

ANALISIS FATIK BERBANTUAN KOMPUTER

Irawan Malik

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jln. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang-30139
E-mail: irma@polisriwijaya.ac.id

ABSTRACT

This paper discusses fatigue analysis procedures using computer aided software to calculate fatigue life that produces an accurate and detailed simulations as compared to conventional means such as Fatigue Wizard Algor, Ansys Workbench and SolidWorks Simulation. Fatigue analysis using the results of static studies of stress or strain magnitude as input to calculate the fatigue life is largely made up of three main steps of determining the material, conduct analysis and evaluate the results. Paper also shows complete procedure to select and arrange images and material selection based on S-N curve, plots present the results of fatigue analysis in the form of percentage of damage and cycle life of failure pictures, and 2D and 3D curves from rainflow damage percentage and number of failure cycles on a model.

Keywords: FEM, Fatigue, Rainflow, Cycles, Time Histories

PENDAHULUAN

Berdasarkan pengamatan ternyata pembebanan berulang (*repeated loading*) akan memperlemah suatu bagian (objek) permesinan atau suatu struktur pada waktu tertentu (bulanan hingga tahunan) walaupun tegangan-tegangan yang terjadi pada bagian tersebut lebih kecil daripada batas tegangan-tegangan yang diijinkan, misal terhadap tegangan mulur (*yield*). Fenomena ini dikenal sebagai fatik (*fatigue*). Setiap siklus dari fluktuasi tegangan memperlemah objek tersebut hingga pada beberapa besaran (derajat). Setelah sejumlah siklus, objek menjadi semakin lemah dan kemudian gagal. Fatik penyebab utama (60-80%) dari kegagalan banyak objek terutama yang terbuat dari logam. Contoh-contoh dari kegagalan akibat fatik adalah bagian-bagian mesin yang berputar, baut, rel baja, bentangan, *girder*, sayap pesawat, kapal-kapal, poros kendaraan, jembatan dan tulang.

Studi linear dan nonlinear suatu struktur tidak mampu memprediksi kegagalan karena fatik. Perhitungan respon suatu desain hanya didasarkan pada beban-beban dan gangguan-gangguan lingkungan yang spesifik. Apabila asumsi-asumsi analisis dan tegangan-tegangan hitung yang diamati ada pada batas-batas yang diijinkan maka desainer akan menyimpulkan bahwa rancangan aman tanpa memandang berapa kali beban-beban tersebut diaplikasikan.

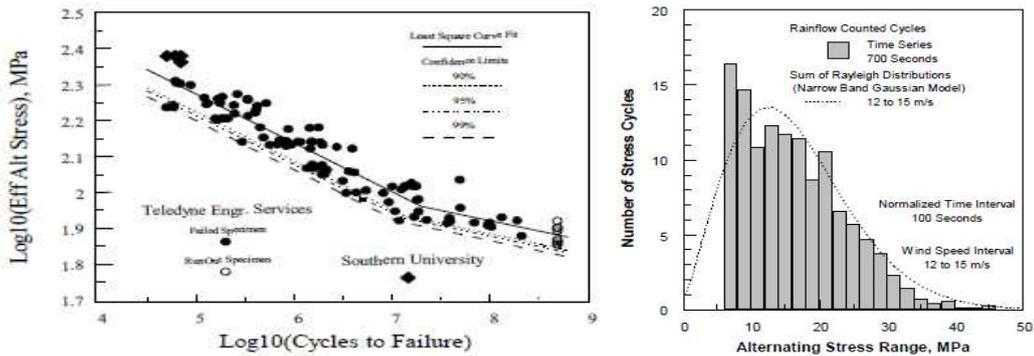
Berdasarkan sejarah, desainer melakukan kalkulasi manual bertumpu pada buku teks enjiniring dan diagram *Goodman* untuk memverifikasi umur fatik (*fatigue life*) dari suatu produk desain, namun cara ini hanya mempertimbangkan beberapa hal dan kemungkinan akan tidak akurat untuk geometri yang rumit termasuk pada assembling sistem.

Tulisan ini menampilkan suatu cara analisis fatik berbantuan komputer berperangkat lunak yang

memiliki struktur data analisis metode elemen hingga (FEM). Paket awal perangkat lunak analisis fatik untuk menghitung umur fatik berdasarkan tegangan menghasilkan simulasi yang akurat dan detil namun rumit, mahal dan besar. Sedangkan paket perangkat lunak modern untuk analisis fatik, yang akan diaplikasikan pada tulisan ini, seperti *Fatigue Wizard Algor*, *Ansys Workbench* dan *Simulation SolidWorks* mampu melaksanakan kalkulasi umur fatik berdasarkan tegangan atau regangan secara lebih akurat dan canggih.

TINJAUAN PUSTAKA

Herber dan Paul (1995) melakukan analisis fatik komponen turbin angin sumbu vertikal (VAWT) 34 [m] yang secara khusus menggunakan sampel representatif (*Sandia/DOE 34-m Test Bed*) dari beban siklus untuk menentukan beban *lifetime*. Beberapa hasil simulasinya ditampilkan pada gambar-gambar berikut ini. Sudu turbin dibuat dari bahan aluminium 6063 dengan properti S-N ditampilkan pada gambar 1 (kiri) diperoleh berdasarkan kaidah Goodman dengan tingkatan tegangan "efektif" berdasarkan tegangan maksimal (*ultimate*) sebesar 244 MPa (35,4 ksi). Untuk memprediksi umur pakai sudu tersebut digunakan algoritma perhitungan *rainflow* (histogram), gambar 1 (kanan), dengan membagi tegangan operasional menjadi enam interval (bin) kecepatan angin. Agar data *time series* cukup panjang maka masing-masing *bin* berisi minimal 200 putaran turbin. Distribusi rentang siklus tegangan yang berubah-ubah dimonitor sebagai fungsi dari waktu total yang terdapat pada segmen-segmen data. Masing-masing rekaman data *time series* dipilih agar memiliki kecepatan angin rerata mendekati pusat intervalnya masing-masing.



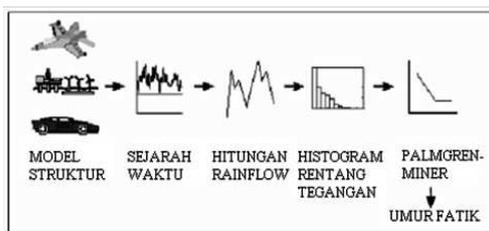
Gambar 1. Diagram S-N Aluminium 6063 dan Diagram *Rainflow* Siklus Tegangan
 Sumber: Hervert & Paul (1995)

Secil (2004) menganalisis umur fatik, di domain waktu dan frekuensi (gambar 2 dan 3), sebuah kantilever pelat aluminum dengan sebuah takik kecil di salah satu sisinya pada kondisi pembebanan tertentu. Hasil analisis tegangan eksperimen menggunakan sebuah *strain gage* uniaksial yang ditempelkan pada titik kritis terjadinya konsentrasi tegangan menampilkan regangan akibat getaran random yang selanjutnya digunakan untuk menampilkan simulasi profil umur (*life*). Perhitungan siklus *Rainflow* pada domain waktu dianalisis dengan mengambil sejarah waktu (*time history*) dari beban sebagai *input*. Jumlah siklus ditentukan dari *time history* ini. Analisis domain frekuensi diestimasi berdasarkan fungsi densitas spektra daya (*Power Spectral Density/PSD*) yang didapat dari sampel data regangan pada 1000 Hz. Momen estimasi PSD digunakan untuk menemukan estimasi fungsi probabilitas densitas berdasarkan ekspresi empiris Dirlik.

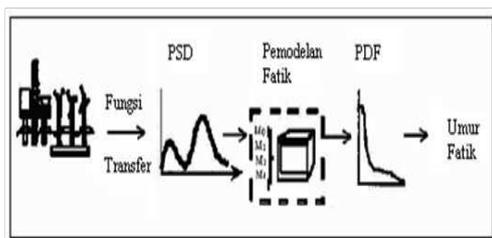
Setelah jumlah total siklus di kedua domain waktu dan frekuensi yang mendekati ditemukan, kaidah Palmgren-Miner, teori kumulatif kerusakan, digunakan untuk mengestimasi umur fatik. Hasil dari studi estimasi umur fatik di kedua domain dievaluasi secara komparatif. Pendekatan domain frekuensi diperoleh untuk menghasilkan sebuah alat bantu (*tool*) prediksi yang lebih aman secara marjinal.

Kegagalan karena fatik terjadi dalam tiga tahapan. Tahap pertama, satu atau lebih retakan (*cracks*) muncul dan berkembang di dalam material. Retakan dapat berkembang dimana-mana pada material namun biasanya terjadi pada permukaan-permukaan batas karena fluktuasi tegangan yang lebih tinggi dan akibat ketidaksempurnaan struktur mikroskopis material tersebut serta akibat goresan-goresan (*scratches*) pada permukaannya baik terjadi pada saat pemrosesan maupun terjadi pada saat pengerjaan lanjut pada material tersebut. Tahap kedua, beberapa atau semua retakan semakin besar akibat dari pembebanan berlanjut. Tahap ketiga, kemampuan dari sistem untuk menahan beban-beban terjadi berlanjut semakin menurun hingga kegagalan pun terjadi.

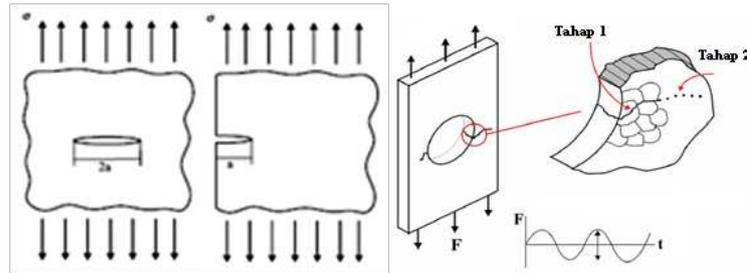
Tada (2000) menampilkan beberapa contoh klasik geometri retakan (gambar 4) untuk memudahkan dalam komputasi atau perkiraan dari faktor intensitas tegangan (kiri: $K_t = \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}$, kanan: $K_t = 1,1215 \cdot \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}$).



Gambar 2. Prosedur umum domain waktu kalkulasi umur fatik
 Sumber: Secil (2004)

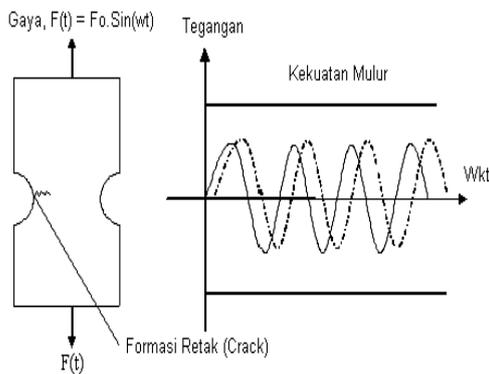


Gambar 3. Prosedur umum domain frekuensi kalkulasi umur fatik
 Sumber: Secil (2004)



Gambar 4. Contoh geometri retakan tengah pelat *Infinite* dan sisi pelat *Semi Infinite*
 Sumber: Tada (2000)

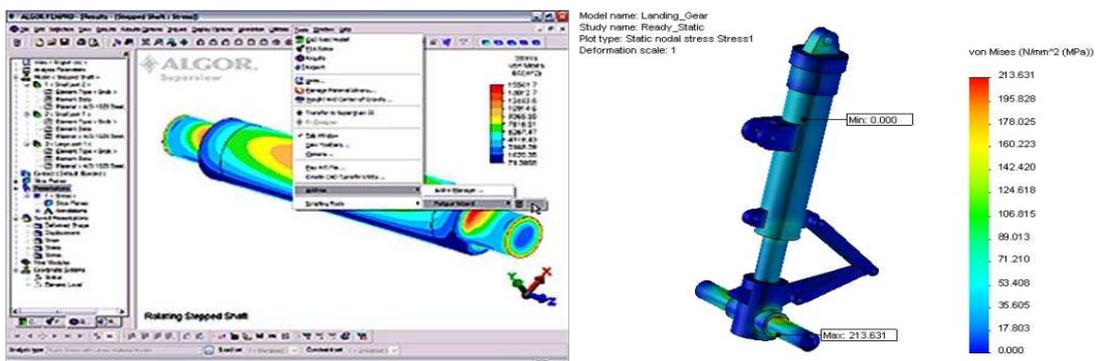
Sedangkan Secil (2004) menjelaskan proses fisik fatik, gambar 5, dari suatu spesimen yang mendapatkan aksi tegangan tarik beresilasi pada magnitud yang cukup, maka retakan kecil akan berinisiasi pada suatu titik terjadinya konsentrasi tegangan. Sekali retakan diinisiasi, maka retakan akan terus membesar dalam arah ortogonal terhadap arah beban tarik tersebut.



Gambar 5. Deskripsi proses fatik
 Sumber: Secil (2004)

PEMBAHASAN

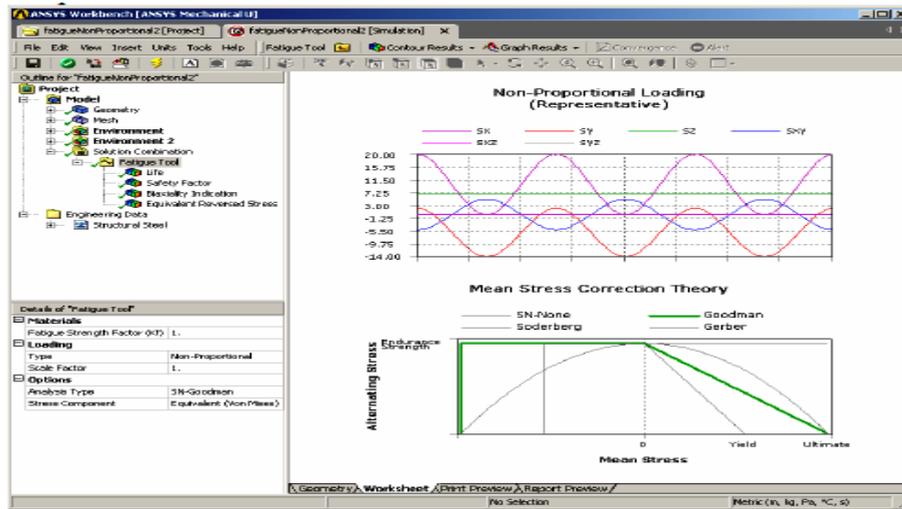
Analisis fatik berbantuan komputer menggunakan hasil studi statis (gambar 6) berupa besaran tegangan atau regangan sebagai *input* untuk kalkulasi umur fatik misal dari paket analisis FEM Algor dengan *Fatigue Wizard* dan *Simulation: Static* dan *Fatigue* pada *SolidWorks*. Studi statis diatur dengan pemilihan material yang sesuai, kondisi kontak, beban-beban dan fiksatur. Jenis *mesh* elemen yang tersedia biasanya adalah *solid*, *shell*, dan campurannya dengan objek-objek berupa permukaan (*surface*), bentangan (*beam*) dan padat (*solid*).



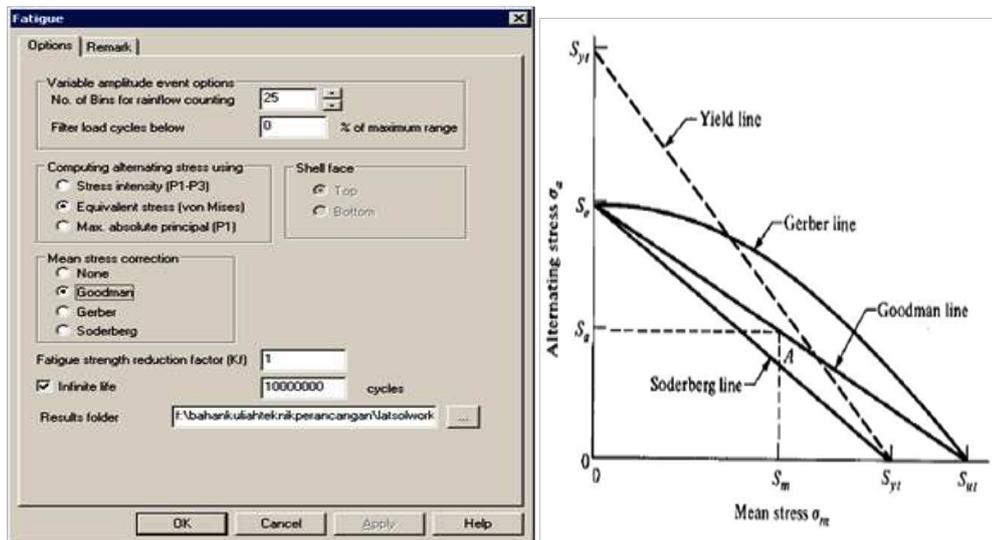
Gambar 6. Studi Statis Algor dan *SolidWorks*
 Sumber: Williams (2011 dan diolah)

Setelah mengatur properti awal (*fatigue tool*) untuk studi fatik (gambar 7 dan 8) maka langkah selanjutnya adalah mengatur parameter-parameter studi fatik yang dapat sedikit berbeda urutan dan

tampilan antar mukanya untuk masing-masing paket perangkat lunak tersebut, namun secara garis besar terdiri dari tiga permasalahan utama yaitu penentuan material, melakukan analisis dan evaluasi hasil.



Gambar 7. Pengaturan awal properti studi fatik Ansys Workbench
 Sumber: Hancu (2011)



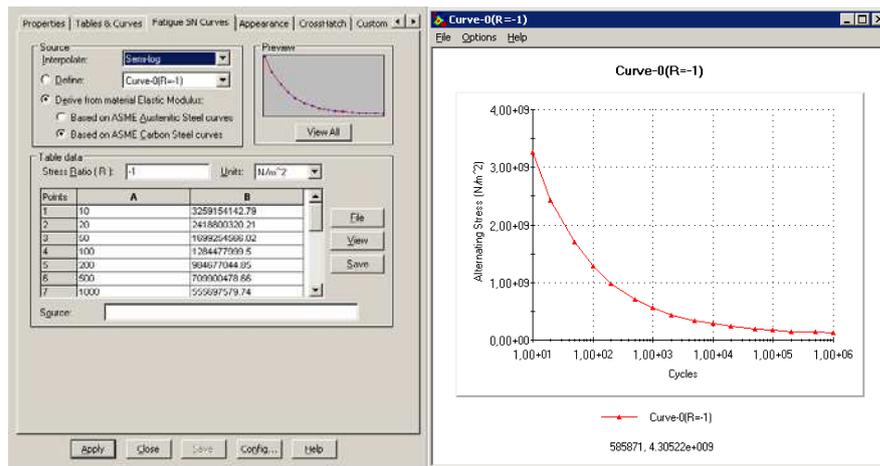
Gambar 8. Pengaturan Awal Properti Studi Fatik SolidWorks 2010
 Sumber: diolah

Jumlah siklus-siklus yang dibutuhkan untuk gagal fatik yang terjadi pada suatu lokasi tergantung pada material dan fluktuasi tegangan atau regangan. Informasi-informasi ini, untuk material tertentu, diberikan oleh suatu kurva yang disebut kurva S-N, ditampilkan pada gambar-gambar 9 dan 10 berikut ini.

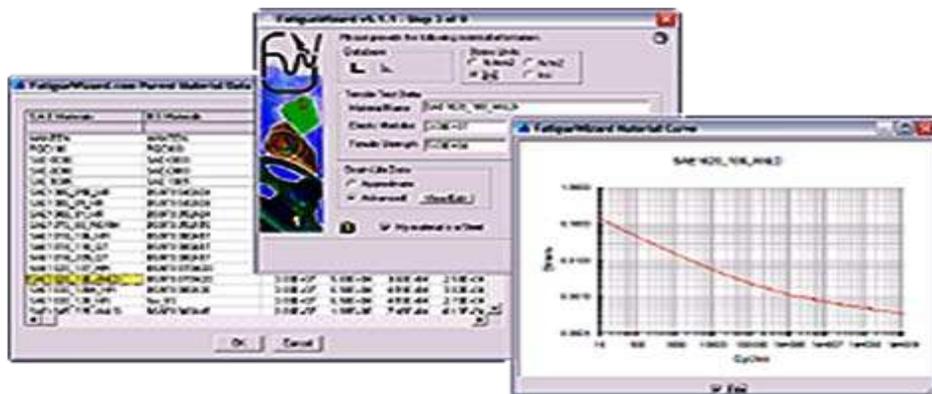
Nyatakan informasi material berupa modulus elastis (E , N/m^2) dan kekuatan tarik (σ_t , N/m^2) menggunakan *database* secara ekstensif, mampu edit atau nilai-nilai yang telah ditetapkan (*custom*). Kurva regangan (*strain*, E)-umur (*life*, N) atau tegangan (S)-umur (*life*, N) secara otomatis akan dimunculkan oleh paket perangkat lunak analisis fatik, yang dapat dilihat untuk memverifikasi akses (*entry*) data material. Selain itu, ada alternatif lain

untuk mengetikan data material yang didapat dari eksperimen atau sumber lain untuk menciptakan kurva khusus (*customized*). Faktor pengali (*multiplier*) dapat pula dimasukkan untuk mensimulasikan konsentrasi tegangan lokal seperti sambungan las atau faktor permukaan karena proses permesinan.

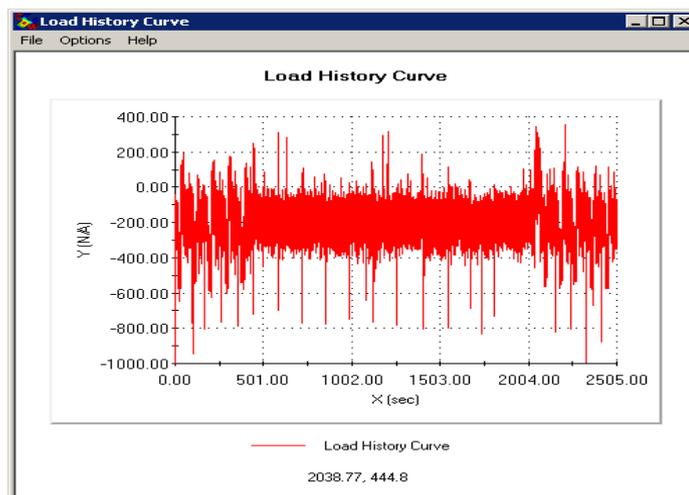
Definisikan sejarah beban (*load history*), gambar 11, dengan menyatakan nilai-nilai pengali beban terhadap waktu termasuk kasus-kasus pengali beban dan analisis transien. Kemudian nyatakan jumlah repetisi siklus beban yang dapat ditahan tanpa kerusakan (*failure*). Opsi-opsi lain juga disediakan oleh paket *Fatigue Wizard* untuk menghitung faktor keamanan dan jumlah siklus sampai kerusakan terjadi.



Gambar 9. Pengaturan pemilihan material dan Kurva S-N dari *SolidWorks 2010*
 Sumber: diolah



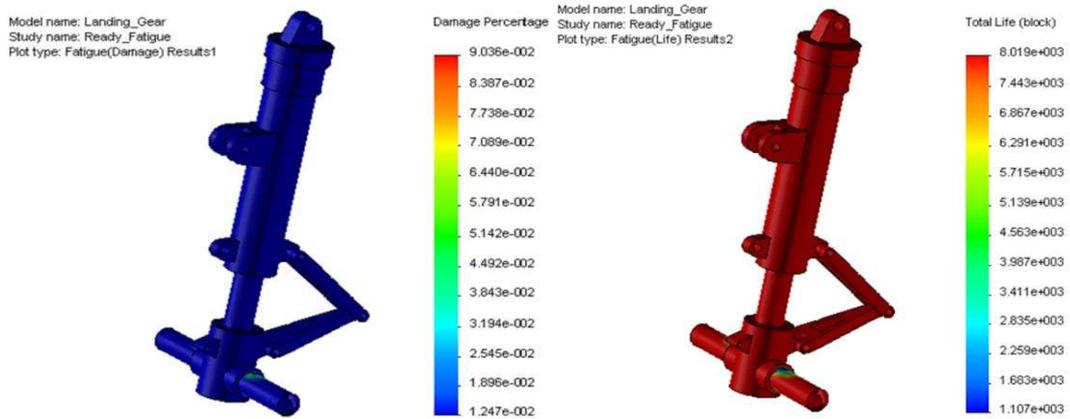
Gambar 10. Pengaturan pemilihan material dan kurva S-N dari *Fatigue Wizard*
 Sumber: Williams (2011)



Gambar 11. Contoh tampilan kurva sejarah beban variabel
 Sumber: hasil olahan

Setelah menjalankan proses kalkulasi fatik dengan mengklik ikon *Run* (ada kemungkinan berbeda untuk masing-masing paket perangkat lunak), sinopsis hasil-hasil (*results*) akan ditampilkan, yang menunjukkan apakah desain yang

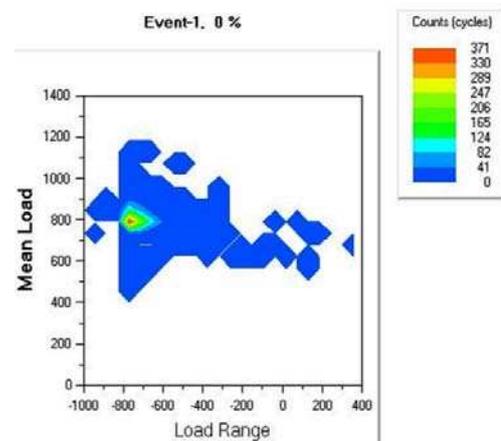
dibuat aman berdasarkan parameter-parameter yang telah diisikan termasuk menunjukkan prediksi jumlah siklus hingga terjadinya kegagalan (*failure*). Penampilan kontur hasil analisis dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.



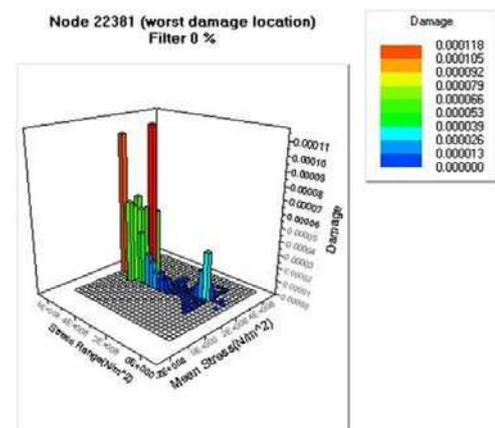
Gambar 12. Hasil analisis fatik persentase kerusakan dan umur siklus kegagalan

Gambar kerusakan (*damage factor*) menampilkan persentase umur dari suatu bagian pada suatu assembling (gambar 12 sebelah kiri) yang menunjukkan bahwa dari parameter yang diatur sebelumnya akan mengkonsumsi sekitar 9.036% umur model. Sedangkan gambar umur (life plot) menunjukkan kegagalan karena fatik dapat terjadi di sekitar poros horizontal (gambar 12 sebelah kanan) pada ± 8019 siklus. Tampilan kurva *Rainflow* dari paket analisis fatik berbasis komputer dapat berupa gambar 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D) seperti ditampilkan pada gambar-gambar 13, 14 dan 15 berikut ini.

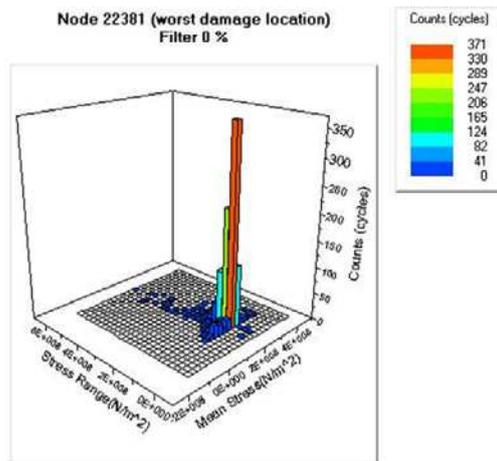
Ada dua pilihan dalam menampilkan *rainflow* di *SolidWorks 2010* yaitu *pertama*, *fast counting* yang digunakan bila studi fatik berasal dari satu studi statis dan hanya memiliki satu even variabel amplitudo. Dalam hal ini, program mengekstraksi bin secara langsung dari rekaman orisinal dan mengevaluasi kerusakan (*damage*) yang dihasilkan dari setiap bin di setiap *node* dan kemudian mengkalkulasi kerusakan akumulatif, dan *kedua*, disebut analisis penuh apabila even variabel amplitudo jamak digunakan, program mengkalkulasi tegangan-tegangan di setiap titik terhadap waktu untuk setiap rekaman variabel amplitudo di setiap *node*. Di setiap *node*, program mengkombinasikan tegangan-tegangan dan mengekstrak bin *rainflow* yang kemudian digunakan untuk mengevaluasi kerusakkan. Cara ini juga digunakan bila rekaman variabel amplitudo berkaitan dengan lebih dari satu studi berbeda interval atau perubahan (*shift*).



Gambar 13. Kurva 2D *Rainflow* jumlah siklus di *SolidWorks 2010*



Gambar 14. Kurva 3D *Rainflow* persentase kerusakan di *SolidWorks 2010*



Gambar 15. Kurva 3D Rainflow jumlah siklus di SolidWorks 2010

KESIMPULAN

Seperti terlihat pada prosedur dan contoh sebelumnya, ternyata paket-paket analisis umur fatik dari *Fatigue Wizard*, *Simulation SolidWorks*, dan *Ansys Workbench* dilengkapi penuh dengan fitur-fitur teoritis analisis fatik sebagai alat bantu yang mudah digunakan (*easy-to-use tool*) untuk melaksanakan kalkulasi, sehingga sangat memudahkan desainer dalam memverifikasi desain-desain produk. Secara khusus, teknik berbasis regangan (*strain*) merupakan fitur lainnya yang dapat mengikutkan sejarah beban nonlinear dan

dapat memberikan simulasi umur fatik yang lebih komplit, detil dan akurat dibandingkan dengan teknik berbasis tradisional yaitu tegangan (*stress*).

DAFTAR PUSTAKA

H. Tada, P. C. Paris dan G. R. Irwin. 2000. *The Stress Analysis of Cracks*, Handbook, New York: ASME Press.

Hancq, A., D., *Fatigue Analysis in the Ansys Workbench Environment*, <http://www.idac.co.uk/products/downloads/ANSYSFatigueModule.pdf>, diakses pada 30 November 2011

Herbert J. S., dan Paul S.V., Effects of Cyclic Stress Distribution Models on Fatigue Life Predictions, *Wind Energy, SED-Vol. 16*, ASME, pp. 83-90, 1995.

Secil A., Fatigue Life Calculation by Rainflow Cycle Counting Method, *Thesis: Middle East Technical University*, Teheran, 2004.

Williams, B., *Fatigue Analysis Made Easy*, http://www.algor.com/news_pub/tech_reports/2005/fatigue/ diakses pada 30 November 2011