

# Analisis J-integral Dengan *Adventure System*

Irsyadi Yani<sup>1)\*</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya  
yani\_irs@yahoo.com

## Abstrak

ADVENTURE (ADVanced ENgineering analysis Tools for Ula large Real world) adalah proyek ambisius Jepang yang menggunakan "komputer tercepat di dunia 30-100 TFLOPS pada tahun 2002", tapi juga digunakan untuk analisis GeoFEM yang dirancang untuk beroperasi dalam lingkungan komputasi virtual yang sama (Earth Simulator). Beberapa teknologi yang digunakan dalam system ini meliputi arsitektur berbasis modul, standarisasi format dan library, pemodelan yang efisien, visualisasi 3-d untuk model 10-100.000.000 derajat kebebasan (DOF) dan dapat dipakai dalam berbagai lingkungan computer parallel. Salah satu permasalahan yang dapat diselesaikan dengan ADVENTURE System adalah analisis retakan seperti analisis J-Integral yang memiliki derajat kebebasan besar. Kami telah mengembangkan Post Program untuk menganalisis sembarang retakan yang memiliki derajat kebebasan besar, dalam program ini, perhitungan nilai J-Integral untuk program 3-D telah menunjukkan efektivitas dengan menghitung contoh retakan. Program ini menunjukkan distribusi tegangan pada bidang tegak lurus ke arah retak yang sulit untuk mendapatkan nilai J-Integralnya. Setelah itu kita dapat menghitung J-integral Path pada permukaan. Hal penting dalam program post-processing adalah bagaimana cara mengevaluasi J-integral dan dapat menunjukkan distribusi tegangan pada bidang yang tegak lurus terhadap retak. Kami telah membuat beberapa fungsi untuk mengevaluasi nilai tersebut, seperti distribusi tegangan, untuk mendapatkan J-Integral Path dengan menggunakan metode pemotongan, dimana hal ini tidak tergantung pada bentuk dan letak mesh tersebut. Dengan menggunakan fungsi ini, evaluasi J-Integral dapat dengan mudah dilakukan dan didapat hasil dibandingkan dengan metode yang lain, dan hasil yang baik diperoleh.

**Kata kunci:** *Adventure System*, *J-Integral*, derajat kebebasan, retakan

## Abstract

ADVENTURE (Advanced Engineering Analysis Tools for large Ula Real World) is Japan ambitious project that uses the "fastest computer in the world 30-100 TFLOPS in 2002", but is also used for the analysis GeoFEM designed to operate in the same virtual computing environment (Earth Simulator). Some of the technology used in this system includes a module-based architecture, the standardization of formats and libraries, efficient modeling, 3-D visualization for models 10-100000000 degrees of freedom (DOF) and can be used as parallel computer in a variety of environments. One of the problems that can be solved with the ADVENTURE System is an analysis of cracks as the analysis J-Integral which has a large degree of freedom. We have developed Post Program to analyze any cracks that have a large degree of freedom, in this program, the calculation of the value of the J-Integral for 3-D program has demonstrated effectiveness by counting the cracks examples. This program shows the stress distribution in the plane perpendicular to the direction of the crack is difficult to obtain J-integral value. After that we can calculate the J-integral Path on the surface. It is important in the post-processing program is how to evaluate the J-integral and can indicate stress distribution in the plane perpendicular to the crack. We have made some functions to evaluate these values, such as stress distribution, to obtain J-Integral Path using the cutting method, where it is not dependent on the shape and location of the mesh. By using this function, J-integral evaluation can be easily performed and the obtained results are compared with other methods, and good results are obtained.

**Keywords:** *Adventure System*, *J-Integral*, degrees of freedom, cracks

## 1. PENDAHULUAN

Mekanika retakan adalah salah satu cabang dari mekanika solid yang mempelajari tingkahlaku retakan pada suatu benda akibat tegangan dan regangan. Permasalahan mekanika retakan terletak pada kenyataan bahwa fenomena pada ujung retakan (crack tip) diuiri dengan parameter global, misalnya panjang retakan tegangan nominal global (dihitung dengan mengabaikan retakan), bersama

---

\* Penulis korespondensi, tlp: 0711-580272  
Email: yani\_irs@yahoo.com

dengan batasan factor koreksi. Penggunaan mekanika retakan dalam menentukan factor-faktor kritis dalam rekayasa telah dikodekan oleh British standards PD 6493:1991 (*Guidance on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Fusion Welded Structures - currently under revision as BS 7910 - Guide on Methods of Assessing the Acceptability of Flaws in Structures*) dan CEBG R6 procedure (*Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects*).

Analisis retakan di dalam struktur adalah suatu aplikasi penting dalam memprediksikan umur dan toleransi kerusakan suatu komponen dan struktur. Retakan tidak bisa dihindarkan di dalam struktur, bagaimanapun fatigue life dari struktur tergantung pada ukuran dan posisi dari retakan tersebut. Dalam rangka meramalkan fatigue life dari suatu komponen, suatu studi mengenai retakan perlu untuk dilakukan. Metode Elemen Hingga adalah suatu solusi ideal untuk melakukan analisis pertumbuhan retakan dalam kaitan dengan ketelitian tinggi dari hasil menghitung padapermukaan dari suatu struktur dan kemampuannya untuk menampilkan fenomena yang terjadi pada daerah retakan tersebut.

Sangat banyak program-program aplikasi Metode Elemen Hingga berbasis CAD yang telah berkembang sekarang ini seperti Ansys, Cosmos Work, NASRAN, dan lain-lain. Sayangnya program-program tersebut berharga sangat mahal dan memerlukan spesifikasi yang tinggi baik untuk perangkat lunak maupun dari sisi perisiannya. Selain itu, program-program tersebut memiliki keterbatasan untuk menyelesaikan persamaan-persamaan metode elemen hingga yang memiliki derajat kebebasan yang sangat besar. Untuk itulah fokus dari riset ini adalah membuat sebuah program yang akan digunakan untuk menganalisis J-Integral dari suatu retakan dengan menggunakan program ADVENTURE System dengan metode element hingga yang memiliki derajat kebebasan yang besar sehingga dapat memvisualisasikan daerah retakan permukaan dua dan tiga dimensi dari daerah retakan tersebut.

## 2. METODE

Dalam masalah-masalah non-linear elastic-plastis, J-Integral muncul sebagai sebuah parameter untuk mengelompokkan permulaan retakan dan kemudian laju retakan, ketika suatu material yang memiliki retakan mengalami suatu kondisi pembebanan. Oleh karena itu teknik untuk mengevaluasi nilai J Integral telah ditentukan baik dalam 2-D dan konfigurasi retak 3-D.

Cherepanov dan Rice pertama kali memperkenalkan integral garis bebas kedalam permasalahan mekanika retakan Rice juga menunjukkan bahwa J-Integral identik dengan energy release rate

$$J = g = -(\partial u / \partial A) \quad (1)$$

Pada pertambahan retakan bidang, Hutchinson, Rice dan Rosengreen mendapatkan tegangan dan regangan singular pada ujung retakan dalam hubungannya dengan hukum kekerasan material, karenanya disebut juga HRR-field, dimana J berhubungan dengan factor intensitas seperti K seperti pada kasus tingkahlaku material linear-elastis. Untuk material linear-elastik, J berhubungan dengan factor intensitas tegangan yang ditunjukkan oleh:

$$J = g_I + g_{II} + g_{III} = \frac{1}{E}(K_I^2 + K_{II}^w) + \frac{1}{2G} K_{III}^2 \quad (2)$$

Dimana tanda I, II, dan III adalah tiga mode pada mekanika retakan where I, II, III denote the three fracture modes. J Integral untuk elasto-statik dapat diperoleh dari static boundary value problem:

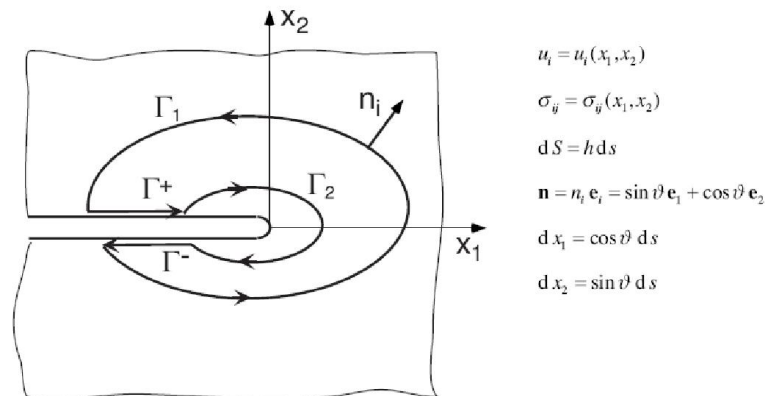
equilibrium conditions	$\sigma_{ij,j} = 0$	in $\mathcal{E}$
boundary conditions	$\sigma_{ij}n_i = \bar{t}_j$	on $\partial\mathcal{E}_\sigma$
	$u_i = \bar{u}_i$	on $\partial\mathcal{E}_u$
small (linear) strain	$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$	in $\mathcal{E}$
hyperelastic material	$\sigma_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \epsilon_{ij}}$	in $\mathcal{E}$

\*diambil dari W. Brocks: Fracture Mechanics

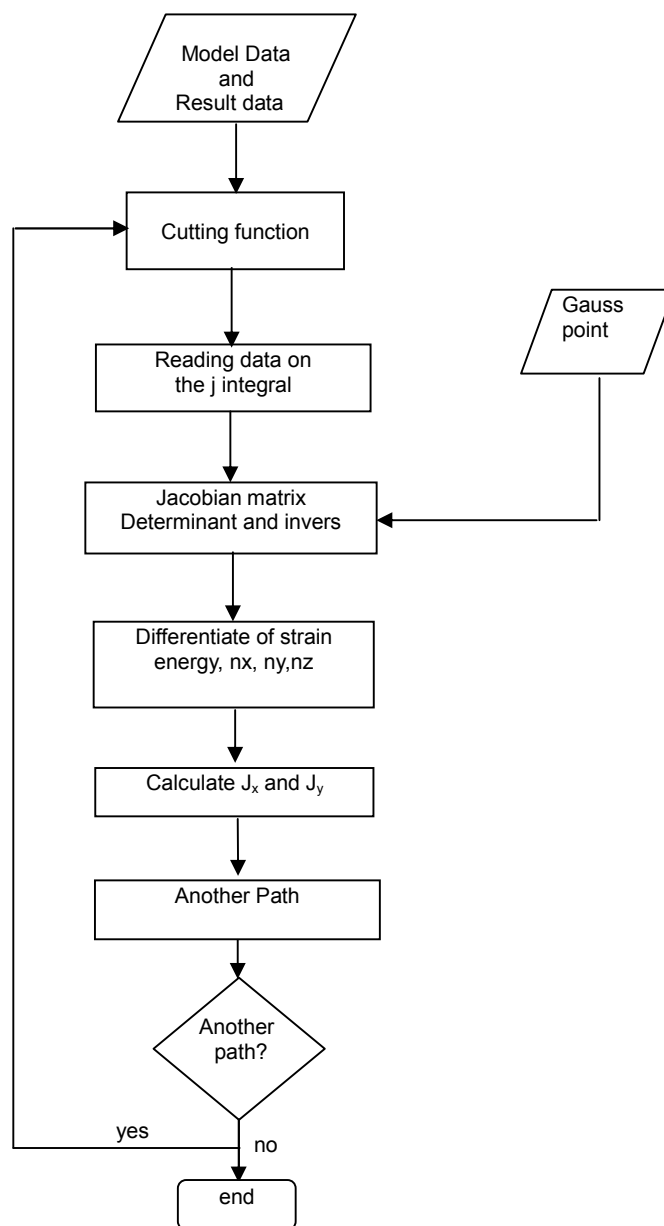
Kita memperoleh komponen-komponen gaya pada material

$$F_i = \oint_{\partial B} [W(\epsilon_{mn})n_i - \sigma_{jk}n_k u_{j,k}] dS \quad (3)$$

Dimana bernilai non-zero jika B mengandung sebuah singularity dan diabaikan jika tidak. Penerapan J-Integral pada suatu material dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini



Gambar 1 Definisi kontur untuk evaluasi J-Integral (W. Brocks: Fracture Mechanics)



Gambar 2 Diagram alir prosedur analisa J-Integral

Kontur tertutup:

$$\Gamma_0 = \Gamma_1 \cup \Gamma^+ \cup \Gamma_1 \cup \Gamma^+ \quad (4)$$

Tidak mengandung sebuah singularity, sehingga

$$\frac{F_i}{h} = \oint_{\Gamma} [W n_i - \sigma_{jk} n_k u_{j,i}] ds = \int_{\Gamma_1} [ ] ds + \int_{\Gamma^+} [ ] ds + \int_{\Gamma_2} ds + \int_{\Gamma^-} [ ] ds = 0 \quad (5)$$

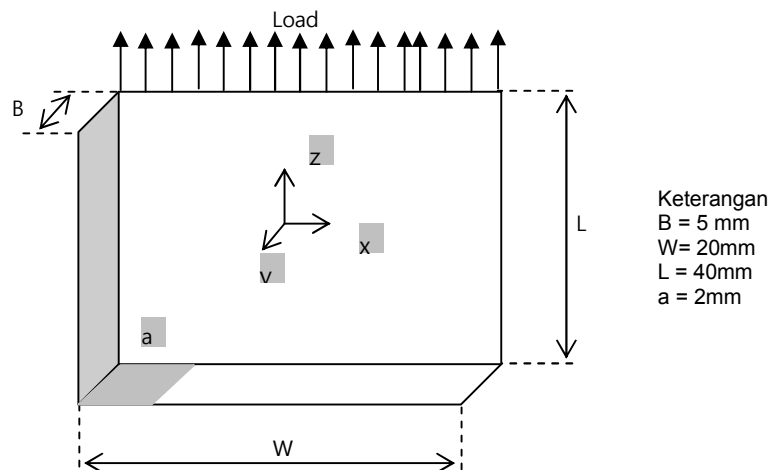
Didefinisikan bahwa kontur integrasi adalah anti-clockwise,

$$J = \oint_{\Gamma} [W dx_2 - \sigma_{jk} n_k u_{j,1} ds]$$

Untuk menghitung J-integral, dalam hal ini untuk kasus 3-D, akan dikembangkan sebuah program post-processing. Program ini dikembangkan berdasarkan Adventure System. Dengan menggunakan formulasi metode elemen hingga, program sederhana untuk menganalisa J-Integral 3-D dapat dilakukan. Adventure System menggunakan elmen tetrahedron dan hexahedron.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model untk analisis J-Integral hanya menggunakan setengah saja, benda dikenai beban tarik

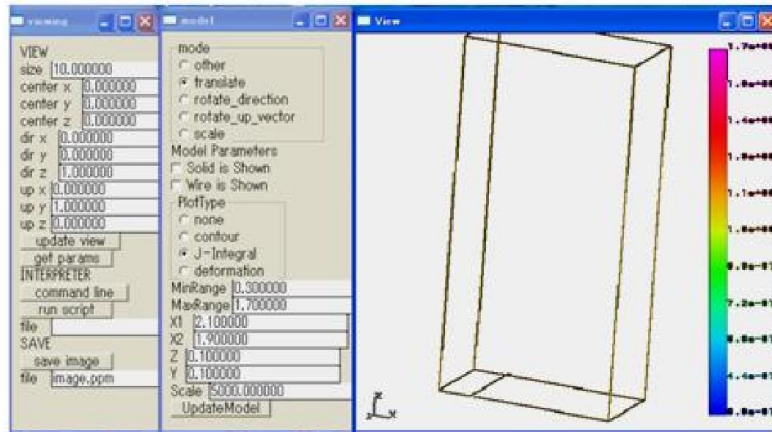


Gambar 3 Pemodelan untuk analisa retakan

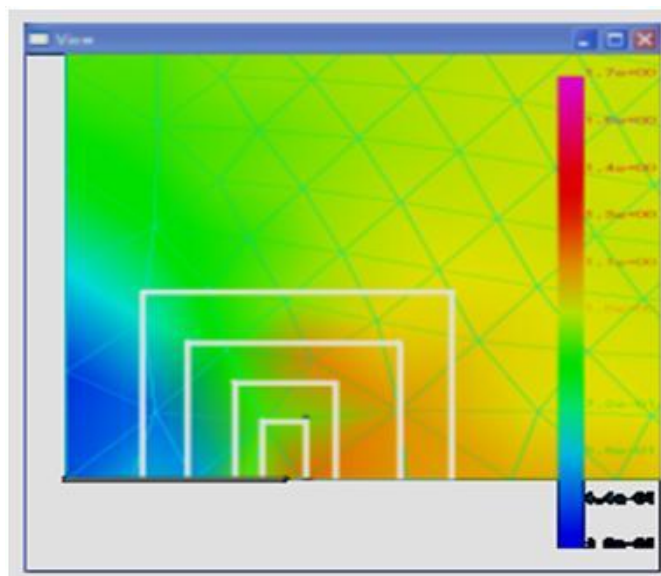
Model dianalisis dengan Adventure System. Operasional penggunaan Adventure System adalah sebagai berikut:

- Penyapan data mesh (ADVENTURE TetMesh). Modul ini membentuk mesh pada model yang hendak dianalisis secara otomatis.
- Menentukan kondisi batas (ADVENTURE BCTool)
- Menghubungkan kondisi batas dengan mesh serta material dengan menggunakan ADVENTURE BCTool
- Dekomposisi dari domain (ADVENTURE Metis)
- Analisis Metode Elemen Hingga (ADVENTURE Solid). Modul ini akan melakukan analisis dari hasil dekomposisi dan dapat melakukan analisis secara parallel dengan menggunakan PC-Cluster berbasis Linux.
- Post-Processing (ADVENTURE Visual), modeul ini memvisualisasikan hasil analisis. Proses parallel dapat dilakukan untk kasus-kasus yang memiliki derajat kebebasan besar.

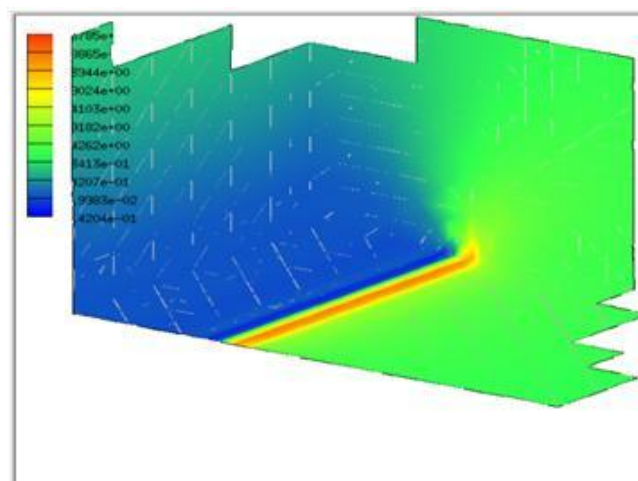
Dari hasil Post Processing dapat kita lihat hasil analisisnya seperti ditunjukkan pada gambar 4, gambar 5, dan gambar 6.



Gambar 4 Visualisasi model beserta retakannya



Gambar 5 J-integral path



Gambar 6  $\sigma_z$  pada puncak retakan

Tabel 1 memperlihatkan nilai hasil analisa J Intergral. Hasil analisa menunjukkan nilai yang berdekatan dengan perhitungan secara teoritisnya,

Tabel 1 Nilai J ( $\times 10^{-3}$  kgf/mm)

Number of path	J values	Theoretical
1	5.34	5.46
2	5.33	5.46
3	5.28	5.46
4	5.24	5.46

#### 4. SIMPULAN

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, dapat diambil sebagai berikut

- Nilai J-Integral adalah mendekati nilai teoritisnya, sehingga analisa J-Integral adalah valid
- Biaya yang digunakan adalah free, karena ADVENTURE System adalah software terbuka
- Dapat digunakan untuk analisa masalah yang memiliki derajat kebebasan yang besar

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rice, J. R. Rosengren, *F. Plane Strain Deformation near a Crack Tip in a Power-law Hardening Material*. J. Mech. Phys. Solids 10:1-12. 1968.
- [2] Broek, David, *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, 4<sup>th</sup> Edition, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 1986
- [3] Meguid, S.A., *Engineering Fracture Mechanics*, Elsevier Science Publishers LTD, 1989
- [4] Adler, Kanninen and Jaffe, Rossenfield, *Materials Science and Engineering Series*, McGraw Hill, 1969.
- [5] Pilkey, Walter D., and Wunderlich, Walter, *Mechanics of Structures Variational and Computational Methods*, CRC Press Inc, 1994.
- [6] Zienkiewicz, *The Finite Element Method*, 3<sup>rd</sup> Edition, McGraw Hill, 1977.