

ANALISA FATIGUE KEKUATAN STERN RAMP DOOR AKIBAT BEBAN DINAMIS PADA KM. KIRANA I DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DISKRIT ELEMEN SEGITIGA PLANE STRESS

Ir. Sarjito Jokosisworo, M.Si¹⁾ Jajang Sebastian, ST²⁾

¹⁾ Staf Pengajar S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

²⁾ Alumni S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

Abstrak

Kapal KM. Kirana I adalah kapal tipe Ro - Ro Passanger Ship yang beroperasi di Pulau Jawa dengan rute pelayaran Pelabuhan Semarang - Sampit yang mampu mengangkut penumpang dan kendaraan dalam jumlah yang relatif banyak. Untuk memudahkan akses keluar masuk kendaraan yang akan diangkut, maka kapal ini dilengkapi dengan sebuah ramp door sistem steel wire rope yang terletak di bagian buritan kapal (stern ramp door). Ramp door akan menerima beban dinamis secara berulang-ulang sehingga mengakibatkan kelelahan material (fatigue). Analisa fatigue konstruksi rampdoor dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga diskrit segitiga plane stress dengan tujuan untuk mendapatkan hasil analisa yang lebih akurat. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan program bantu berbasis CAD, sedangkan untuk analisa fatigue menggunakan program berbasis elemen hingga. Analisa yang digunakan adalah analisa beban dinamis dengan amplitudo berubah berdasarkan variasi 4 beban kendaraan. Untuk mengetahui letak kondisi paling kritis rampdoor dibagi menjadi 3 bagian dengan mengambil lokasi pnode 180, 140, dan 100. Berdasarkan hasil analisa didapat umur ramp door selama 3186 siklus atau 2 tahun 9 bulan 4 hari dan mempunyai nilai intensitas tegangan patah sebenarnya sebesar 400,713 Mpa.

Kata kunci : fatigue, metode elemen hingga, ramp door, ANSYS

1. Pendahuluan

Kapal KM. Kirana I adalah kapal tipe (Ro - Ro Passanger Ship) yang beroperasi di Pulau Jawa dengan rute pelayaran Pelabuhan Semarang - Sampit yang mampu mengangkut penumpang dan kendaraan dalam jumlah yang relatif banyak. Dalam rute pelayaran antara Pelabuhan Semarang - Sampit yang ditempuh dalam waktu kurang lebih dua puluh empat jam, mengharuskan kondisi kapal dalam keadaan aman, baik dalam hal konstruksi maupun instalasi lainnya. Untuk memudahkan akses keluar masuk kendaraan yang akan diangkut, maka kapal ini dilengkapi dengan sebuah ramp door sistem steel wire rope yang terletak di bagian buritan kapal (stern ramp door). Hal ini menunjukkan bahwa ada banyak beban yang bekerja pada konstruksi stern ramp door tersebut saat loading dan unloading, baik beban statis ataupun dinamis yang dalam pengoperasiannya akan menimbulkan masalah seperti deformasi, keretakan dll. Khusus untuk beban dinamis secara berulang-ulang akan mengakibatkan kelelahan material. Secara garis

besar perencanaan konstruksi ramp door adalah membuat suatu konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bias diterima oleh konstruksi tersebut. Perencanaan konstruksi ramp door harus dapat menjamin suatu struktur tingkat kelelahan material. Dan ada satu persyaratan lagi yang sangat penting bahwa konstruksi harus mempunyai kekakuan elastis yang cukup. Konstruksi ramp door harus dirancang menghindari elastic deformation yang berlebihan yang dapat mengakibatkan perubahan bentuk geometri akibat dari beban yang diterima. Bagian - bagian tersebut haruslah diukur dengan tepat untuk mendapatkan gaya - gaya yang sesungguhnya atau yang dibebankan kepadanya. Berdasarkan hal tersebut di atas maka perlu kiranya dilakukan analisa fatik (fatigue) terhadap stern ramp door sehingga dapat diketahui umur dari material tersebut. Dengan hasil perhitungan tersebut penulis berharap supaya para designer dapat lebih memperbaharui dan mengoptimalkan desain dan

kekuatan *stern ramp door*. Sedangkan untuk program bantuannya menggunakan *SolidWorks* untuk pembuatan design dan ANSYS untuk analisa yang berbasis metode elemen hingga. sesungguhnya atau yang dibebankan kepadanya. Berdasarkan hal tersebut di atas maka perlu kiranya dilakukan analisa fatik (*fatigue*) terhadap *stern ramp door* sehingga dapat diketahui umur dari material tersebut. Dengan hasil perhitungan tersebut penulis berharap supaya para *designer* dapat lebih memperbaharui dan mengoptimalkan desain dan kekuatan *stern ramp door*. Sedangkan untuk program bantuannya menggunakan *SolidWorks* untuk pembuatan design dan ANSYS untuk analisa yang berbasis metode elemen hingga.

2. Dasar Teori

2.1 Kapal Ro-Ro (*Roll On – Roll Off*)

Kapal jenis *Ro - Ro* adalah kapal yang bisa memuat penumpang ataupun kendaraan yang berjalan masuk kedalam kapal atau keluar kapal dengan penggerakannya sendiri sehingga disebut sebagai kapal *Roll On – Roll Off* disingkat *Ro - Ro*, untuk itu kapal jenis ini dilengkapi dengan pintu rampa (*ramp door*) yang dihubungkan dengan *moveble bridge* atau dermaga apung ke dermaga untuk akses keluar masuknya kendaraan ke dalam kapal. Kapal *Ro - Ro* didesain dengan penambahan *deck (car deck)* yang berfungsi untuk mengangkut berbagai jenis kendaraan. Di Indonesia kapal jenis *Ro - Ro* banyak dimanfaatkan untuk penyeberangan antara pulau misalnya antara Jawa dengan Sumatra, antara Jawa dengan Madura dan antara Jawa dengan Bali, dll.

2.2

Ramp Door

Ramp door (Pintu rampa) adalah pintu untuk memasukkan kendaraan ke dalam kapal *Ro - Ro* ataupun jenis kapal lain yang mengangkut kendaraan. Penggunaan *ramp door* sangat dibutuhkan untuk mempermudah proses membongkar dan memuat kendaraan dari dermaga penyeberangan ke kapal dan sebaliknya. *Ramp Door* dihubungkan dengan *moveable bridge* pelengsengan yang ada di dermaga. Jenis *ramp door* ada yang bisa dilipat ataupun tidak sedangkan untuk sistem penggerak

dari *ramp door* ada 2 jenis , yaitu dengan menggunakan sistem hidrolik atau dengan menggunakan *system steel wire rope*. Ada beberapa persyaratan dalam pembuatan *ramp door* diantaranya adalah :

1. Kedap terhadap air laut dalam hal melalui pelayaran laut terbuka.
2. Kuat menahan beban kendaraan yang melewati pintu saat menaikkan dan menurunkan kendaraan.
3. Aerodinamis dalam hal melakukan perjalanan panjang.

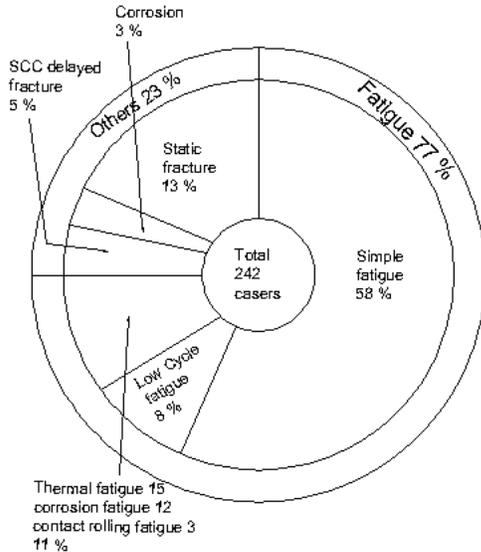
2.3

klasifikasi *Beam*

Dalam banyak struktur teknik, gaya perlawanan bekerja secara lateral dan transversal terhadap sumbu-sumbu bagian tersebut. Jenis bagian konstruksi seperti ini dinamakan balok (*beam*). *Beam* diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok, terutama tergantung pada macam tumpuan yang digunakan. Jadi bila tumpuan tersebut berada pada ujung-ujung dan pada pasak atau rol, maka balok tersebut disebut tumpuan yang sederhana atau *beam* sederhana. *Beam* tersebut menjadi *beam* jepit atau *beam* ujung jepit, bila ujung-ujungnya mempunyai tumpuan jepit. *Beam-beam* demikian disebut juga *beam* pengekang (*restrained beams*) bila ujungnya dikekang untuk tidak berputar. Suatu *beam* terjepit pada salah satu ujung dan bebas sempurna pada ujung yang lain, mempunyai nama khusus, yaitu *beam* kantilever.

2.4 *Fatigue*

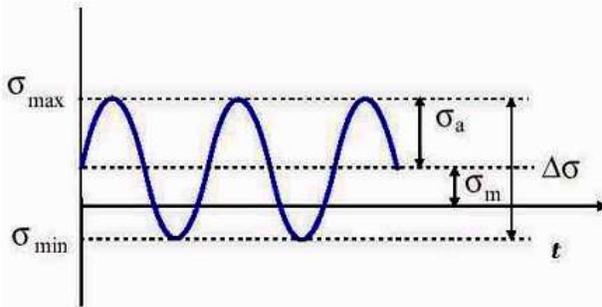
Kelelahan (*Fatigue*) adalah salah satu jenis kegagalan/ patah pada komponen akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah). Diperkirakan 50%-90% (Gambar 2.2) kegagalan mekanis adalah disebabkan oleh kelelahan.



Gambar 1. Distribusi mode kegagalan (Sumber : Akuan, 2007)

Parameter pembebanan yang berpengaruh terhadap kelelahan logam adalah tegangan rata-rata, σ_m serta frekwensi pembebanan.

- Pengaruh Tegangan Rata-rata



Gambar 2. Pengertian Tegangan Siklik

Tegangan amplitudo:

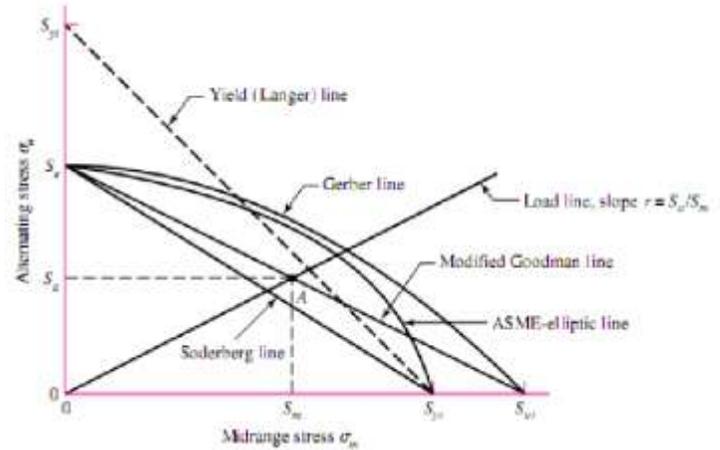
$$S_a = \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \quad (1)$$

Tegangan rata-rata:

$$S_m = \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \quad (2)$$

Rasio tegangan:

$$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \quad (3)$$



Gambar 3. Diagram-diagram batas tegangan terhadap kelelahan logam (Sumber : Akuan, 2007)

Persamaan-persamaan yang digunakan pada diagram batas tegangan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8 diatas adalah sebagai berikut:

- Soderberg (USA, 1930):

$$S_a / S_e + S_m / S_{yt} = 1 \quad (4)$$
- Goodman (England, 1899):

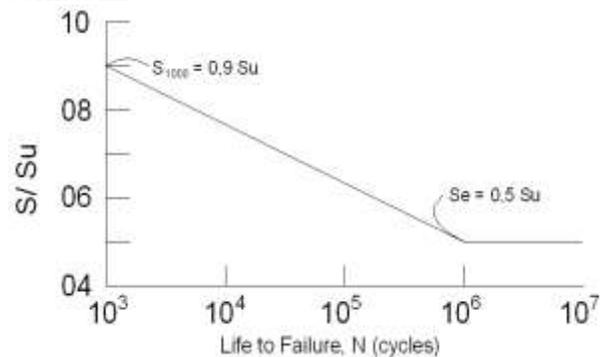
$$S_a / S_e + S_m / S_{ut} = 1 \quad (5)$$
- Gerber (Germany, 1874):

$$S_a / S_e + (S_m / S_{ut})^2 = 1 \quad (6)$$
- Morrow (USA, 1960s):

$$S_a / S_e + S_m / \sigma_f = 1 \quad (7)$$

dimana, S_e adalah batas lelah (*endurance limit*), S_u adalah kekuatan tarik dan σ_f adalah tegangan patah sebenarnya (*true fracture stress*). Perbandingan dari tegangan amplitudo terhadap tegangan rata-rata disebut rasio amplitudo ($A = S_a / S_m$).

Kurva S-N baja dapat diestimasi dari rasio kelelahan yaitu ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 4. Estimasi kurva S-N untuk Baja (Sumber : Akuan, 2007)

Hubungan tegangan siklik, S dan umur lelah, N (siklus)

$$S = 10C Nb \text{ (untuk: } 103 < N < 106) \quad (8)$$

atau:

$$N = 10-C/b S^{1/b} \text{ (untuk: } 103 < N < 106) \quad (9)$$

Eksponen C dan b ditentukan sebagai berikut:

$$b = -1/3 \log (S_{1000}/S_e) \quad (10)$$

$$C = \log \{(S_{1000})^2/S_e\} \quad (11)$$

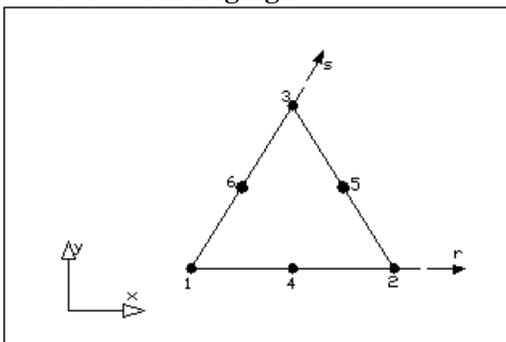
2.5 Metode Elemen Hingga

Dalam Tugas Akhir ini metode yang digunakan adalah metode elemen hingga. Metode Elemen Hingga (*finite element method*) merupakan salah satu metode aproksimasi yang umum digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial atau *Partial Differential Equation (PDE)* secara numerik dalam analisis struktur. Metode elemen hingga seperti yang dikenal sekarang ini diketahui pada awalnya diperkenalkan oleh Courant (1943), namun pada waktu itu kurang mengalami perkembangan yang signifikan. Seiring kemajuan teknologi komputer digital dan bahasa pemrograman, metode ini ikut mengalami kemajuan yang pesat dalam penerapannya. Hingga saat ini, metode elemen hingga telah diterima dan dipakai secara luas dalam berbagai aplikasi *engineering*, termasuk di Indonesia.

2.6 Analisa Dinamik

Analisa dinamik merupakan analisa yang dipakai untuk mengetahui kondisi struktur terhadap pembebanan yang berubah terhadap waktu atau frekuensi Jenis pembebanan yang dapat diterapkan dalam analisa dinamik ini adalah penerapan gaya dinamik, frekuensi atau getaran paksa terhadap model.

2.7 Elemen Pelat Segitiga



Gambar 5. Elemen segitiga parabolic

Vektor perpindahan nodal elemen segitiga yaitu:

$$\hat{u} = \{u_1, v_1, \dots, v_6\} \quad (12)$$

3. Metodologi Penelitian

3.1 Studi Lapangan

Dalam penelitian Tugas Akhir “Analisa *Fatigue* Kekuatan *Stern Ramp Door* Akibat Beban Dinamis Pada KM. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga diskrit Elemen Segitiga *Plane Stress*” penulis perlu melakukan studi lapangan yang bertujuan untuk melengkapi kebutuhan data untuk pengerjaan Tugas Akhir ini.

3.2 Stud Literatur

Mempelajari sistematika perhitungan dan karakteristik konstruksi *Stern Ramp Door* yang akan dikemukakan di dalam tugas akhir dari berbagai macam referensi baik berupa buku, majalah, artikel, jurnal dan melalui internet. Dasar-dasar teori dan referensi yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Teori Mekanika Teknik
2. Teori pelat
3. Teori metode elemen hingga
4. *Rule BKI Volume II section 20 Tahun 2006 (Fatigue Strength)*

3.3 Pembuatan Desain Model

Dari data awal yang telah diambil, kemudian dilakukan pembuatan model dengan menggunakan program berbasis CAD. Pembuatan model dilakukan dengan prosedur antara lain :

- a) Membuat geometri dari objek yang akan dianalisa. Proses ini bias dilakukan dengan program *SolidWorks*, dalam format *IGES*. Yang akan di *export* ke program ANSYS.
- b) Membuat model elemen hingga. Pembuatan model elemen hingga adalah pembuatan jaring-jaring elemen yang saling terhubung oleh nodal.
- c) Pengecekan model dengan *Check Model* dimaksudkan untuk menjamin bahwa elemen sudah terkoneksi secara benar.
- d) Pendefinisian material.
- e) Pendefinisian jenis elemen.
- f) Pemberian tumpuan atau beban.

4 Hasil dan Analisa

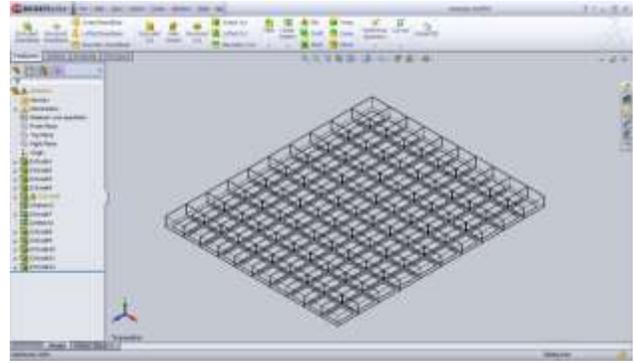
Ramp door (Pintu rampa) adalah pintu untuk memasukkan kendaraan ke dalam kapal *Ro - Ro* ataupun jenis kapal lain yang mengangkut kendaraan. Penggunaan *ramp door* sangat dibutuhkan untuk mempermudah proses membongkar dan memuat kendaraan dari dermaga penyeberangan ke kapal dan sebaliknya. *Ramp Door* dihubungkan dengan *moveable bridge* pelengsengan yang ada di dermaga.



Gambar 6. *Rampdoor* KM. Kirana I

4.1 Pemodelan Rampdoor dengan menggunakan SolidWorks

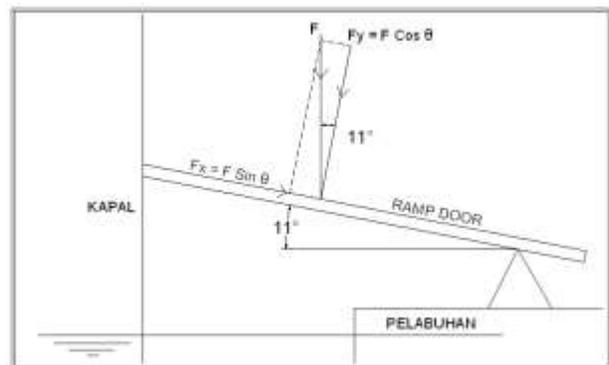
pemodelan dari *rampdoor* pada KM. Kirana I yang dimodelkan dengan program SolidWorks kemudian disimulasikan agar diketahui hasil analisisnya dengan menggunakan program numerik ANSYS yang berbasis metode elemen hingga. Hasil dari serangkaian analisa yang didapatkan adalah untuk mengetahui nilai kekuatan fatik, dan besarnya jumlah siklus yang diizinkan.



Gambar 7. Hasil pemodelan *rampdoor* dengan program SolidWorks

4.2 Perhitungan Beban Kendaraan

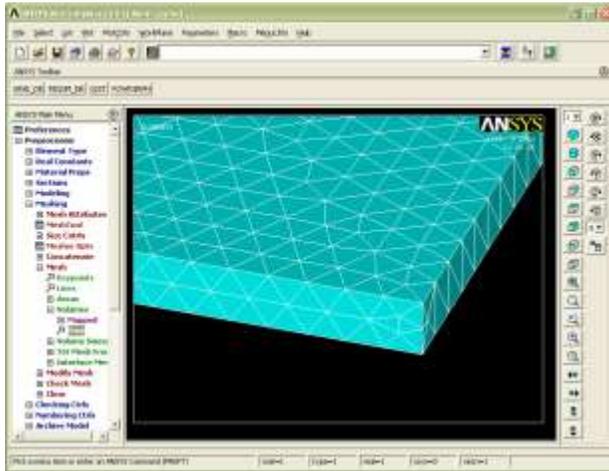
Besarnya beban kendaraan (truck & mobil) pada *rampdoor* digunakan sebagai beban dinamis. Pengkondisian beban kendaraan diambil 2 buah kendaraan truk dengan beban maksimal 20 dan 15 ton (dengan siklus 2304), 2 buah mobil dengan beban masing-masing 10 dan 8 ton (dengan siklus 1152) yang membebani *rampdoor* secara berulang-ulang. Dalam perhitungan beban dinamis ditentukan 4 kondisi beban dan 2 kondisi perencanaan siklus (*Number of Repetations*), dan 4 *load step*. Pada gambar 8 adalah tampak posisi pembebanan terhadap pengaruh kemiringan *ramp door*. Sudut *ramp door* dilapangan sebesar 11° . Besar beban sesungguhnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus vektor kosinus.



Gambar 8. Pengaruh vektor beban terhadap kemiringan

$$F_y = F \times \cos \theta \quad (13)$$

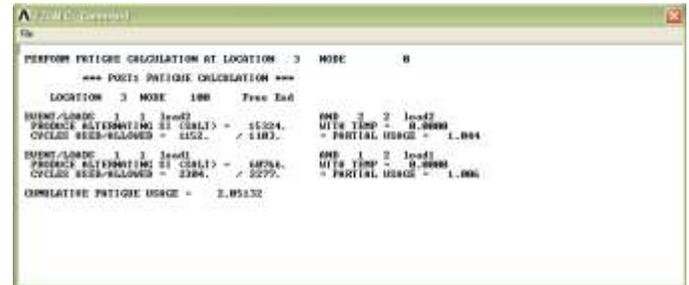
4.3 Analisa Fatik menggunakan program ANSYS



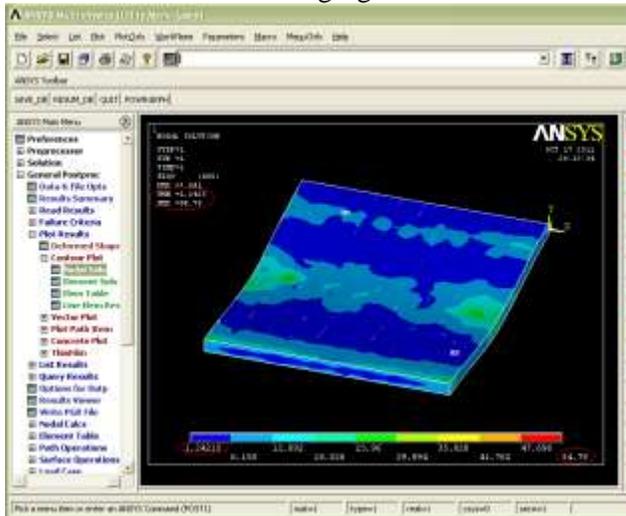
Gambar 9. Hasil detail *Meshing* diskrit segitiga



Gambar 12. *Result NODE 140*



Gambar 13. *Result NODE 100*



Gambar 10. Hasil *Running* tegangan

Tabel 1. Validasi setiap kejadian

Kondisi	Analitik (N)	Software (N)	Validasi %
<i>fixed</i>	3520	3591	0,99 %
<i>middle</i>	3110	3186	1,20 %
<i>free</i>	3415	3380	0,51 %

Berdasarkan Tabel 1 diatas, jumlah siklus tercepat berada pada 3110 siklus, sedangkan jumlah siklus terlama berada pada 3591 siklus. Jumlah siklus rata-rata antara perhitungan analitik dan software sebesar 3367 atau mempunyai rata-rata umur 2 tahun 11 bulan 1 hari. jumlah siklus tersebut hanya mempunyai selisih 89 siklus dari siklus perencanaan awal/kondisi kenyataan dilapangan yaitu 3456 siklus.



Gambar 11. *Result NODE 180*

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dikaji sebelumnya didapatkan:

1. Nilai intensitas tegangan patah sebenarnya (*true frue fracture stress*) sebesar 60,107 ksi, dengan hasil ini jika konstruksi *rampdoor* diberi tegangan sebesar 60,107 ksi atau 400,713 Mpa (1 Mpa = 0,15 ksi) pada siklus yang direncanakan maka *rampdoor* akan mengalami kelelahan (patah lelah).
2. Umur konstruksi *rampdoor* KM. Kirana 1

dalam beberapa variasi kejadian dengan menggunakan program berbasis elemen hingga ANSYS adalah sebagai berikut:

- Siklus NODE 180 (*fixed end*)
= 3520 S/ 3 tahun 20 hari
 - Siklus NODE 140 (*middle*)
= 3110 S/ 2 tahun 8 bulan 8 hari
 - Siklus NODE 100 (*free*)
= 3415 S/ 2 tahun 11 bulan 15 hari
3. Letak kondisi paling kritis konstruksi *rampdoor* terdapat pada bagian tengah (*middle*) yaitu NODE 140, karena memiliki umur terpendek dengan 3110 siklus (analitik) dan 3186 siklus (*Software*). Hasil tersebut berada dibawah siklus yang direncanakan yaitu 3456 siklus.

6. Daftar Pustaka

1. Alam, M.S., 2005, *Finite element Modeling of Fatigue Crack Growth in Curved-Welded Joints Using Interface Elements*. Illinois: University of Illinois.
2. Akuan, Abrianto. 2007. *Kelelahan Logam*. Bandung: Universitas Jenderal Achmad Yani.
3. Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2006. "Rules for The Classification Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II: Fatigue Strength". Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia
4. Browell, Raymond. 2006. *Calculating and Displaying Fatigue Result*. Al Hancq. Hlm: 5-20.
5. Drummen, Ingo. 2008. *Experimental and numerical investigation of fatigue damage due to wave-induced vibrations in a containership in head seas*. Panama: J Mar Sci Technol.
6. Ekberg, Anders. 2008. *Low Cycle Fatigue*. *Chalmers Solid Mechanic*. Hlm: 20-29.
7. Hancq, Alfred D. 2003. *Fatigue Analysis in the Ansys Workbench Environment*. Boston: Ansys Inc.
8. Louhenapessy, Jandri. 2010. *Analisa Kelelahan Material Condylar Prosthesis dari Groningen Temporomandibular Joint Prosthesis Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
9. Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Material*, 2nd edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
10. Tanaka, Kobayashi. 2007. *Corrosion Fatigue Crack Initiation Life of Ship Structural Steel in Dilute Sulfuric Acids*. Tokyo: National Maritime Research Institute.
11. Wang, Erke. 2008. *Fatigue analysis and design optimization of a trailer hitch system*. Hamburg: 2008 International ANSYS Conference.
12. Yu, Haisheng. 2005. *An approach for low cycle fatigue life prediction of various metallic materials subjected to nonproportional multiaxial loading conditions*. Beijing: Structural Mechanics in Reactor Technology.