



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS PERAMBATAN RETAK STATIK AKIBAT BEBAN
TEKANAN UAP PADA *LAST STAGE MOVING BLADE*
TURBIN UAP MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD*
(*FEM*)**

TUGAS AKHIR

**MEIDIKA SHANDRA ILVANA
L2E 006 063**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
DESEMBER 2010**

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Meidika Shandra Ilvana
NIM : L2E 006 063
- Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT.
2. Ir. Eflita Yohana, MT.
- Jangka Waktu : 8 (delapan) bulan.
- Judul : ANALISIS PERAMBATAN RETAK STATIK AKIBAT BEBAN TEKANAN UAP PADA *LAST STAGE MOVING BLADE* TURBIN UAP MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD (FEM)*.
- Isi Tugas : Menganalisa tegangan dan menganalisa perambatan retak (*crack propagation*) secara statik akibat beban tekanan uap yang diterima sudu gerak tingkat akhir (*last stage moving blade*) turbin uap dengan *Finite Element Method (FEM)* menggunakan *software ANSYS release 12.0*.

Semarang, 23 Desember 2010

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT
NIP. 196605212006041010

Co. Pembimbing

Ir. Eflita Yohana, MT
NIP. 196205281990012001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Sarjana ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : MEIDIKA SHANDRA ILVANA

NIM : L2E 006 063

Tanda Tangan :

Tanggal : 23 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

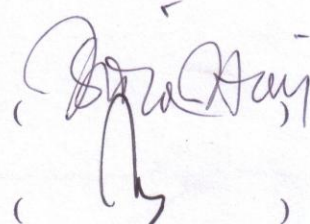
Tugas Sarjana ini diajukan oleh:

NAMA : MEIDIKA SHANDRA ILVANA
NIM : L2E 006 063
Jurusan : TEKNIK MESIN
Judul Tugas Sarjana : ANALISIS PERAMBATAN RETAK STATIK AKIBAT
BEBAN TEKANAN UAP PADA *LAST STAGE MOVING*
BLADE TURBIN UAP MENGGUNAKAN *FINITE*
ELEMENT METHOD (FEM)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT

()

Pembimbing II : Ir. Eflita Yohana, MT

()

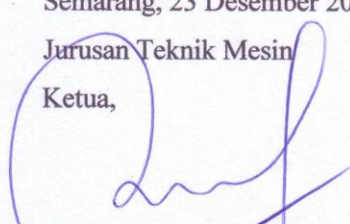
Penguji : Dr. Achmad Widodo, ST, MT

()

Semarang, 23 Desember 2010

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar T.K

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS SARJANA UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MEIDIKA SHANDRA ILVANA
NIM : L2E 006 063
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : Tugas Sarjana

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“ANALISIS PERAMBATAN RETAK STATIK AKIBAT BEBAN TEKANAN UAP PADA *LAST STAGE MOVING BLADE* TURBIN UAP MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD (FEM)*”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 23 Desember 2010

Yang menyatakan,

(MEIDIKA SHANDRA ILVANA)
NIM. L2E 006 063

ABSTRAK

Kegagalan turbin uap di bagian sudu gerak tingkat akhir yang terdapat pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) terjadi setelah beroperasi selama beberapa tahun. Berdasarkan pengamatan secara *visual*, ditemukan keretakan awal (*initial crack*) pada *trailing edge* penampang *airfoil* di daerah sambungan antara bagian bilah dengan akar sudu gerak. Keretakan yang terjadi diakibatkan peristiwa erosi sehingga bilah sudu gerak akan tereduksi ketebalannya secara terus menerus selama turbin beroperasi pada kondisi tersebut. Mekanisme kegagalan pada sudu gerak terjadi ketika retak diperlebar karena adanya getaran akibat putaran rotor turbin dan pembebanan aliran uap secara kontinyu, sehingga mengakibatkan kegagalan lelah pada siklus tinggi (*high cycle fatigue*). Pada penelitian ini akan dibahas mengenai perambatan retak statik (*static crack propagation*) pada sudu gerak tingkat akhir turbin uap akibat beban tekanan uap dengan memberikan retak awal pada daerah yang terjadi konsentrasi tegangan kemudian divariasikan panjangnya. Analisa yang digunakan berbasis *Finite Element Method (FEM)* dengan memberikan beban *bending* dari tekanan uap dan beban *tension* akibat gaya sentrifugal (*centrifugal force*) pada bilah sudu gerak. Dari pemodelan tersebut diperoleh nilai tegangan *Von-Misses* untuk kriteria kegagalan statik dan *Stress Intensity Factor (SIF)* modulus 1, K_I sebagai parameter utama perambatan retak terbuka (*opening crack*). Material yang digunakan dalam pemodelan sudu gerak adalah *AISI 403 Stainless Steel* dengan nilai *yield strength* dan *fracture toughness* masing-masing sebesar 675 MPa dan $155 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Dari hasil analisa statik dapat diprediksikan bahwa pada daerah kegagalan (*failure zone*) dengan analisa tegangan kriteria kegagalan statik melalui nilai tegangan *Von-Misses*, sudu gerak akan gagal ketika panjang retak mencapai 38 mm. Sedangkan pada analisa perambatan retak statik modulus 1 dengan pendekatan 2 Dimensi diprediksikan retak akan merambat ketika panjang retak mencapai 41 mm. Perbedaan hasil yang didapatkan karena faktor geometri yang digunakan dalam penelitian ini.

Kata kunci: Kegagalan turbin uap, *initial crack*, *static crack propagation*, *FEM*, tegangan *Von-Misses*, *SIF*.

ABSTRACT

Steam turbine failure at the last stage moving blade contained in Geothermal Power Plant system occurred after operating for several years. Based on visual observation, initial crack found at trailing edge airfoil cross-section in the connection between blade and the root of moving blade. Cracks that occur due to erosion so the blade thickness will continuously reduced during the turbine operating in this condition. The failure mechanism when the crack widened because of vibrations due to turbine rotor and steam flow in a continuous loading, resulting in high cycle fatigue. This research will be discussed about static crack propagation on the last stage moving blade due to steam turbine pressure loading by giving the initial crack occurs in stress concentration areas and varied crack length. The analysis used based Finite Element Method (FEM) by giving the bending load of the steam pressure and tension loads due to centrifugal force on moving blade. Values obtained from modeling the Von-Misses stress for static failure criteria and Stress Intensity Factor (SIF) mode 1, K_I as the main parameters of open crack propagation. Material used in the modeling of moving blade is AISI 403 Stainless Steel with a value of yield strength and fracture toughness respectively 675 MPa and $155 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$. From the static analysis results can be predicted that at failure zone with stress analysis with static failure criteria through the Von-Misses stress values, the blade motion will fail when the crack length reached 38 mm. Then, in static crack propagation mode 1 analysis with 2 Dimension approach predicted that crack will propagate when the crack length reached 41 mm. The difference results obtained for the geometry factor used in this study.

Keyword: steam turbine failure, initial crack, static crack propagation, FEM, Von-Misses stress, SIF.

MOTTO dan PERSEMBAHAN

Motto :

✚ Janganlah hanya mencoba untuk menjadi manusia sukses, tetapi jadilah manusia yang memiliki otak yang bernilai.

(**Albert Einstein**)

✚ Seorang intelektual adalah orang yang pikirannya menjaga pikirannya sendiri.

(**Albert Camus**)

✚ Visi tanpa eksekusi adalah lamunan. Eksekusi tanpa visi adalah mimpi buruk.

(**Japanese Proverb**)

Dengan penuh ketulusan dan kerendahan hati penulis mempersembahkan Tugas Sarjana ini kepada:

✚ Ayahanda *Ma'ruf Hidayat* dan Ibunda *Sri Sumiyati* yang telah dengan sabar membesarkanku, memberikan kasih sayangnya sepanjang masa, mendukung dalam setiap langkah perjuanganku, dan doa restunya yang senantiasa menyertaiku,

✚ Adikku *Arditya Alvien Rayendra* yang selalu penulis banggakan,

✚ Orang-orang yang aku sayangi... *I LOVE YOU ALL*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas Sarjana yang berjudul “**Analisis Perambatan Retak Statik Akibat Beban Tekanan Uap pada *Last Stage Moving Blade* Turbin Uap Menggunakan *Finite Element Method (FEM)***” ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis selama penulisan Tugas Sarjana ini, antara lain:

1. Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, pengarahan dan masukan kepada penulis sehingga Tugas Sarjana ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya,
2. Ir. Eflita Yohana, MT selaku Co. Pembimbing atas bimbingan, pengarahan dan masukan kepada penulis selama penulisan Tugas Sarjana ini,
3. PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng sebagai objek observasi dalam penelitian Tugas Sarjana ini,
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang turut membantu dalam pelaksanaan dan penulisan Tugas Sarjana ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penulis menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki sehingga tentu saja penulisan Tugas Sarjana ini jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang.

Semarang, Desember 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAKSI	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
NOMENKLATUR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metode Penulisan.....	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II SISTEM TENAGA UAP	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 Sumber Energi Panas Bumi	10
2.2.2 Pemodelan Sistem Tenaga Uap.....	11
2.2.3 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	12
2.2.4 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP)	14
2.2.5 Bagian-Bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).....	17

2.2.6	Turbin Uap (<i>Steam Turbine</i>)	22
2.2.6.1	Prinsip Dasar Turbin Uap	22
2.2.6.2	Klasifikasi Turbin Uap.....	23
2.2.6.3	Turbin Aksi (Impuls) dan Turbin Reaksi	27
2.2.6.4	Sudu Gerak (<i>Moving Blade</i>)	47
BAB III MEKANIKA PERPATAHAN		54
3.1	Pendahuluan	54
3.2	Konsep Dasar Mekanika Perpatahan	55
3.3	Modus Retak dan Faktor Intensitas Tegangan (<i>Stress Intensity Factor</i>)	56
3.4	Faktor Ketangguhan Retak (<i>Fracture Toughness Factor</i>).....	65
3.5	Mekanika Perpatahan pada Elemen Hingga	66
3.6	Perpatahan pada Sudu Gerak Turbin Uap.....	69
3.6.1	Gaya yang Bekerja pada Sudu Gerak Turbin Uap.....	69
3.6.2	Kegagalan pada Sudu Gerak Turbin Uap	73
BAB IV PEMODELAN <i>LAST STAGE MOVING BLADE</i> DENGAN METODE ELEMEN HINGGA		75
4.1	Metode Elemen Hingga.....	75
4.1.1	Konsep Dasar Analisis Metode Elemen Hingga.....	76
4.1.2	Jenis Elemen pada Metode Elemen Hingga.....	76
4.2	Spesifikasi Masalah.....	80
4.3	Metodologi Pemodelan	82
4.4	Pemodelan Analisa Tegangan pada Sudu Gerak Tingkat Akhir.....	87
4.4.1	Penggambaran Geometri Model	87
4.4.2	Pendefinisian Material Model	89
4.4.3	Diskretisasi (Pembagian Elemen Hingga/ <i>Meshing</i>).....	91
4.4.4	Pendefinisian <i>Constraint</i>	92
4.4.5	Pemodelan Pembebanan pada Sudu Gerak	93
4.5	Pemodelan Perambatan Retak pada Sudu Gerak Tingkat Akhir	95
4.5.1	Proses <i>Pre-processing</i>	95

4.5.2	<i>Processing (Solving)</i>	101
4.5.3	<i>Postprocessing</i>	102
BAB V ANALISA HASIL SIMULASI.....		106
5.1	Hasil dan Analisa Pemodelan Analisa Tegangan pada Sudu Gerak Tingkat Akhir Turbin Uap	106
5.2	Hasil dan Analisa Pemodelan Perambatan Retak pada Sudu Gerak Tingkat Akhir Turbin Uap	114
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		126
6.1	Kesimpulan	126
6.2	Saran.....	126

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bagian Sudu Gerak Turbin Uap yang Mengalami Keretakan	2
Gambar 2.1	(a) Permodelan Sudu dengan Metode Elemen Hingga	8
	(b) Detail Distribusi Tegangan <i>Von-Misses</i> pada <i>Leading Edge</i> dan <i>Trailing Edge</i>	8
Gambar 2.2	(a) Detail Retak pada <i>Trailing Edge</i> Sudu Gerak Tingkat Akhir.....	9
	(b) Bagian Sudu Gerak yang Mengalami Perpatahan	9
Gambar 2.3	Isi Perut Bumi	10
Gambar 2.4	Komponen-Komponen Sistem Pembangkit Tenaga Uap Sederhana...	11
Gambar 2.5	(a) Prinsip Kerja dan Perpindahan Kalor Subsistem A.....	13
	(b) Diagram Temperatur- Entropi untuk Siklus Rankine Ideal.....	13
Gambar 2.6	Skema Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	14
Gambar 2.7	(a) Diagram Blok Singkat Komponen Pembentuk PLTP	15
	(b) Diagram Temperatur- Entropi Aktual Pada PLTP PT. Geo Dipa Energi	15
Gambar 2.8	Sumur Produksi (<i>Well Pad</i>).....	17
Gambar 2.9	Separator	18
Gambar 2.10	Turbin Uap (<i>Steam Turbine</i>).....	19
Gambar 2.11	Kondenser (<i>Condenser</i>)	20
Gambar 2.12	Generator.....	20
Gambar 2.13	Menara Pendingin (<i>Cooling Tower</i>)	21
Gambar 2.14	Sumur Injeksi (<i>Well Injection Pad</i>).....	22
Gambar 2.15	Mekanisme Kerja Sudu-Sudu Pada Turbin Impuls dan Turbin Reaksi	28
Gambar 2.16	Turbin Impuls Tingkat Tunggal (<i>Single Stage</i>)	29
Gambar 2.17	Turbin Impuls Tiga Tingkat Tekanan	31
Gambar 2.18	Prinsip Aksi Semburan Uap pada Berbagai Bentuk Benda, dengan	
	1, 2 dan 3 adalah Gaya-Gaya yang Bekerja pada Benda	33
Gambar 2.19	Tingkat Impuls Turbin Uap, dengan 1-Nosel; 2 dan 4- Sudu Gerak; 3	
	Sudu Pengarah.....	34
Gambar 2.20	(a) Variasi Kecepatan Uap pada Sudu Gerak Tingkat Impuls	37

	(b) Segitiga Kecepatan untuk Tingkat Impuls	37
Gambar 2.21	Penampang Turbin Reaksi	39
Gambar 2.22	Tingkat Reaksi Turbin Uap, dengan 1-Nosel; 2 dan 4- Sudu Gerak; 3-Sudu Pengarah	41
Gambar 2.23	Diagram <i>i-s</i> untuk Tingkat Reaksi	44
Gambar 2.24	Variasi Kecepatan Uap pada Sudu Gerak Tingkat Reaksi, dan Segitiga Kecepatan Untuk Tingkat Reaksi	45
Gambar 2.25	Metode Pemasangan Sudu	48
Gambar 2.26	Pemasangan Sudu dengan Akar yang Bergerigi	49
Gambar 2.27	Profil Sudu Gerak Tingkat Impuls	49
Gambar 2.28	Sudu Tingkat Tekanan Rendah Pada Turbin Kapasitas Besar.....	50
Gambar 2.29	Profil Sudu Gerak Tingkat Akhir Turbin Reaksi.....	52
Gambar 3.1	Pemodelan Pembebanan <i>Infinite Plate</i> dengan Cacat Berbentuk Elips	55
Gambar 3.2	Modus Perambatan Retak pada Pelat Datar.....	56
Gambar 3.3	Model Perambatan Retak Modus 1	58
Gambar 3.4	Pelat yang Mengandung Retak Ditengah dengan Pembebanan Tarik dalam Arah Memanjang, Kurva Garis Sempurna adalah Untuk Ujung Retak A; dan Kurva Garis Putus-Putus adalah Untuk Ujung B	59
Gambar 3.5	Pelat yang Mengandung Retak di tepi dengan Pembebanan Tarikdalam Arah Memanjang, pada Kurva Garis Sempurna Tidak Ada Batasan Terhadap Lenturan (<i>Bending</i>); dan Kurva Garis Putus- Putus Didapat dengan Tambahan Batasan pada Lenturan.....	60
Gambar 3.6	<i>Beam</i> dengan Penampang Persegi Empat yang Mempunyai Retak di Tepi.	61
Gambar 3.7	Pelat dengan Pembebanan Tarik yang Mengandung Lubang Bulat dengan Dua Retakan	62
Gambar 3.8	Silinder dengan Pembebanan Tarik Aksial Mempunyai Retak Radial dengan Kedalaman <i>A</i> Bersambung Sepanjang Keliling Silinder.....	62
Gambar 3.9	Silinder Menerima Tekanan dalam P_i Mempunyai Retak Radial dalam Arah Memanjang dengan Kedalaman <i>a</i>	63

Gambar 3.10	Beberapa Contoh Geometri Material yang Diberikan Beban Tarik Statis dengan Posisi Retak Berada Di Tengah	64
Gambar 3.11	Skematik Gaya yang Dialami Sudu Gerak Akibat Pengaruh dari Aliran Uap.....	69
Gambar 3.12	(a) Retak yang Dialami Sudu Gerak Turbin Uap.....	73
	(b) Bagian Sudu Gerak yang Mengalami Perpatahan	73
Gambar 4.1	Aplikasi Penggunaan FEM pada Masalah Teknik.....	75
Gambar 4.2	Elemen Garis.....	76
Gambar 4.3	Elemen Bidang	77
Gambar 4.4	Elemen Volume.....	77
Gambar 4.5	(a) Model Elemen Persegi Empat	78
	(b) Model Struktur Gabungan Dua Elemen Persegi Empat.....	78
Gambar 4.6	Skematis Pemodelan Analisa Beban Tekanan Uap pada Sudu Gerak Turbin Uap	82
Gambar 4.7	(a) Posisi Retak Berada pada Pusat Geometri Bidang	83
	(b) Posisi Retak Berada pada Bagian Tepi Geometri Bidang	83
Gambar 4.8	Diagram Alir Analisa Tegangan pada <i>ANSYS Release 12.0</i>	85
Gambar 4.9	Diagram Alir Analisa Perambatan Retak Statik pada <i>ANSYS Release 12.0</i>	86
Gambar 4.10	Tampilan Awal <i>ANSYS Workbench Release 12.0</i>	87
Gambar 4.11	Tampilan Menu <i>Static Structural</i> (ANSYS).....	88
Gambar 4.12	Tampilan Penentuan Unit Satuan.....	88
Gambar 4.13	Geometri Model Sudu Gerak	89
Gambar 4.14	<i>Material Properties</i> untuk <i>AISI 403 Stainless Steel</i>	90
Gambar 4.15	Pemilihan Jenis Material Sudu Gerak	90
Gambar 4.16	Pemilihan <i>Meshing</i>	91
Gambar 4.17	Hasil <i>Meshing</i>	91
Gambar 4.18	Menentukan <i>Constraint (Fixed Support)</i>	92
Gambar 4.19	Hasil <i>Constraint</i> di Bagian Akar Sudu Gerak.....	92
Gambar 4.20	Menentukan Pembebanan Tekanan (<i>Pressure</i>).....	93

Gambar 4.21	Pemodelan Pembebanan Tekanan (<i>Pressure</i>) pada Bilah Sudu Gerak.....	93
Gambar 4.22	Menentukan Pembebanan Gaya Sentrifugal (<i>Force</i>).....	94
Gambar 4.23	Pemodelan Pembebanan Gaya (<i>Force</i>) pada Bilah Sudu Gerak.....	95
Gambar 4.24	Tampilan <i>Element Type</i> pada <i>ANSYS Release 12.0</i>	95
Gambar 4.25	Tampilan Setelah di Klik <i>Add</i> pada Gambar 4.23.....	96
Gambar 4.26	Tampilan <i>Option</i> yang Terdapat pada Gambar 4.24.....	96
Gambar 4.27	Tampilan Untuk Material <i>Isotropic Elastic</i>	97
Gambar 4.28	Tampilan untuk Memasukan Besarnya Nilai <i>E</i> dan <i>v</i>	97
Gambar 4.29	Hasil Plot <i>Area</i>	98
Gambar 4.30	Pendefinisian Beban pada Model.....	99
Gambar 4.31	Mengatur Konsentrasi <i>Keypoint</i> pada <i>Crack Tip</i>	100
Gambar 4.32	Plot Hasil <i>Meshing Area</i>	101
Gambar 4.33	Pemilih Jenis Analisa yang Digunakan.....	101
Gambar 4.34	Pendefinisian <i>Crack-Face Path</i>	102
Gambar 4.35	Pemberian Nama untuk <i>Crack-Face Path</i>	103
Gambar 4.36	Tampilan Pendefinisian <i>Coordinate System</i> untuk 3 <i>Nodes</i>	103
Gambar 4.37	Memasukkan Referensi <i>Local Crack-Tip Coordinate System</i> yang Baru	104
Gambar 4.38	Mengaktifkan <i>Local Crack-Tip Coordinate System</i> yang Baru.....	104
Gambar 4.39	Menentukan <i>Stress Intensity Factor</i> Modus 1	105
Gambar 4.40	Hasil Pemodelan Retak dengan <i>Output</i> Nilai <i>Stress Intensity Factor</i> (<i>SIF</i>) Modus 1	105
Gambar 5.1	Hasil Simulasi Statik pada Pemodelan Sudu Gerak Tingkat Akhir Turbin Uap. (a) Tegangan <i>Von-Misses</i>	107
	(b) Tegangan Normal (<i>Y Axis</i>).....	107
Gambar 5.2	(a) Analisa Tegangan pada Variasi Panjang Retak 17,5 mm.....	109
	(b) Analisa Tegangan pada Variasi Panjang Retak 30 mm	109
	(c) Analisa Tegangan pada Variasi Panjang Retak 52,5 mm.....	110
	(d) Analisa Tegangan pada Variasi Panjang Retak 61,25 mm	110

	(e) Analisa Tegangan pada Variasi Panjang Retak 70 mm.....	111
Gambar 5.3	Grafik Hubungan Tegangan <i>Von-Misses</i> dengan Panjang Retak	112
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Panjang Retak	113
Gambar 5.5	Plot Hasil Perhitungan Miguel Patricio dan Robert M.M Mattheij	114
Gambar 5.6	(a) Variasi Posisi <i>Crack Tip</i> Pada $h/b = 0,25$ dengan Perbandingan $a/b = 0.1$	116
	(b) Variasi Posisi <i>Crack Tip</i> Pada $h/b = 0,25$ dengan Perbandingan $a/b = 0.4$	116
	(c) Variasi Posisi <i>Crack Tip</i> Pada $h/b = 0,25$ dengan Perbandingan $a/b = 0.8$	117
Gambar 5.7	Grafik Hubungan <i>SIF</i> Modus 1, K_I dengan Panjang Retak pada Variasi $h/b = 0,25$	119
Gambar 5.8	Grafik Hubungan <i>SIF</i> Modus 1, K_I dengan Panjang Retak pada Variasi $h/b = 0,5$	119
Gambar 5.9	Grafik Hubungan <i>SIF</i> Modus 1, K_I dengan Panjang Retak pada Variasi $h/b = 1$	120
Gambar 5.10	Grafik Perbandingan <i>SIF</i> Modus 1, K_I dengan Panjang Retak pada 3 Posisi Retak	121
Gambar 5.11	Plot Grafik Perbandingan K_I/K_0 dengan Panjang Retak pada 3 Posisi Retak	122
Gambar 5.12	Grafik Perbandingan Faktor Keamanan Perambatan Retak Modus 1 dengan Panjang Retak pada 3 Posisi Retak	123
Gambar 5.13	Grafik Perbandingan Faktor Keamanan pada Analisa Tegangan dengan Analisa Perambatan Retak Modus 1	124

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Harga K_{Ic} Untuk Beberapa Material Teknik	66
Tabel 4.1	Spesifikasi Turbin Uap.....	80
Tabel 4.2	Spesifikasi Sudu Gerak Tingkat Akhir pada Studi Penelitian	81
Tabel 4.3	<i>Material Properties AISI 403 Stainless Steel</i>	81
Tabel 5.1	Variasi Panjang Retak	108
Tabel 5.2	Korelasi Tegangan <i>Von-Misses</i> dengan Panjang Retak	111
Tabel 5.3	Variasi Panjang dan Posisi Retak pada Studi Kasus.....	115
Tabel 5.4	<i>Stress Intensity Factor (SIF) Modus 1, K_I (MPa \sqrt{m})</i>	118
Tabel 5.5	Tegangan pada Variasi Posisi Retak	118

NOMENKLATUR

a	Panjang retak	m
b	Panjang pelat datar	m
[B]	Matriks koordinat posisi node	-
c	Kecepatan mutlak uap	m/s
C_b	Gaya sentrifugal	N
D	Diameter rotor turbin	m
[D]	Matriks konstanta elastik	-
F	Luas penampang sudu gerak	m ²
{f}	Vektor perpindahan	-
g	Percepatan gravitasi	m/s ²
G_b	Massa sudu	kg
h	Panas jatuh	kJ/kg
i	Kalor uap	kJ/kg
K	Faktor intensitas tegangan	MPa√m
K_{Ic}	Faktor intensitas tegangan kritis	MPa√m
[K]	Matriks Faktor intensitas tegangan	-
[K]	Matriks kekakuan	-
L	Kerja mekanis turbin uap	kg.m/s
L	Panjang sudu	m
l	Tinggi sudu	m
m_s	Kapasitas uap	kg/s

n	Kecepatan putaran rotor turbin	rpm
N_u	Daya yang dihasilkan pada rim cakram	Watt
P	Tekanan uap	Pa
P_u	Gaya pada sudu gerak akibat semburan uap dari nosel	kg
r	Arah perambatan retak	-
r_{rat}	Jari-jari rata-rata rotor	m
u	Kecepatan keliling sudu gerak	m/s
v_s	Volume spesifik uap	m ³ /kg
z	Jumlah sudu pada cakram	-
β	Faktor intensitas tegangan modifikasi	-
γ	Massa jenis sudu	kg/m ³
ε	Derajat pemasukan parsial	-
λ	Perbandingan diameter dengan panjang sudu	-
ϱ	Derajat reaksi	-
σ	Tegangan normal	Pa
$\{\sigma\}$	Vektor tegangan	-
τ	Harga penyempitan akibat adanya sudu	-
τ	Tegangan geser	Pa
ψ	Koefisien kecepatan	-
ω	Kecepatan relatif uap	m/s