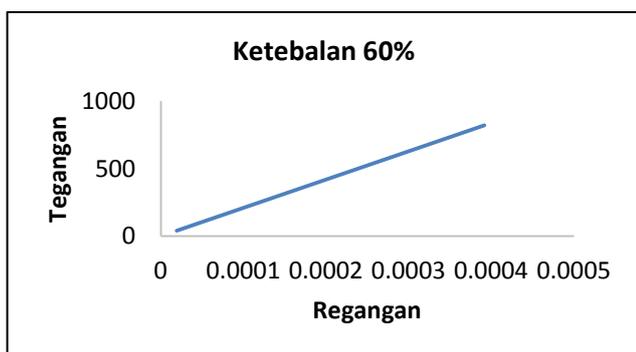


Gambar 6. Kurva tegangan regangan ketebalan 90%

Hubungan tegangan regangan yang bekerja pada kasus 3 sesuai hasil analisa pada data yang tertera di atas kemudian didapatkan tegangan-regangan yang bekerja pada setiap elemen-elemen pada pelat struktur alas dan geladak *midship* kapal *ro-ro*, dengan mempertimbangkan kondisi syarat batas maka didapatkan kurva tegangan regangan pada Gambar 7 sebagai berikut:



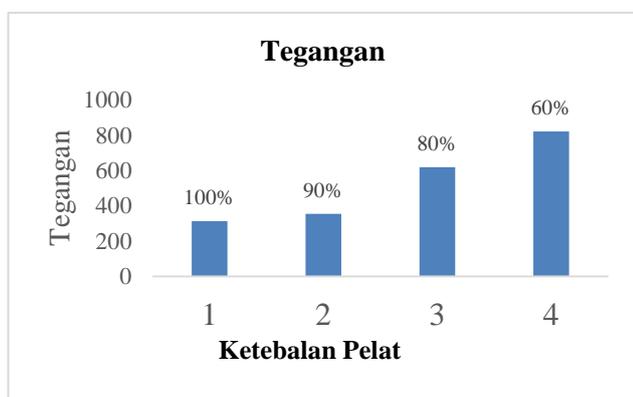
Gambar 7. Kurva tegangan regangan ketebalan 80%



Gambar 8. Kurva tegangan regangan ketebalan 60%

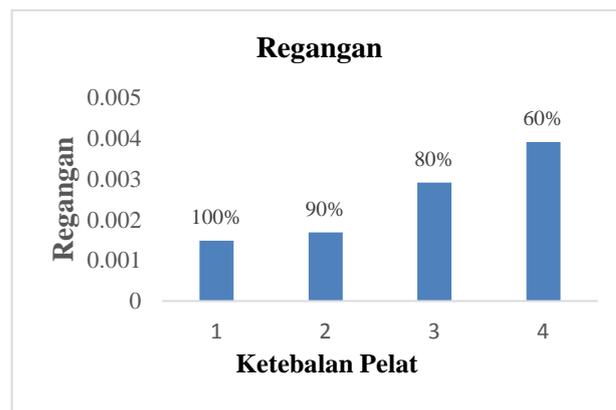
Hubungan tegangan regangan yang bekerja pada kasus 4 sesuai hasil analisa pada data yang tertera di atas kemudian didapatkan tegangan-regangan yang bekerja pada setiap elemen-elemen pada pelat struktur alas dan geladak *midship* kapal *ro-ro*, dengan mempertimbangkan kondisi syarat batas maka didapatkan kurva tegangan regangan pada Gambar 8.

Perbandingan Tegangan yang Bekerja pada Struktur Berdasarkan Ketebalan Pelat di setiap Ketebalan



Gambar 9. Grafik perbandingan tegangan dipengaruhi ketebalan

Sesuai hasil analisis pada data yang tertera di atas kemudian didapatkan tegangan-regangan yang bekerja pada setiap elemen-elemen pada pelat struktur alas dan geladak *midship* kapal *ro-ro*, dengan mempertimbangkan variasi ketebalan pelat pada *boundary condition* yang terjadi pada setiap kasus maka didapatkan kurva tegangan pada Gambar 9.



Gambar 10. Grafik perbandingan regangan dipengaruhi ketebalan

Sesuai hasil analisis pada data yang tertera di atas kemudian didapatkan tegangan-regangan yang bekerja pada setiap elemen-elemen pada pelat struktur alas dan geladak *midship* kapal *ro-ro*, dengan mempertimbangkan variasi ketebalan pelat pada *boundary condition* yang terjadi pada setiap kasus maka didapatkan kurva regangan pada Gambar 10.

Berdasarkan grafik di atas dapat diperhatikan bahwa tegangan dan regangan yang bekerja pada struktur cenderung meningkat beriringan dengan semakin menipisnya pelat.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis tegangan regangan pada alas dan geladak di kapal *fery ro-ro* dengan menggunakan perbedaan ketebalan pelat pada alas dan geladak dengan kondisi beban merata sebesar $3 \times 10^{12} \text{ N/mm}^2 \cdot \text{ton}$ maka dapat ditarik kesimpulan bahwa, tegangan dan regangan maksimum yang didapatkan pada setiap ketebalan pelat adalah sebagai berikut, tegangan maksimum yang dikeluarkan yaitu $312,539 \text{ N/mm}^2$ dengan ketebalan



12 mm dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu $1,48 \times 10^{-3}$. Tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar $353,47 \text{ N/mm}^2$ ketebalan 10,8 mm dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu $1,68 \times 10^{-3}$. Tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar $617,78 \text{ N/mm}^2$ dengan ketebalan 9,6 mm dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu $0,29 \times 10^{-3}$. Tegangan maksimum yang dikeluarkan sebesar $820,03 \text{ N/mm}^2$ dengan ketebalan 7,2 mm dan regangan maksimum yang dikeluarkan yaitu $0,39 \times 10^{-3}$. Untuk pelat 100% dan 90% tidak melebihi tegangan izin, sedangkan untuk pelat 80% dan 60% melebihi tegangan izin yang diizinkan oleh BKI yakni 370 N/mm^2 .

UCAPAN TERIMA KASIH

Jurnal ini tidak akan terlaksana tanpa bantuan dari banyak pihak, oleh sebab itu kami mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Kalimantan karena sudah memfasilitasi kami untuk melakukan penelitian, serta rekan-rekan yang membantu proses jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aden, N., Zakki, A. F. & Rindo, G. (2017). Analisa Pengaruh Perubahan Jarak Gading Kapal pada Struktur Kekuatan Kapal Ro-Ro 500 GT untuk

Mendapatkan Desain Optimal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 5 (4), pp. 697-706.

Blatt, F. J. (1986). *Principles of Physics*. 2nd Ed. Boston: Allyn and Bacon.

Dokkum, K. V. (2003). *Ship Knowledge A Modern Encyclopedia*. Netherlands: DOKMAR.

Kalam, A. H., Mulyatno, I. P. & Rindo, G. (2017). Kajian Teknis Kekuatan Car Deck pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT Akibat Perubahan Muatan dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 5 (1), pp. 173-180.

Lamb, T. (2003). *Ship Design and Construction*. New Jersey: The Society of Naval Architects & Marine Engineers.

Sarojo, G. A., (2002). *Seri Fisika Dasar Mekanika*. Jakarta: Salemba Teknika.

Sears, F. W. (1944). *Mechanics, Heat and Sound*. 2nd Ed. Boston: Addison-Wesley. Terjemahan P.J. Soedarjana. (1986). *Mekanika, Panas dan Bunyi*. Bandung: Bina Cipta.

Yunanto, W. D., Mulyatno, I. P. & Trimulyono, A. (2014). *Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck pada Kapal "Kapal Ropax 5000 GT" dengan Metode Elemen Hingga*. *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol.2 no.3. 2014. Semarang: Universitas Diponegoro.

HALAMAN KOSONG