

## **ANALISIS KELELAHAN PADA STRUKTUR LANDASAN RANGKA PADA PEREKAYASAAN PESAWAT SINAR-X DIGITAL MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Abdul Jalil, Muhammad Awwaluddin  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir BATAN Serpong  
E-mail : ajalil@batan.go.id

### **ABSTRAK**

*ANALISIS KELELAHAN PADA STRUKTUR LANDASAN RANGKA PADA PEREKAYASAAN PESAWAT SINAR-X DIGITAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA. Kelelahan adalah salah satu mode kegagalan pada struktur landasan rangka yang perlu di amati secara cermat. Analisis kelelahan (fatigue) merupakan suatu cara yang dapat dilakukan untuk memperkirakan risiko terjadinya kerusakan yang diakibatkan oleh beban berulang dan usia dari suatu struktur atau bangunan dalam menerima beban tersebut. Dengan melakukan analisis kelelahan (fatigue), risiko timbulnya kerusakan fatal dapat diperkecil dan suatu struktur/bangunan dapat memenuhi target desain yang telah ditetapkan, termasuk disini adalah struktur tidak akan mengalami kegagalan dalam berbagai kondisi kerja. Analisis dilakukan menggunakan software ANSYS dengan pembebanan 800 N, dengan asumsi beban maksimal akibat beban pemberat, kolom, dan beban yang ada di lengan. Dari hasil analisis kelelahan pada struktur landasan rangka didapatkan umur struktur maksimal 1e6, sehingga desain dapat dikatakan aman karena masuk ke dalam high cycle (infinite cycle).*

*Kata kunci : Kelelahan, Fatigue, Kegagalan, landasan rangka, x-ray.*

### **ABSTRACT**

*FATIGUE ANALYSIS ON THE SUPPORT FRAME STRUCTURE OF DIGITAL X-RAY EQUIPMENT USING FINITE ELEMEN METHOD. Fatigue is one of the failure modes on support frame structures that need to be monitored carefully. Fatigue analysis is a method that can be performed to estimate the risk of damage caused repeated load and life of structure or building in receiving such loads. By fatigue analyzing, the risk from fatal damage can be minimized and the structure or building to meet design targets that have been set, including here is structure not to be failed in a variety of working conditions. Analysis was performed by ansys software with 800 N, assumed by ballast load, column, and load on the arm. From the fatigue analysis on the support frame structure, fatigue life maximum is 1e6 cycle, so the design structure can be said safe because its high cycle (infinite cycle).*

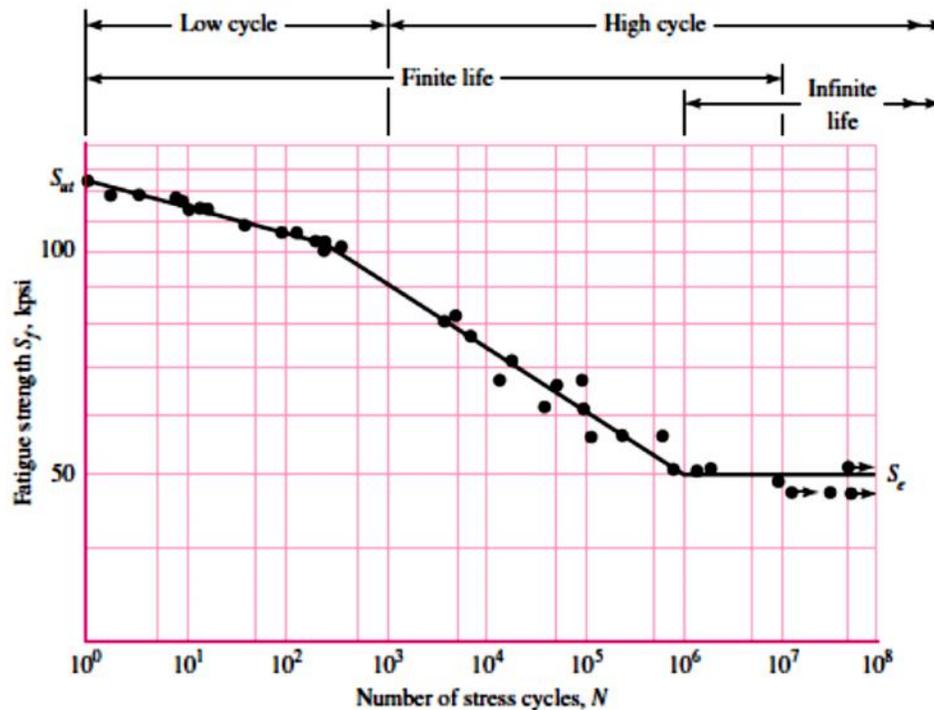
*Key word: Fatigue, failure, Support frame structure, x-ray*

### **1. PENDAHULUAN**

Proses perancangan landasan rangka stand pesawat sinar-x *digital* memerlukan analisis kelelahan (*fatigue*) dengan menggunakan metode elemen hingga, konsep dasar metode elemen hingga adalah dengan deskretisasi atau membagi suatu struktur menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dengan jumlah berhingga, kemudian melakukan analisis gabungan terhadap elemen-elemen kecil tersebut dengan tujuan untuk memperoleh nilai pendekatan numerik sehingga dapat diselesaikan dengan bantuan perangkat komputer menggunakan *software* analisis yaitu ANSYS. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa struktur tersebut mampu memenuhi fungsinya dan dapat bertahan sesuai umur layanan yang diinginkan, dikarenakan struktur landasan rangka akan terkena beban lebih besar dibanding struktur rangka lainnya. Kriteria desain untuk tiap struktur berbeda beda, selain itu kriteria dominan pada suatu daerah menentukan jenis struktur yang akan dipilih. Beberapa mode kegagalan struktur pada landasan rangka yang umum terjadi adalah *fatigue* atau kelelahan struktur akibat beban berulang sehingga perlu diwaspadai.

Kegagalan (*failure*) pada struktur bisa terjadi mulai dari struktur yang sederhana sampai dengan struktur yang sangat kompleks, hal ini dapat mengakibatkan kerugian yang besar dan bahkan sampai mengakibatkan korban Jiwa<sup>[2][3][4][5]</sup>.

Analisis kegagalan (*failure analysis*) adalah metode yang sering digunakan untuk mengungkap kegagalan dari suatu struktur. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui penyebab *failure* yang ditimbulkan pada proses disain, proses pemilihan bahan dan prosedur perawatan sehingga kejadian kegagalan yang serupa tidak terulang lagi dan memenuhi kriteria desain yang diinginkan<sup>[5]</sup>. Dengan analisis tersebut risiko timbulnya kerusakan fatal dapat diperkecil atau dihilangkan. Dalam analisis *fatigue life* umumnya mengikuti S-N di bawah ini<sup>[1]</sup>.



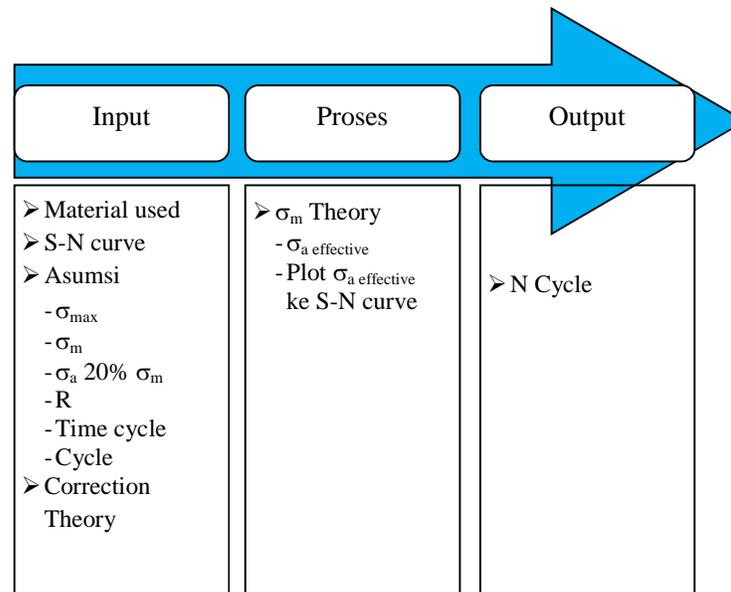
Gambar 1. S-N diagram plotted from the results of completely reversed axial fatigue test.

Dari diagram di atas dapat dijelaskan bahwa untuk  $N$  cycle  $10^0$ – $10^3$  dikategorikan *low cycle*,  $10^3$ – $10^6$  dikategorikan *high cycle* namun masih *finite cycle*, sedangkan di atas  $10^6$  dikategorikan *infinite cycle*.

### 1.1 TEORI

Analisis *fatigue* dapat dilakukan menggunakan pendekatan metode *stress life curve* atau *strain life curve*. Metode pendekatan *stress life curve* sesuai untuk menentukan *high cycle fatigue life*, sedangkan metode pendekatan *strain life curve* sesuai untuk menentukan *low cycle fatigue life*. sehingga disini dipakai pendekatan *stress life curve* (S-N curve) untuk menentukan *fatigue life* pada struktur landasan rangka yang dianalisis.

Proses perhitungan *fatigue life* pada ansys menggunakan metode pendekatan S-N curve, dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. Alur proses analisis fatigue

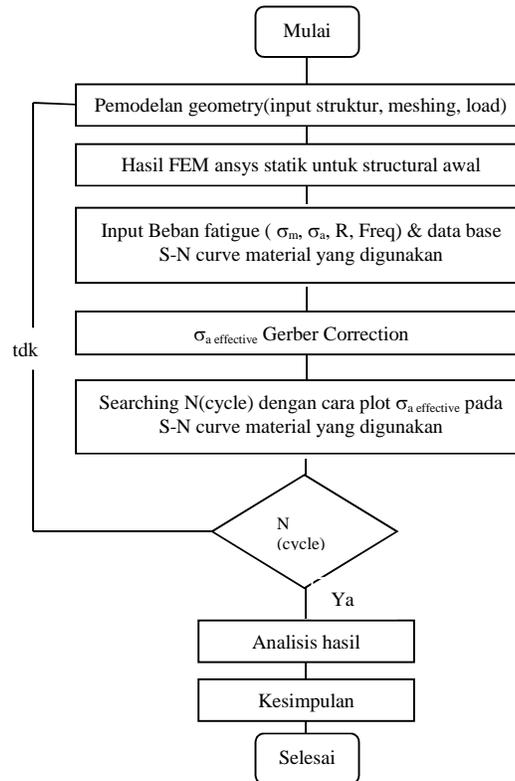
Penentuan material yang digunakan dalam struktur yang akan dianalisis, yaitu baja HSLA (*High-Strength Low-Allow Steels*), yang merupakan salah satu baja yang sering digunakan secara umum dalam dunia konstruksi karena harganya yang murah dan unggul dalam pengelasannya serta kemudahan dalam proses *machining*, kemudian diinputkan S-N curve material baja HSLA<sup>[6][7]</sup> tersebut secara manual ke dalam *engineering data ansys*, selanjutnya diasumsikan  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_a$  20%  $\sigma_m$ , R, *time cycle*, *cycle* tiap waktunya, dan ditentukan *correction theory*, sedangkan proses perhitungan untuk mencari  $\sigma_a$  effective.  $\sigma_a$  effective adalah  $\sigma_a$  setelah adanya faktor koreksi menurut gerber, yang meliputi:

1. Pengambilan referensi tegangan yang berasal dari analisis statis berupa tegangan *von-misses* ( $\sigma_{vm}$ )
2. Pemodelan S-N curve berdasarkan inputan berupa: *fatigue strength factor* dan tipe interpolasi
3. Penggenerate siklus pembebanan fatigue berupa ( $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_{min}$ ,  $\sigma_a$ ) yang didasarkan pada inputan  $\sigma_m$  effects.
4. Perhitungan *mean stress correction* untuk *men generate equivalent alternating stress* yang didasarkan pada inputan  $\sigma_m$  effects.
5. *Plot equivalent  $\sigma_m$*  ke S-N curve yang didasarkan pada inputan tipe interpolasinya.
6. Identifikasi *stress* pada model
7. Penentuan *fatigue life* ke desain yang ditentukan (*infinite life*).
8. Pemodelan siklus pembebanan *fatigue* yang didasarkan pada inputan skala pembebanan
9. Perhitungan *hysteresis* yang didasarkan pada *strain life*.

Setelah proses, berikutnya adalah *output* atau hasil berupa *fatigue life* yang ditampilkan dalam bentuk gambar dan data.

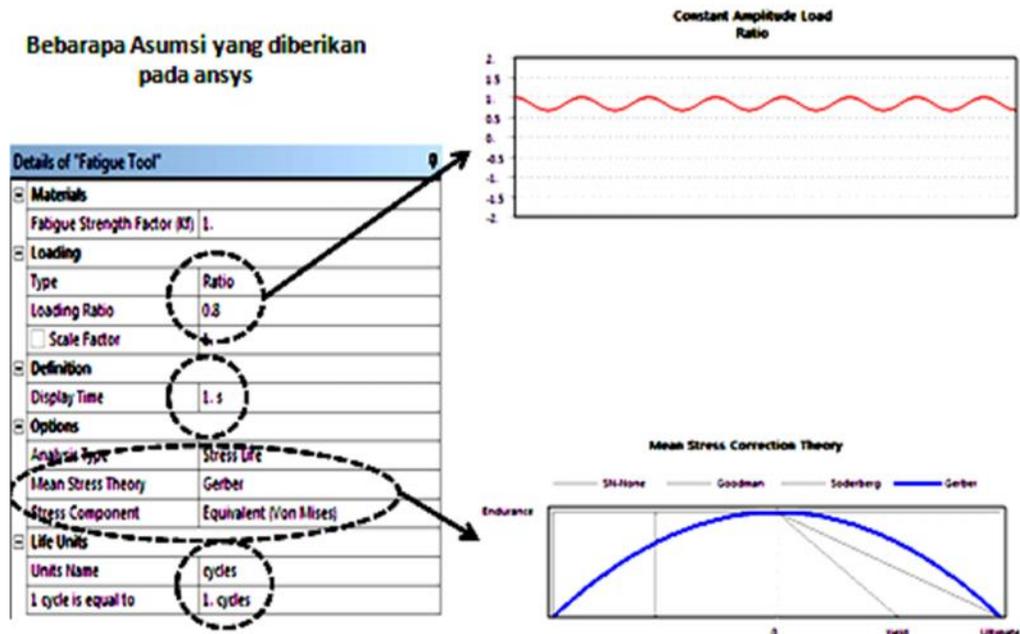
## 2. METODOLOGI

Dalam proses analisis *fatigue* mengikuti diagram alir sebagai berikut:



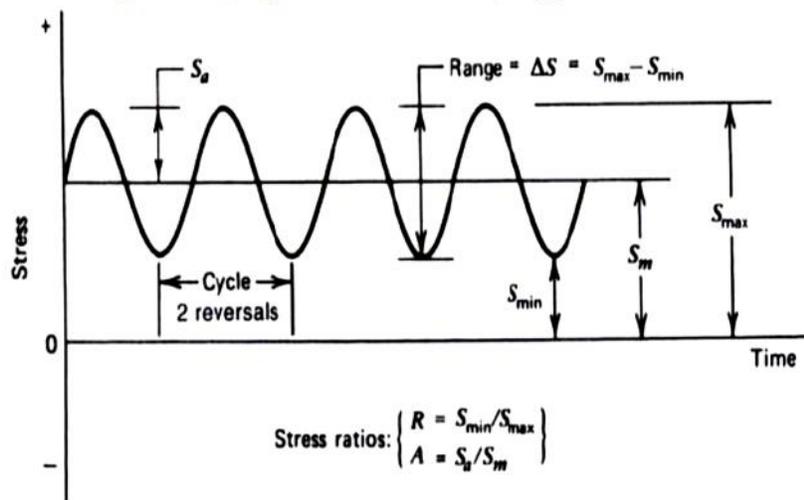
Gambar 3. Diagram Alir Analisis

Dari diagram alir dapat dijelaskan bahwa proses analisis *fatigue* dimulai dari penentuan spesifikasi *geometry* yang akan dianalisis, meliputi : ukuran, bentuk dan material yang digunakan. Kemudian dilakukan pemodelan *geometry* seperti yang akan dijelaskan pada bagian pemodelan elemen hingga. Langkah selanjutnya adalah *meshing* model, pada tahap ini ditentukan metode *meshing* yang akan digunakan baik otomatis (by *default* ansys) atau *manual setting* untuk selanjutnya dilakukan *generate*. Tahapan setelah *meshing* model adalah penentuan batasan kondisi (*support*) serta pembebanan yang diberikan akan dijelaskan pada bagian pemodelan pembebanan dan *support*. Tahapan berikutnya adalah pemberian asumsi yang berupa  $\sigma_{max}$  ,  $\sigma_m$ , R, F, serta *mean stress* yang digunakan dalam hal ini digunakan *Gerber mean stress theory* dikarenakan cocok untuk material *ductile*. Dari hasil perhitungan didapat asumsi R 0,82 dan F 1 Hz, untuk tiap *cycle*. Pada tampilan ansys dapat dilihat seperti di bawah ini:



Gambar 4. Asumsi yang dimasukkan dalam ansys

Pada gambar 4 dapat dijelaskan bahwa asumsi yang dapat dimasukkan dalam ansys adalah nilai R berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai 0,82, kemudian diinputkan pada kolom *loading type ratio* dan *loading ratio* sebesar 0,82. Untuk menginputkan nilai waktu sebesar 1s dapat dimasukkan pada kolom *definition display time* sebesar 1s. Untuk menentukan teori koreksi maka dapat dimasukkan pada kolom *mean stress theory* untuk diisi gerber, tipe analisisnya adalah *stress life*, dan *stress* komponennya adalah *equivalent von-misses*. Untuk menentukan *cycle* nya dapat di inputkan pada kolom *life unit*, unit name untuk diisi *cycle* dengan *1 cycle is equal to 1 cycle*. Hal ini dapat dijelaskan bahwa tiap 1 *cycle* berlangsung selama 1s, yang berarti frekuensi pembebanannya adalah 1 Hz. Selanjutnya dilakukan proses *running solution (generate result)* pada tahap ini akan didapatkan  $\sigma_m$ ,  $\sigma_a$  effective. Prosesnya adalah sebagai berikut: Load faktor yang diberikan adalah 1 maka tegangan *von-misses* ( $\sigma_{vm}$ ) sama dengan tegangan maksimumnya ( $\sigma_{max}$ ), sehingga  $\sigma_{vm} = \sigma_{max} = 1,9465e^7$  Pa (berdasarkan hasil Von-misses pada pembebanan statis). Karena  $\sigma_{max} = \sigma_{vm} = \sigma_m + \sigma_a$  maka dengan asumsi tegangan alternatungnya ( $\sigma_a$ ) 10 % dari tegangan rata rata ( $\sigma_m$ ), didapatkan:  $\sigma_{max} = \sigma_m + 0,1 \sigma_m$ . Sehingga  $\sigma_{max} = 1,1 \sigma_m \rightarrow \sigma_m = \sigma_{max} / 1,1$ . Jika nilai  $\sigma_{max}$  dimasukkan persamaan akan didapatkan nilai  $\sigma_m$  sebesar 1,7695e7 Pa. Dikarenakan  $\sigma_a = 0,1 \sigma_m$ , maka di dapatkan nilai  $\sigma_a$  sebesar 1,7695e6 Pa. Nilai rasio (R) ditentukan dengan cara:  $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ , dengan rumus  $\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a$  maka di dapatkan nilai  $\sigma_{min} = 1,5926e7$  Pa. Jika nilai  $\sigma_{min}$  dan  $\sigma_{max}$  dimasukkan dalam rumus R, maka didapatkan nilai  $R = 0,82$ . Asumsi berikutnya adalah satu *cycle* berlangsung selama 1 detik, hal ini berarti frekuensi pembebanan yang diberikan adalah 1 Hz.

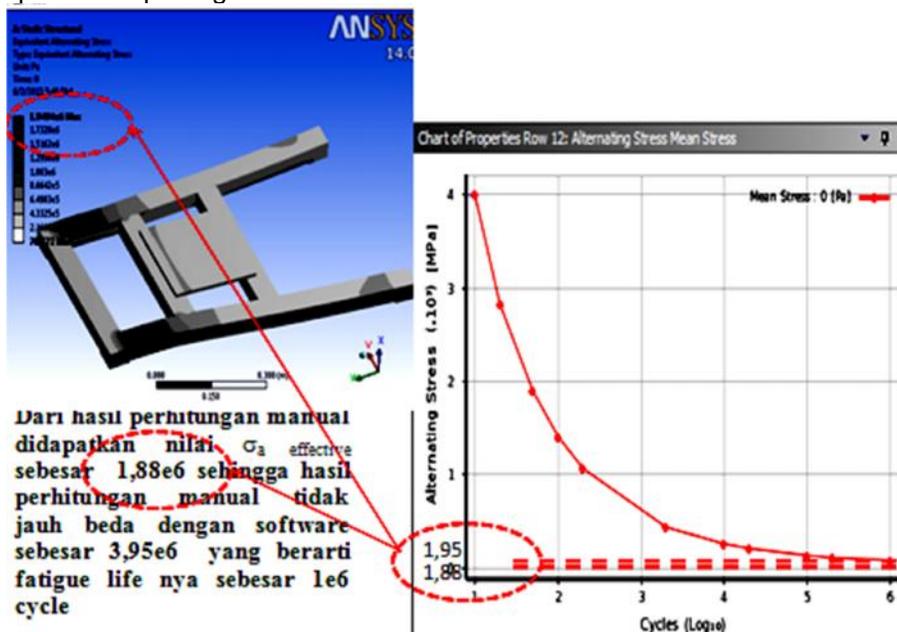


Gambar 5. Grafik pembebanan dengan *amplitude* konstan

Data  $\sigma_a$  yang dihasilkan pada tahap inputan ini tidak bisa dimasukkan langsung pada curva S-N sehingga diperlukan sebuah teori koreksi untuk mendapatkan  $\sigma_a$  effective. Dalam analisis ini ditentukan  $\sigma_m$  *correction theory* menggunakan *Gerber mean stress theory* untuk mendapatkan  $\sigma_a$  effective dikarenakan cocok untuk material *ductile* seperti SS400 [9]. Untuk menghitung  $\sigma_a$  effective berdasarkan *Gerber correction theory* digunakan rumus :

$$\sigma_a \text{ effective} = \sigma_a (S_u^2 / (S_u^2 - \sigma_m^2)) \dots \dots \dots (1)$$

Jika  $\sigma_a = 0,1 \sigma_m$ ,  $S_u = 460 \text{ MPa}$  (berdasarkan *Tensile Ultimate Strength* baja HSLA),  $\sigma_m = 1,7695e7 \text{ Pa}$  maka didapatkan nilai  $\sigma_a \text{ effective} = 1,8763e6 \text{ Pa}$ . hasil interpolasi  $\sigma_a \text{ effective}$  inilah yang akan di plot oleh ansys pada grafik S-N curve untuk menentukan nilai *fatigue life*. Hasil perbandingan perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan *software* ansys dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 6. Grafik perbandingan hasil perhitungan manual dengan *software* ansys dalam penentuan *fatigue life*.

Dari gambar 6. Dapat dijelaskan bahwa hasil perhitungan manual sebesar 1,88e6 Pa tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan pada software ansys sebesar 1,95e6 Pa. Sehingga nilai *fatigue life* yang dilihat pada tampilan ansys sebesar 1e6 cycle, dikarenakan nilai  $\sigma_a$  effective yang dihasilkan jauh di bawah nilai  $\sigma_a$  S-N curve HSLA.

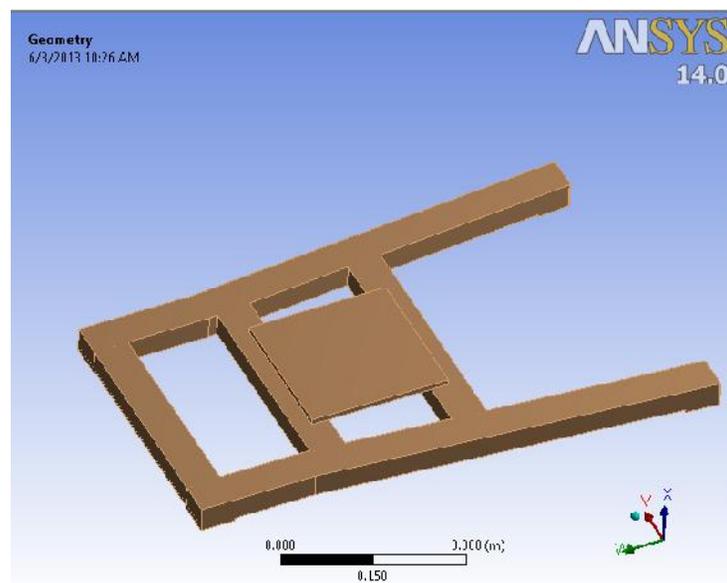
Langkah berikutnya adalah validasi, apakah terjadi *error* atau tidak, serta hasilnya sudah memenuhi atau belum, jika terjadi *error* atau tidak memenuhi maka proses akan diulang kembali, jika sudah tidak *error* dan memenuhi kriteria maka dilanjutkan kepada analisis hasil dan kesimpulan untuk kemudian proses selesai.

## 2.1. PEMODELAN ELEMEN HINGGA

Pemodelan elemen hingga (*finite element modeling*) dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai tegangan pada struktur yang dimodelkan. Pemodelan elemen hingga untuk struktur landasan rangka dilakukan dengan menggunakan *Autodesk inventor* untuk kemudian diimportkan ke dalam *software* analisis elemen hingga (*finite element analysis, FEA*) ANSYS 14.0 tahun 2012. Data struktur dapat dilihat pada tabel 1. Serta gambar struktur landasan rangka dapat dilihat pada gambar 7.

Tabel 1. Profil dan Dimensi Struktur Landasan rangka

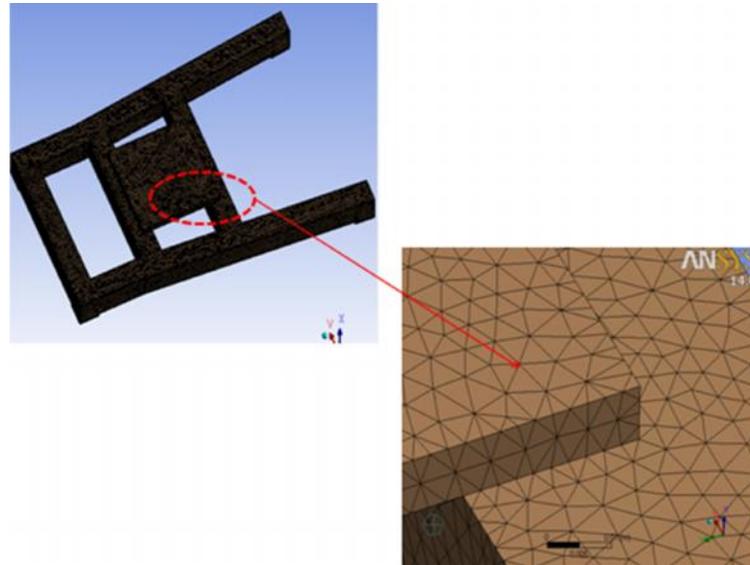
No	Keterangan	Dimensi
1	Struktur landasan rangka	Hollow 60 x 40 mm
2	Pelat dudukan beban kolom	t = 10 mm, l = 200 mm, p= 200 mm



Gambar 7. Struktur landasan rangka

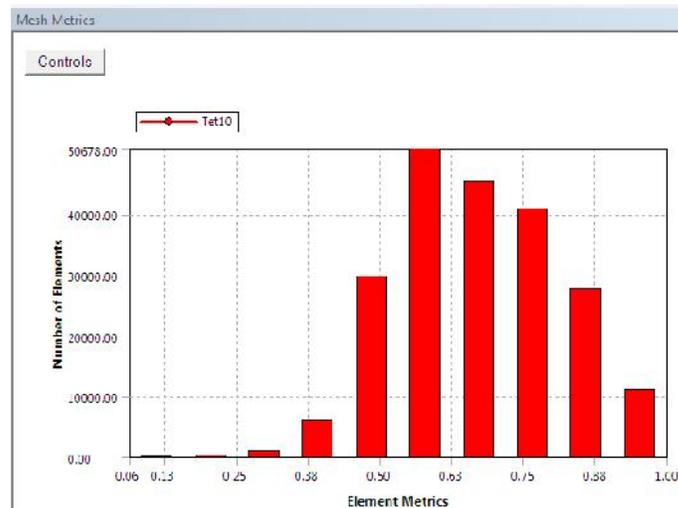
## 2.2. MESHING MODEL

Sebelum proses analisis dilakukan maka setelah pemodelan adalah melakukan proses *meshing* pada struktur landasan rangka sesuai dengan tahapan analisis pada *software* ansys<sup>[9]</sup> dan diagram alir analisis *fatigue*. Hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil *meshing* pada ansys.

Dari hasil *meshing* pada ansys didapatkan jumlah elemen sebanyak 212417 dan *node* sebanyak 339565 dan *degree of freedom* sebanyak 1018695. Selain itu juga dilakukan pengecekan terhadap kualitas *element* yang dihasilkan. Hasil pengecekan kualitas *element* dapat dilihat pada gambar 9.



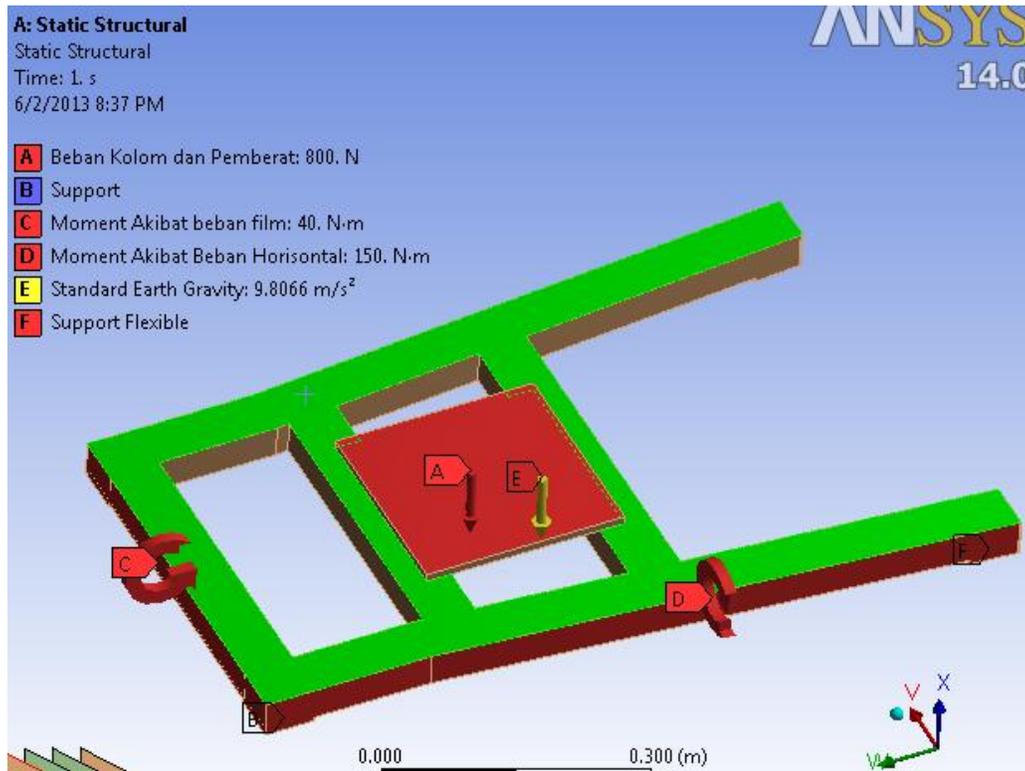
Gambar 9. Grafik kualitas *element*

Dari hasil grafik kualitas *element* dapat dijelaskan bahwa kualitas elemennya baik, hal ini dapat dilihat dengan arah grafik yang mendekati nilai satu. Dengan hasil kualitas yang demikian maka dapat diteruskan kelangkah berikutnya yaitu pembebanan *fatigue* dan diteruskan ke langkah *solution*

### 2.3. PEMODELAN PEMBEBANAN DAN SUPPORT

Pembebanan struktur landasan rangka dirancang dengan perhitungan bahwa beban yang diterima adalah 80 kg ditambah beban momen kesamping 150 N/m dan momen. Perhitungan ini didasarkan pada beban maksimal yang ada pada kolom dan lengan. Beban terdiri dari: beban pemberat dalam kolom, beban kolom, dan beban yang ada pada lengan. Struktur landasan rangka di support pada bagian bawah yang mewakili kondisi

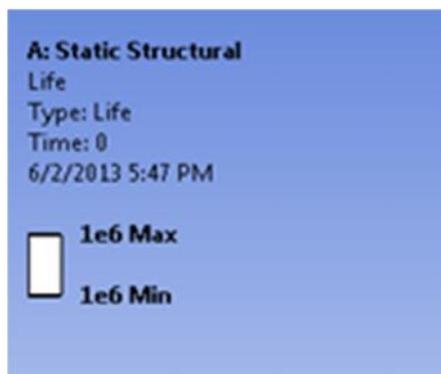
roda. Diberikan momen ke arah samping dan depan untuk mengasumsikan adanya gaya akibat beban pada lengan. Pemodelan dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 10. Pemodelan beban dan support.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Solusi di atur bahwa 1 cycle berlangsung selama 1 detik dengan toleransi pembebanan plus minus 10 %. Hasil solusi dapat dilihat pada gambar 11.



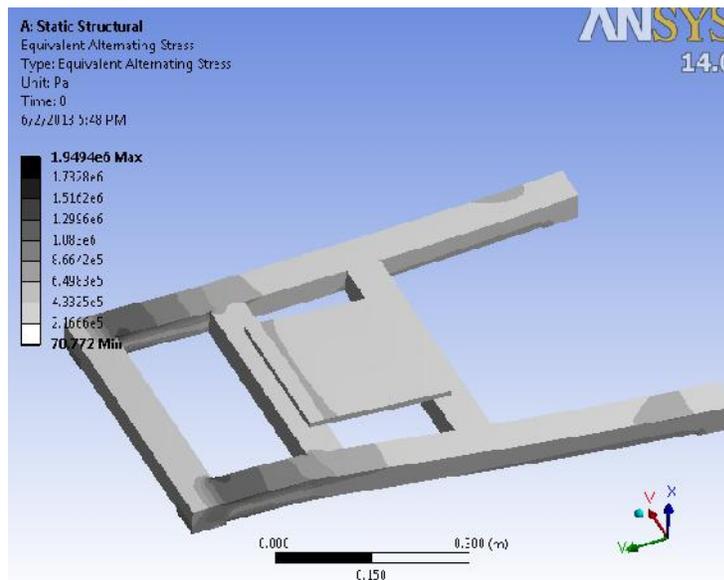
Gambar 11. Hasil solusi fatigue life



Gambar 12. Hasil safety factor

Dari hasil solusi didapatkan *life min* dan *max* sebesar  $1e6$  cycle. Hal ini berarti hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan bahwa desain rangka harus memenuhi *infinite cycle* atau batas kegagalannya sangat lama atau dapat dikatakan tidak akan pernah gagal. Kemudian kita lihat *safety* faktornya seperti terlihat pada gambar 12, dimana hasil analisis *safety factor* nya dapat dilihat bahwa desain yang dibuat mempunyai nilai *safety*

*factor* sampai di angka 15, yang mengindikasikan desain sangat kuat. Nilai *alternating stress* dari desain yang dibuat dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 13. Hasil solusi untuk alternating stress

Dari hasil analisis untuk *alternating stress* dapat dilihat bahwa nilai yang diperoleh masih jauh di bawah nilai minimal *alternating stress* pada curva S-N material baja HSLA.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa desain struktur landasan rangka yang didesain memenuhi kriteria *fatigue life* yang dikehendaki yaitu dengan nilai maksimal *fatigue life*  $1e^6$  cycle, sedang *safety factor* struktur landasan rangka yang di desain mencapai nilai 15 dengan asumsi frekuensi pembebanan 1 Hz dan toleransi 10%, dan hasil perhitungan manual  $\sigma_a$  effective tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan  $\sigma_a$  effective pada software ansys.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PRIMIS HILL, MCGRAW, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, eighth edition, Budynas-nisbett. 2005.
- [2] JUNG-KYU KIM, DONG-SUK SHIM, *The variation in fatigue crack growth due to the thickness effect*, International Journal of Fatigue, Vol. 22, pp. 611-618, 2000.
- [3] R. KIESELBACH, *Curious cases of failure*, Engineering Failure Analysis, Vol. 11, pp. 501-513, 2004.
- [4] VOLKER ESSLINGER, ROLF KIESELBACH, ROLAND KOLLER, BERNHARD WEISSE, *The railway accident of Eschede – technical background*, Engineering Failure Analysis, Vol. 11, pp. 515-535, 2004.
- [5] A.J. MCEVILY, *Failures in inspection procedures: case studies*, Engineering Failure Analysis, Vol. 11, pp. 167-176, 2004.
- [6] POPOV, E.P., *Mechanics of Materials*, Berkeley, California, 1984.
- [7] OBERG, ERIK., JONES, FRANKLIN., HORTON, HOLBROOK., RYFFEL, HENRY., MCCAULEY, CHRISTOPHER., *Machinery's Handbook 29th Edition*, 2012
- [8] MOAVENI, SAEED. *Finite Element Analisis: Theory And Application With ANSYS*. Pearson Prentice Hall : United States of America, 2008.
- [9] L. RAYMOND, E. P. BROWELL. *Predicting Fatigue Life with ANSYS Workbench*, International ANSYS Conference May 2-4, 2006.