

**LAPORAN HASIL PENELITIAN
DANA RUTIN**



**KLARIFIKASI KETANGGUHAN RETAK DINAMIS AKIBAT BEBAN
IMPAK KOMPOSIT DENGAN SIMULASI FEM**

Oleh:

Ir. Riski Elpari Siregar, MT
Drs. Sahala Siallagan M.Sc
Pardomuan Sitompul, S.Si M.Si
Syahreza Alvan, ST
Ir. Erma Yulia

Dibiayai dengan:

Dana Rutin UNIMED Sesuai dengan Kontrak Kerja:
Nomor 157/H33.8/KEP/PL/2008, tanggal 14 April 2008

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN**

2008

**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN HASIL
PENELITIAN DANA RUTIN**

- 1 a. Judul Penelitian : KLARIFIKASI KETANGGUHAN RETAK DINAMIS AKIBAT BEBAN IMPAK KOMPOSIT DENGAN SIMULASI
- b. Bidang Ilmu : Teknologi
- c. Kategori Penelitian : Kategori Penelitian I
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Riski Elpari Siregar (Ir.MT)
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. Golongan Pangkat dan NIP : IIIC/ 132 158 573
- d. Jabatan Fungsional : Lektor
- e. Jabatan Struktural : -
- f. Pusat Penelitian : UNIMED
- 3 Alamat Ketua Peneliti
- a. Alamat Kantor/ Tel/Fax/E-mail : Jl.Willem Iskandar Psr V. Medan Estate/-/ (061) 6625971
- b. Alamat Rumah/ Tel/Fax/E-mail : Jl. Saudara no 78, Bandar Klippa Tembung (20371)/ (061) 7329165/-/riskielsir@yahoo.com
- 4 Jumlah Anggota peneliti : 5 orang
- a. Nama Anggota peneliti I : Drs. Sahala Siallagan M.Sc
- b. Nama Anggota peneliti II : Pardomuan Sitompul, S.Si M.Si
- c. Nama Anggota peneliti III : Syahreza Alvan, ST
- d. Nama Anggota peneliti IV : Ir. Emma Yulia
- 5 Lokasi Penelitian : Laboratorium
- 6 Kerjasama dengan Institusi Lain
- a. Nama Institusi : -
- b. Alamat : -
- c. Telepon/Faks/e-mail : -
- 7 Lama Penelitian : 6 Bulan
- 8 Biaya yang diperlukan
- a. Sumber dari Depdiknas : Rp 3.000.000
- b. Sumber Lain : Rp 3.000.000
- Jumlah : (Tiga Juta Rupiah)

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik UNIMED

Prof. Dr. Abdul Hamid K. M. Pd
NIP. 130935475

Medan, 22 Februari 2008

Ketua Peneliti

(Riski Elpari Siregar. Ir. MT.)
NIP 132 158 573

Menyetujui
Ketua Cabang Penelitian

DR. Ridwan A. Sani
NIP 131772614

Ringkasan
**KLARIFIKASI KETANGGUHAN RETAK DINAMISAKIBAT BEBAN IMPAK KOMPOSIT
DENGAN SIMULASI FEM**

Ir. Riski Elpari Siregar, MT, Drs. Sahala Siallagan M.Sc, Pardomuan Sitompul, S.Si M.Si, Syahreza Alvan,
ST, Ir. Erma Yulia

Perkembangan bidang konstruksi dalam dunia industri terhadap kebutuhan material teknik semakin meningkat baik dari segi kualitas dan jumlah, dengan harganya yang murah, sehingga pengembangan teknologi dan proses produksi atau manufaktur sebelum dipakai konsumen perlu diuji sifat mekaniknya. Melakukan pengujian secara langsung memerlukan biaya dan waktu yang lebih besar, sehingga perlu dilakukan pengujian pemodelan dengan bantuan komputer sebelum dilakukan uji langsung. Hal ini diperlukan karena dengan pemodelan secara simulasi akan sangat menghemat waktu dan kadang-kadang pengujian secara langsung tidak memungkinkan seperti pada material yang dipakai untuk bahan helmet, dimana helmet ini tidak memungkinkan dilakukan pengujian langsung pada pemakainya seperti helmet industri.

Helmet industri yang digunakan oleh pihak perusahaan untuk para pekerja adalah terbuat dari bahan jenis polimer seperti; *Polypropylene* (PP), *Polyethylene* (PE), pemakaian bahan dari segi kenyamanan sudah memadai, sedangkan ditinjau dari segi kekuatannya masih belum dapat dipastikan berapa kemampuannya menahan beban kejut (impak), sehingga perlu dilakukan pengujian untuk keselamatan pemakai helmet ini.

Untuk ini maka perlu dilakukan penelitian terhadap material komposit yang akan digunakan sebagai material helmet. Pengujian yang akan dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode elemen hingga dengan spesimen yang berbentuk pelat komposit GFRP untuk mengetahui nilai ketangguhan retak dinamik akibat beban impact.

Pengujian dilakukan dengan simulasi penggunaan Soft ware MSCNASTRAN45, dengan pemodelan material dengan bentuk dan dimensi spesimen animasi digunakan ukuran standard pengujian ASTM E-399 dengan menggunakan *Single Edge Notched Bend* (SENB) spesimen, dimana parameter ketangguhan retak berdasarkan faktor intensitas tegangan kritis (K_I).

Sifat mekanik dari material uji dalam pemodelan diambil dari sifat *Unsaturated Polyester Resin*, Kemampuan mekanis dari *Unsaturated Polyester resin* adalah (Chawla, 1987)

Untuk memberikan beban dampak pada pemodelan digunakan hasil pengujian dari teori dampak terlebih dahulu diberikan penjelasan tentang rambatan gelombang, khususnya rambatan gelombang didalam medium elastis.

Untuk menentukan apakah pembagian elemen dari spesimen uji animasi dilakukan dengan cara memeriksa ketangguhan retak hasil pengujian dengan membuat elemen semakin kecil dan pada saat perubahan telah tidak ada (penurunan/ kenaikan) atau ketangguhan retak telah kecil maka ukuran elemen dianggap telah memenuhi syarat.

Variabel yang akan diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Ketangguhan retak pada masing-masing ukuran elemen.
2. Distribusi ketangguhan menurut waktu

Untuk menentukan harga faktor intensitas tegangan kritis (K_I) dapat dilihat pada gambar dua dimensi dengan retak yang melewati single-ended

Untuk bentuk pelat diambil poisson ratio ($\nu = 0,333$), dengan sudut $\alpha = 60^\circ$ dan $\theta = 60^\circ$ maka untuk menentukan ketangguhan retak bahan komposit dengan menggunakan persamaan :

$$K_{Id} = E\varepsilon \sqrt{\frac{8}{3}\pi r} \quad (2.8)$$

Dimana :

K_{Id} = Faktor intensitas tegangan dinamis ($\text{MPa}\sqrt{m}$)

E = Modulus Young (MPa)

ε = Regangan

r = Jarak radial lokasi pengukuran regangan (mm)

Pelaksanaan simulasi dilakukan dengan tahapan dan menghasilkan hasil pengujian simulasi dengan memodelkan spesimen sebagai plat dua dimensi, diperoleh grafik hasil simulasi hubungan lama insiden dengan kerapatan elemen

Hasil output dari Pemodelan menggunakan metode Finite Element MSCNastran 45 hasil penelitian diperoleh von mises menunjukkan bahwa ketangguhan pada daerah ini sebesar : 2.1172 M.Pa untuk besar elemen 3 mm, 2.1154 M.Pa untuk elemen 4.5 mm.

Dari hasil pengujian model simulasi, sangatlah perlu untuk menguji apakah hasil pengujian telah betul sesuai kondisi lapangan, namun secara nyata penggunaan software sangat bermanfaat karena untuk mencari distribusi tegangan tidak dapat dicari pada pengujian langsung.

Hasil pengujian menyarankan untuk membuat elemen atau matrik penguat pada bahan helem yang lebih halus agar diperoleh ketangguhan yang lebih baik.



Prakata

Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang mana atas segala Berkah, Rahmat dan Hidayah-Nya, penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik, di mana merupakan salah satu bentuk kegiatan Tridarma Perguruan Tinggi berbentuk penelitian yang berguna bagi masyarakat.

Penelitian ini berjudul **KLARIFIKASI KETANGGUHAN RETAK DINAMIS AKIBAT BEBAN IMPAK KOMPOSIT DENGAN SIMULASI**, yang merupakan salah satu kajian pada bidang ilmu Teknik Mesin yang Menunjang Ilmu Material dan Fabrikasi serta Perawatan dan Perbaikan yang berguna bagi pembangunan dan perawatan material yang dipergunakan pada lapangan, khususnya penggunaan komposit pada helmet industri.

Peneliti tak lupa mengucapkan tetima kasih kepada:

1. Baktor Unimed Prof. Syawal Gultom, M.Pd, yang telah mengeluarkan SK untuk mengadakan pryek penelitian ini
2. Bapak Dr. Ridwan Abdul Sani Sebagai Ketua Lembaga Penelitian Unimed yang telah menyetujui dindananya penelitian ini.
3. Bapak Alkhafi Maas Siregar, S.Si, M.Si, Selaku Sekretaris Lemlit, yang mana atas dukungannya proyek ini dapat berjalan dengan baik.
4. Rekan-rekan sesama stap pengajar pada Universitas Negeri Medan yang telah memberi sumbang saran dalam penyempurnaan laporan hasil penelitian ini.

Medan, Novtober 2008
Penulis

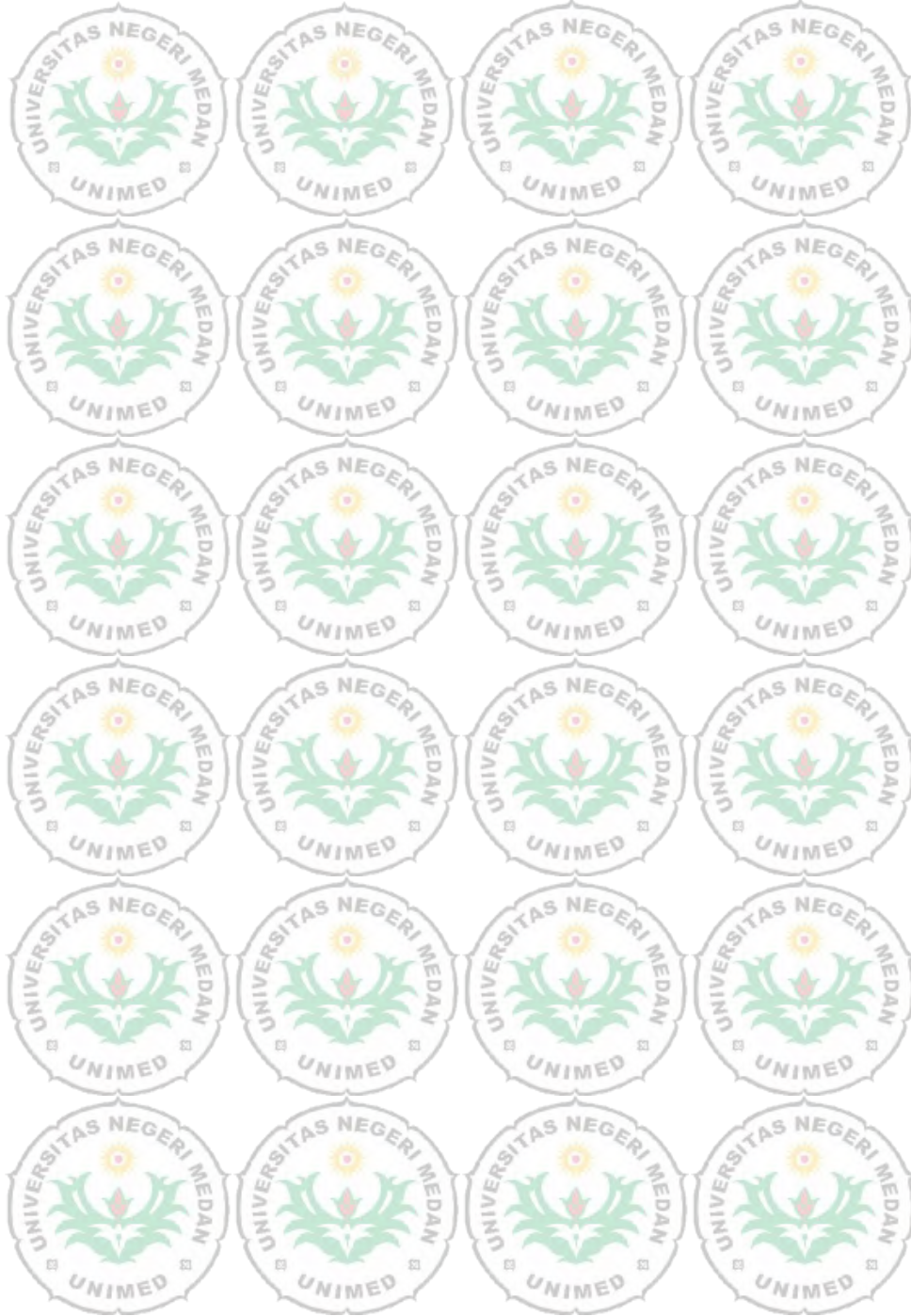
Riski Elpari Siregar

Daftar Isi

	halaman
Halaman Pengesahan	i
Ringkasan	ii
Prakata	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BEALAKANG	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Material Komposit	3
2.2. Jenis Bahan MAtrik dan SifatSifat Mekanik	4
2.3. Klasifikasi Bahan Serat dan Sifat-Sifat Mekanik	5
2.4. Ketangguhan Retak (Fracture Toughness)	5
2.5. Teori Propagasi Tegangan	7
2.6. Spesimen Uji Bahan Komposiy	14
2.7. Mekanisme Retak Komposit	17
2.8. Mekanisme Kegagalan	15
BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	17
3.1. Tujuan Umum	17
3.2. Tujuan Khusus	17
3.3. Manfaat Penelitian	17
BAB 4 METODE PENELITIAN	18
4.1. Tempat dan Waktu	18
4.2. Bahann	18
4.3. Penelitian Secara Simulasi Komputer	18
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN	19
5.1. Hasil Pengujian	19
5.2. Pembahasan Hasil Pengujian	20
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	27
6.1. Kesimpulan	25
6.2. Saran	27
Daftar Pustaka	28
Lampiran	28
1. Surat Perjanjian Penelitian Dana Rutin	29
2. Daftar riwayat hidup	29

Daftar Tabel

Daftar Gambar



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan bidang konstruksi dalam dunia industri terhadap kebutuhan material teknik semakin meningkat dewasa ini. Hal ini terlihat dengan meningkatnya permintaan terhadap bahan-bahan teknik yang tergolong memiliki kualitas yang lebih tinggi, misalnya; dalam hal kemampuan (sifat-sifat mekaniknya), harganya lebih murah dan banyak dijual di pasaran.

Dalam pengembangan teknologi dan proses seperti; bidang konstruksi, produksi atau manufaktur sangat erat hubungannya dengan sifat-sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material, khususnya dalam bidang teknik material yang semakin hari semakin sulit dipenuhi oleh bahan-bahan yang ada selama ini.

Teknologi material dimasa depan perlu dikembangkan lagi sesuai dengan kebutuhan dunia industri saat ini. Para peneliti sebelumnya telah banyak melakukan penelitian terhadap berbagai jenis material misalnya; aluminium, stainless steel, cast iron, polimer, dan komposit polimer untuk berbagai kebutuhan.

Guna menjawab tantangan akibat dampak dari suatu kemajuan teknologi material yang telah banyak digunakan sebagai bahan dasar dari berbagai sektor industri, maka penulis cenderung untuk melakukan penelitian lanjutan yaitu tentang jenis material komposit polimer yang akan digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan suatu produk (helmet industri). Selama ini kita ketahui bahwa produk helmet yang banyak digunakan oleh industri di Indonesia masih belum bisa menjamin keselamatan para pekerja akibat benturan benda keras yang jatuh dari ketinggian tertentu.

Helmet industri yang digunakan oleh pihak perusahaan untuk para pekerja adalah terbuat dari bahan jenis polimer seperti; *Polypropylene* (PP), *Polyethylene* (PE), yang ditinjau dari segi kekuatannya masih belum mampu atau tahan terhadap benturan benda keras, sehingga mengakibatkan terjadinya cedera kepala. Selain itu juga tingkat kenyamanan suatu helmet industri perlu menjadi perhatian yang spesifik, ini disebabkan pemakaian helmet yang relatif lama oleh para pekerja. Sehingga perlu kenyamanan, dalam hal ini tidak terasa panas, tidak berat yang mengakibatkan ketidak betahan si pemakai.

Untuk ini maka perlu dilakukan penelitian terhadap material komposit yang akan digunakan sebagai material helmet. Pengujian yang akan dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode elemen hingga dengan spesimen yang berbentuk pelat komposit GFRP untuk mengetahui nilai ketangguhan retak dinamik akibat beban impak.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian ini yang menjadi dasar pemikiran di sini adalah penggunaan jenis material helm non standard yang dibuat dari bahan polimer seperti; *Polypropylene* (PP), *Polyethylene* (PE). Setelah dilakukan pengujian diketahui material helm non standard masih belum dapat menjamin kekuatannya atau tidak mampu menahan beban akibat benturan benda keras. Dengan adanya pengembangan dalam bidang produksi untuk meningkatkan kualitas jenis material helm yang dibuat dari bahan PP, PE dan ABS diharapkan mampu menahan benturan benda keras.

Atas dasar permasalahan di atas, maka perlu dilakukan penelitian dibidang material teknik untuk pembuatan produk helm dari jenis material komposit khususnya GFRP. Dari hasil pengujian diharapkan material GFRP akan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis material yang terbuat dari polimer. Metode yang digunakan adalah simulasi MSC/NASTRAN for Windows dengan pembebanan statik dan dinamik.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Komposit Polimer

Material komposit adalah gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda digabung dalam struktur makroskopik. Disamping itu material komposit mempunyai sifat-sifat unggul dari unsur-unsur pembentuknya. Unsur-unsur pembentuk ini masih terlihat nyata dan terbentuk struktur baru. Komposit dikenal sebagai bahan teknologi, komposit bukanlah bahan struktur konvensional, melainkan bahan struktur yang diperoleh sebagai hasil teknologi pemrosesan bahan.

Dalam penelitian digunakan pemodelan material komposit adalah menggunakan Jenis *Glass Fiber Reinforced Plastic* (GFRP) yang terdiri dari : Polyester Resin BTQN 157- EX sebagai pengikat (matrik), dan E-glass dalam bentuk *Chop Strand Mat* (CSM) sebagai serat penguat.

Menurut Timming (1998), [11] *Glass Fiber Reinforced Plastic* (GFRP) dewasa ini semakin populer digunakan dibidang konstruksi, dan telah memberikan beberapa keuntungan antara lain: a). Memiliki sifat mekanis yang baik, b). Ringan dan mudah dibentuk, c). Biaya perawatan ringan, d). Tidak mengalami korosi.

Penggunaan GFRP dilingkungan Industri khususnya dalam bidang konstruksi akan mengalami berbagai jenis pembebanan berupa beban statik dan beban dinamik. Material GFRP memiliki penggunaan yang sangat luas diberbagai penerapan struktur. Material ini menunjukkan kekuatan spesifik yang tinggi, kekakuan tinggi, dan ketahanan yang luar biasa terhadap fatik.

Para peneliti sebelumnya telah menyelidiki dan meninjau dari beberapa jenis material uji seperti yang diklasifikasikan berikut ini :

- a. Metal, dilakukan Nicholas (1980), Nojima (1985), Bragov (1994), Li (1995), dan Yokoyama (1996, 1998).
- b. Beton, dilakukan oleh Weerheijm (1990), Daimaruya (1994), Klepaczko (2000), dan Siregar (2001).
- c. Komposit, dilakukan oleh Syam (1999), dan Zhou (2003).

Untuk pengujian material komposit terhadap ketangguhan retak dinamik telah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

Menurut Takayuki Kusaka (2003), [1] telah melakukan pengujian karakteristik untuk interlaminar perilaku retak di polimer matrix komposit dengan beban dampak kecepatan rendah pada laju pembebanan 10^1 m/s.

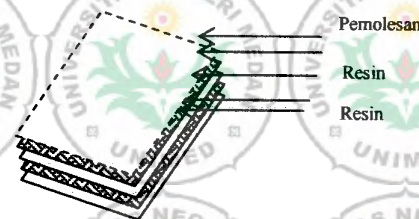
Dari beberapa pengalaman dan pendapat para peneliti yang telah melakukan penelitian dan pengkajian yaitu tentang ketangguhan retak (*fracture toughness*) dari suatu material komposit polimer jenis GFRP, maka pada penelitian ini juga peneliti akan melakukan penyelidikan terhadap jenis material komposit polimer GFRP dengan membuat spesimen uji yang menggunakan standard ASTM E-399, dan ASTM D-638 M1.

Dalam pelaksanaan penelitian ini, sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu dipersiapkan atau dilakukan pembuatan spesimen dari material komposit polimer yang terdiri dari : Polyester resin BTQN 157 –EX sebagai matrik, dan serat kaca E-glass sebagai penguat. Berikut ini adalah bentuk serat *Chop Strand Mat* (CSM) seperti pada Gambar 2.1

Dalam pengujian yang akan dilakukan terhadap bentuk spesimen dari material komposit polimer GFRP yang terdiri dari 2 lapisan serat seperti Gambar 2.2 :



Gambar 2.1. Foto mikrograf tipe serat *Chopped Strand Mat* (CSM)



Gambar 2.2 Bahan komposit dengan susunan dua lapis serat

2.2. Jenis Bahan Matrik Dan Sifat-Sifat Mekanik

Matrik yang digunakan adalah *Unsaturated Polyester Resin*, Kemampuan mekanis dari *Unsaturated Polyester resin* adalah (Chawla, 1987) seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kemampuan mekanis *Unsaturated Polyeter Resin*

Sifat Mekanik	satuan	Harga
<i>Density</i>	Kg/m ³	1120
Tensile strength	MPa	55
Elongation	%	2
Impact value	J	0,5 – 1,0
Maximum Service Temperature	°C	200

2.3. Klasifikasi Bahan Serat dan Sifat-sifat Mekanik

Bahan serat yang umum dipakai sebagai penguat pada komposit sangat bervariasi, dimana penggunaannya tergantung pada jenis operasional dari komposit tersebut. Serat-serat yang umum di pakai (Warner, 1995) [16] antara lain adalah: a). Serat karbon, b). Serat kevlar, c). Serat *E-glass*.

Untuk pemakaian pada industri serat *E-glass* adalah yang paling umum digunakan, disamping banyak terdapat di pasaran, juga harganya lebih murah. Kemampuan mekanis serat *E-glass* (Fried, 1995) [17] ditunjukkan pada Tabel 2.4.

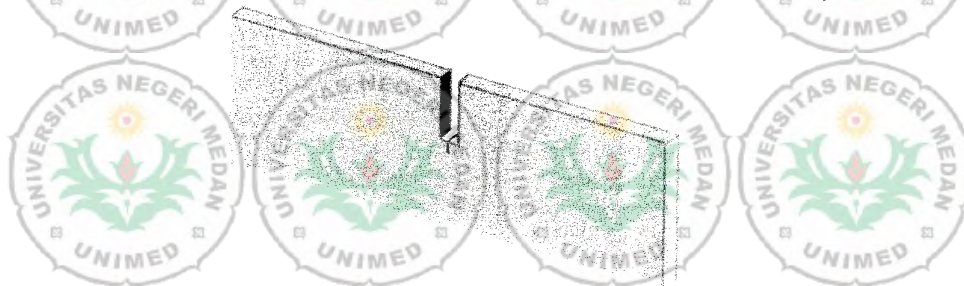
Tabel 2.2. Sifat mekanik serat jenis *E-glass*

Sifat mekanik	Satuan	harga
Relative density	g/cm^3	2,55
Tensile strength	GPa	3,5
Modulus Elastisitas	GPa	74

Dari berbagai jenis serat diatas, maka yang akan digunakan dalam pembuatan spesimen adalah jenis serat *Chop Strand Mat (CSM)*.

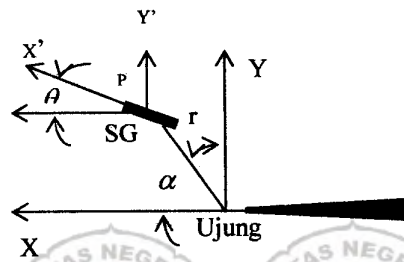
2.4. Ketangguhan Retak (Fracture Toughness)

Menurut Anderson, T.L (1991), [13] ketangguhan retak merupakan suatu fenomena untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap perluasan retak. Berbagai organisasi seluruh dunia telah mempublikasikan prosedur standard untuk pengukuran ketangguhan ratak, termasuk *American Society for Testing and Material (ASTM)*, *British Standard Institution (BSI)*, dan *Japan Society of Mechanical Engineers (JSME)*. Pada umumnya harga ketangguhan retak material logam dan non logam diperoleh dari standard pengujian ASTM E-399 dengan menggunakan *Single Edge Notched Bend (SENB)* spesimen, dimana parameter ketangguhan retak berdasarkan faktor intensitas tegangan kritis (K_I).



Gambar 2.3 Bentuk spesimen type SENB

Untuk menentukan harga faktor intensitas tegangan kritis (K_I) dapat dilihat pada gambar dua dimensi dengan retak yang melewati single-ended ditunjukkan pada gambar 2.3:



Gambar 2.3 Lokasi dari strain gage 3

Dengan menggunakan beberapa persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 E\varepsilon_{\alpha} &= A_0 r^{-1/2} \cos \frac{\theta}{2} \left[(1-\nu) - (1+\nu) \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] + 2B_0 + A_1 r^{1/2} \cos \frac{\theta}{2} \left[(1-\nu) + (1+\nu) \sin^2 \frac{\theta}{2} \right] \\
 E\varepsilon_{yy} &= A_0 r^{-1/2} \cos \frac{\theta}{2} \left[(1-\nu) - (1+\nu) \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] - 2\nu B_0 + A_1 r^{1/2} \cos \frac{\theta}{2} \left[(1-\nu) + (1+\nu) \sin^2 \frac{\theta}{2} \right] \\
 2\pi\varepsilon_{xy} &= A_0 r^{-1/2} \left[\sin \theta \cos \frac{3\theta}{2} \right] - A_1 r^{1/2} \left[\sin \theta \cos \frac{\theta}{2} \right]
 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Dimana: A_0 , B_0 , dan A_1 adalah koefisien yang belum diketahui tergantung pada geometri spesimen dan pembebanan. Hubungan A_0 dan K_I dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$A_0 = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi}} \quad (2.2)$$

Dari persamaan 2.1 maka didapat :

$$2\mu\varepsilon_{xx} = A_0 r^{-1/2} \left[k \cos \frac{\theta}{2} - \frac{1}{2} \sin \theta \sin \frac{3\theta}{2} \cos 2\alpha + \frac{1}{2} \sin \theta \cos \frac{3\theta}{2} \sin 2\alpha \right] + B_0 (k + \cos 2\alpha) + A_1 r^{1/2} \cos \frac{\theta}{2} \left[k + \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos 2\alpha - \frac{1}{2} \sin \theta \sin 2\alpha \right] \quad (2.3)$$

dimana :

$$k = \frac{1-\nu}{1+\nu} \quad (2.4)$$

Koefisien B_0 dapat diganti dengan memilih sudut α :

$$\cos 2\alpha = -k = -\frac{1-\nu}{1+\nu} \quad (2.5)$$

Selanjutnya koefisien A_1 diganti dengan sudut θ maka :

$$\tan \frac{\theta}{2} = -\cos 2\alpha \quad (2.6)$$

Dengan penempatan dari strain gage satu dengan sudut α dan θ ditentukan sesuai dengan persamaan (2.5) dan (2.6), regangan ε_{xx} hubungannya searah dengan faktor intensitas tegangan (K_I) dengan persamaan sebagai berikut :

$$2\mu\epsilon_{x'x'} = \frac{K_1}{\sqrt{2}} \left[k \cos \frac{\theta}{2} - \frac{1}{2} \sin \theta \sin \frac{3\theta}{2} \cos 2\alpha + \frac{1}{2} \sin \theta \cos \frac{2\theta}{2} \sin 2\alpha \right] \quad (2.7)$$

Pemilihan sudut α dan θ tergantung pada poisson rasio seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Maka untuk bentuk pelat diambil poisson ratio ($\nu = 0,333$), dengan sudut $\alpha = 60^\circ$ dan $\theta = 60^\circ$ maka untuk menentukan ketangguhan retak bahan komposit dengan menggunakan persamaan :

$$K_{Id} = E\epsilon \sqrt{\frac{8}{3}\pi r} \quad (2.8)$$

Dimana :

K_{Id} = Faktor intensitas tegangan dinamis (MPa \sqrt{m})

E = Modulus Young (MPa)

ϵ = Regangan

r = Jarak radial lokasi pengukuran regangan (mm)

2.5. Teori Propagasi Tegangan

2.5.1. Rambatan gelombang tegangan pada batang

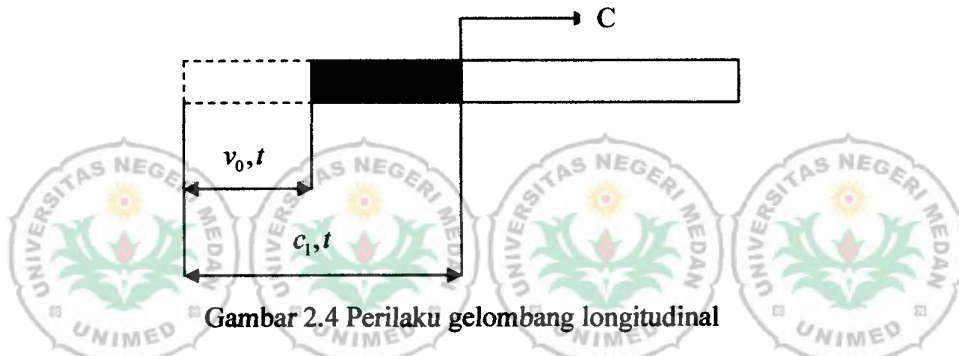
Untuk memahami teori dampak terlebih dahulu diberikan penjelasan tentang rambatan gelombang, khususnya rambatan gelombang didalam medium elastis.

Tabel 2.3. Poisson ratio ν untuk sudut α dan θ

ν	θ	α
0,250	73,74	63,43
0,300	65,16	61,29
0,333	60,00	60,00
0,400	50,76	57,69
0,500	38,97	54,74

Gelombang tegangan adalah gelombang mekanis, yaitu gelombang yang memerlukan suatu medium untuk dapat mentransmisikanya [19] Kecepatan rambat gelombang sangat ditentukan oleh sifat-sifat medium yang dilaluinya. Ditinjau dari arah penjararan, gelombang dibagi atas dua bagian yaitu : 1). Gelombang transversal, dan 2). Gelombang longitudinal. Pada penelitian ini hanya gelombang longitudinal yang akan dibahas lebih lanjut, karena merupakan dasar dari rambatan gelombang tegangan. Gelombang longitudinal sebagai konsep dasar pembahasan teori kekuatan tarik dampak.

Sebagai pembahasan perilaku gelombang longitudinal pada sebuah batang logam dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Perilaku gelombang longitudinal

Keseimbangan momentum pada Gambar 2.4 adalah sebagai berikut :

$$\Delta m V = F t$$

$$m V_0 = F_0 t$$

$$(A_0 C_1 t \rho_0) V_0 = \sigma_0 A_0 t$$

$$\sigma_0 = \rho_0 C_1 V_0 \quad (2.9)$$

dimana :

C_0 = Kecepatan gelombang longitudinal merambat pada batang

V_0 = Kecepatan partikel

σ_0 = Tegangan pada batang

Modulus Elastisitas pada bahan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$E = C_1^2 \rho$$

$$C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

(2.10)

Substitusi persamaan (2.9) ke persamaan (2.10) akan diperoleh :

$$\sigma_0 = \sqrt{E_0 \rho_0} V \quad (2.11)$$

Energi yang dipindahkan batang pada waktu t dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu:

1. Energi kinetik yang besarnya : $E_k = \frac{1}{2} m V^2$

$$E_k = \frac{1}{2} A_0 (C_1 t) \rho_0 V_0^2 \quad (2.12)$$

2. Energi regangan yang dipindahkan sebesar :

$$E_s = \text{Volume} \cdot \frac{\sigma^2}{2E}$$

$$E_s = \frac{A(C_1 t) \sigma^2}{2E}$$

$$E_{s_0} = \frac{A_0 C_1 t (\rho_0 C_1 V_0)^2}{2E}$$

$$E_{s_0} = \frac{A_0 C_1 \rho_0 V_0^2}{2} \quad (2.13)$$

Sehingga energi total yang dipindahkan batang pada waktu t adalah :

$$\begin{aligned} E_t &= E_{k_0} + E_{s_0} \\ &= \frac{1}{2} A_0 (C_1 t) \rho_0 V_0^2 + \frac{1}{2} A_0 (C_1 t) \rho_0 V_0^2 \\ E_t &= A_0 (C_1 t) \rho_0 V_0^2 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dengan demikian terlihat besarnya energi yang dipindahkan pada batang ditentukan oleh harga-harga: A , C , t , ρ , dan kecepatan awal batang.

2.5.2. Impak Pada Batang

Susunan pada batang yang digunakan pada metode pengujian ini diperlihatkan secara skematis pada Gambar 2.5, yang terdiri dari tiga batang : batang impak (striker), batang penerus (input bar), dan specimen.

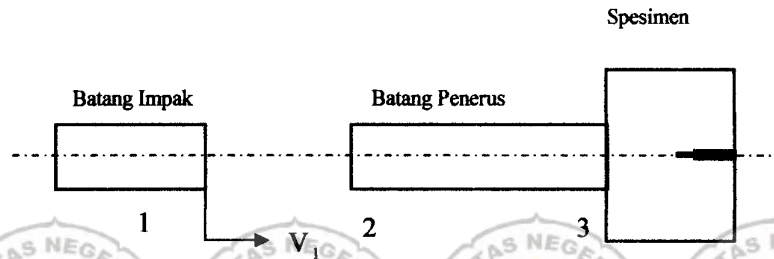
Spesimen pelat diletakkan bersentuhan secara bersentuhan secara kolonier dengan input bar. Sebelum beban impak diberikan, batang impak mempunyai kecepatan V_1 sedangkan input bar dan batang specimen mempunyai kecepatan yang sama yaitu: $V_2 = V_3 = 0$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Setelah impak, lihat Gambar 2.6 (dimana: $C_{0,1}$, $C_{0,2}$, $C_{0,3}$ adalah kecepatan gelombang dalam masing-masing batang), gelombang longitudinal tekan akan merambat dari bidang antar muka impak (impact interface) batang impak dan batang input bar kedalam masing-masing batang. Akibatnya bidang antar muka impak dan specimen pada akhirnya akan mempunyai kecepatan yang sama sebesar V . Pada bidang antar muka akan terjadi keseimbangan gaya, atau akan terjadi aksi dan reaksi antar kedua batang, yang dapat dinyatakan dengan hubungan: $\sigma_1 A_1 = \sigma_2 A_2$ (2.15)

dimana : A_1 = Luas penampang batang 1

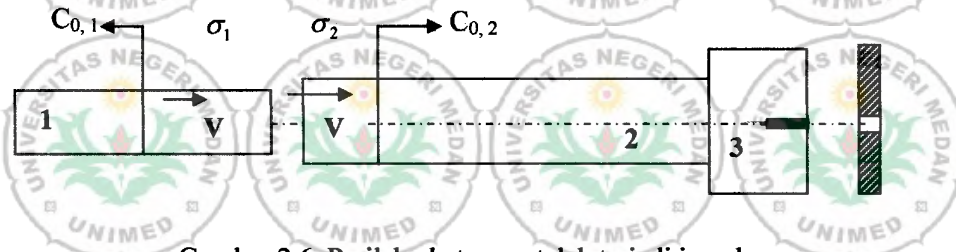
A_2 = Luas penampang batang 2

σ_1 = Tegangan pada batang 1

σ_2 = Tegangan pada batang 2



Gambar 2.5 Susunan Batang Uji



Gambar 2.6 Perilaku batang setelah terjadi impact

Dari hubungan impuls momentum diperoleh hubungan $\sigma = \sqrt{E\rho V}$, dimana :

σ = tegangan impact, ρ = massa jenis bahan, E = modulus young dan V = kecepatan partikel. Dengan demikian pada batang impact yang bergerak dengan kecepatan V_1 akan timbul tegangan sebesar :

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sqrt{\rho_1 E_1 (V_1 - V')} \\ \sigma_1 &= \sqrt{\rho_1 E_1 V_1} - \sqrt{\rho_1 E_1 V'}\end{aligned}\quad (2.16)$$

dimana :

V_1 = Kecepatan sebelum tumbukan

V' = Kecepatan setelah tumbukan

ρ_1 = Kerapatan material batang 1

Selanjutnya kita tinjau batang 2, yang bergerak dengan kecepatan V' . melalui Gambar 2.6, dapat ditentukan tegangan pada batang 2, yaitu :

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sqrt{\rho_2 E_2 V'} \\ V' &= \frac{\sigma_2}{\sqrt{\rho_2 E_2}}\end{aligned}\quad (2.17)$$

Substitusi Persamaan (2.17) ke Persamaan (2.16) akan menghasilkan:

$$\sigma_1 = \sqrt{\rho_1 E_1} V_1 - \sqrt{\rho_1 E_1} \cdot \frac{\sigma_2}{\sqrt{\rho_2 E_2}} \quad (2.18)$$

sehingga dari persamaan (2.18) dapat ditulis :

$$\sigma_1 \sqrt{\rho_2 E_2} = \sqrt{\rho_1 E_1} \cdot \rho_2 E_2 V_1 - \sqrt{\rho_1 E_1} \sigma_2$$

$$\sigma_1 \sqrt{\rho_2 E_2} + \sqrt{\rho_1 E_1} \sigma_2 = \sqrt{\rho_1 E_1} \cdot \rho_2 E_2 V_1 \quad (2.19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.18) ke persamaan (2.19) diperoleh :

$$\frac{(A_1 \sqrt{\rho_2 E_2} + \sqrt{\rho_1 E_1} A_1) \sigma_1}{A_2} = \sqrt{\rho_1 E_1} \cdot \rho_2 E_2 V_1$$

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{\rho_1 E_1} \cdot \rho_2 E_2 V_1}{A_1 \sqrt{\rho_1 E_1} + A_2 \sqrt{\rho_2 E_2}} A_2 \quad (2.20)$$

dengan cara yang sama akan diperoleh nilai σ_2 yaitu :

$$\sigma_2 = \frac{\sqrt{\rho_1 E_1} \cdot \rho_2 E_2 V_1}{A_1 \sqrt{\rho_1 E_1} + A_2 \sqrt{\rho_2 E_2}} A_1 \quad (2.21)$$

Tegangan impact yang ditransmisikan ke input bar dan batang spesimen tersebut ditentukan oleh kecepatan batang impact dan sifat-sifat mekanisnya. Bila luas kedua penampang sama besar, maka : $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2$. Selanjutnya tinjau rambatan gelombang tegangan elastis pada input bar dan spesimen seperti pada Gambar 2.6.

Tegangan yang terjadi dari ujung kiri input bar sebesar σ akan ditimbulkan pada interface input bar dan specimen pada saat $t_2 = \frac{l_2}{C_{0,2}}$, dimana: l_2 adalah panjang input bar, dan $C_{0,2}$ adalah kecepatan gelombang elastis pada input bar. Dalam hal, ada tiga bentuk gelombang yang terlibat, yaitu :

1. Tegangan yang terjadi, σ
2. Tegangan yang ditransmisikan, σ_T
3. Tegangan yang dibalikkan, σ_R

Gelombang tegangan tersebut dihubungkan oleh persamaan berikut ini :

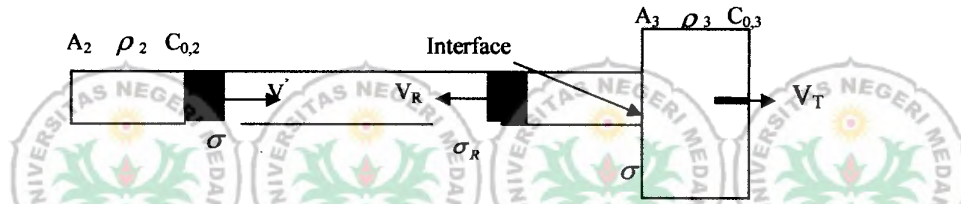
$$\sigma_T = \frac{2A_2 E_3 C_{0,2}}{A_3 E_3 C_{0,2} + A_2 E_2 C_{0,3}} \sigma \quad (2.22)$$

$$\sigma_R = \frac{A_3 E_3 C_{0,2} - A_2 E_2 C_{0,3}}{A_3 E_3 C_{0,2} + A_2 E_2 C_{0,3}} \sigma \quad (2.23)$$

Bila α adalah faktor transmisi dan β adalah faktor refleksi, maka di peroleh hubungan :

$$\sigma_T = \alpha \cdot \sigma \quad (2.24)$$

$$\sigma_R = \beta \cdot \sigma \quad (2.25)$$



Gambar 2.7. Perilaku tegangan pada interface input bar dan specimen

Untuk material yang mempunyai sifat mekanis dan dimensi yang sama, maka dengan mensubstitusikan harga : $E_2 = E_3$; $\rho_2 = \rho_3$; $A_2 = A_3$, dan $l_2 = l_3$ kedalam persamaan (2.21) dan (2.22), diperoleh $\sigma_T = \sigma$ dan $\sigma_R = 0$. Ini berarti besar tegangan yang ditransmisikan adalah sama dengan tegangan yang masuk, dan tidak ada tegangan yang direfleksikan.

2.5.3. Diagram lagrange

Impak dari batang-batang koloneir dapat dianalisa secara sederhana dengan menggunakan diagram lagrange atau diagram ruang waktu atau bidang karakteristik. Representasi atau gambaran ruang waktu dari perambatan gelombang longitudinal sangat berguna untuk memeriksa masalah impak koloneir dari beberapa batang. Diagram ini dibuat dengan mengetahui dimensi dan sifat mekanis dari masing-masing batang tersebut. Diagram lagrange dapat digunakan untuk :

- Menjelaskan metode pengujian.
- Merencanakan panjang batang impak dan batang penerus (striker dan input bar). Sumbu mendatar/horizontal adalah panjang susunan batang yang akan di analisa, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan waktu tempuh gelombang sepanjang batang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.

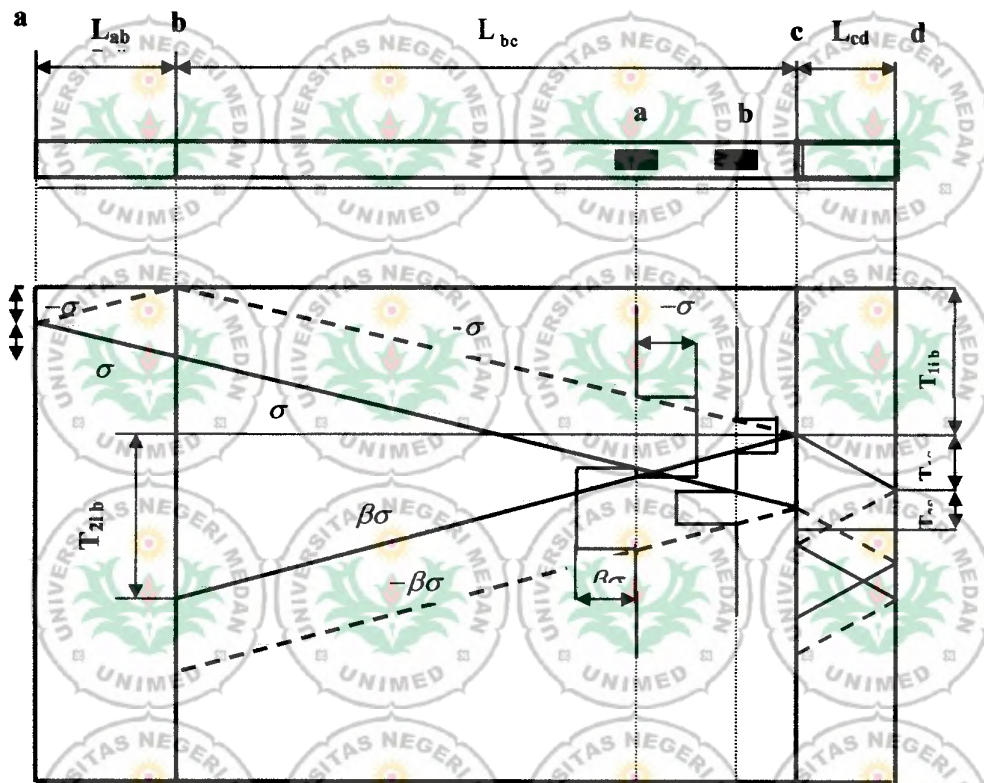
Setelah terjadi impak pada interface batang impak dan batang penerus akan timbul tegangan tekan sebesar σ yang merambat menjauhi interface (b).

1. Peninjauan batang impak

Waktu rambat gelombang sepanjang batang ab adalah :

$$t_{1s} = \frac{L_{ab}}{C_{ab}} \quad (2.26)$$

Setelah mencapai ujung bebas (a), gelombang kembali merambat menuju Interface batang penerus dan batang impact (b). Jika luas permukaan penampang yang mengalami beban impact sama, maka seluruh gelombang tegangan akan diteruskan ke batang penerus pada waktu $t_{2s} = t_{1s}$.



Gambar. 2.8 Diagram Lagrange

Bila diketahui : L_{ab} : Panjang batang impact
 L_{bc} : Panjang batang penerus
 L_{cd} : Panjang specimen
 C_{ab} : Kecepatan rambat gelombang pada batang impact
 C_{bc} : Kecepatan rambat gelombang pada batang penerus
 C_{cd} : Kecepatan rambat gelombang pada specimen

2. Peninjauan batang penerus

Waktu rambat gelombang sepanjang batang bc adalah :

$$t_{1ib} = \frac{L_{bc}}{C_{bc}} \quad (2.27)$$

Setelah mencapai interface batanga penerus dan specimen (c), sebagian gelombang diteruskan ke spesimen dan sebagian kembali ke batang penerus. Waktu yang

dibutuhkan adalah : $t_{2ib} = t_{1ib}$. Begitu pula gelombang yang berasal dari batang impact juga merambat sepanjang batang penerus dan diteruskan ke specimen.

3. Peninjauan Spesimen

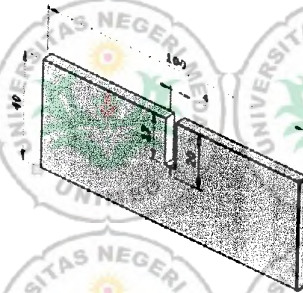
Waktu rambat gelombang sepanjang batang (cd) adalah:

$$t_{1sp} = \frac{L_{cd}}{C_{cd}} \quad (2.28)$$

Gelombang mulai merambat setelah waktu t_{1ib} . Setelah mencapai ujung bebas (d), gelombang kembali dan menuju interface batang penerus dan specimen (c) dengan waktu $t_{2sp} = t_{1sp}$.

2.6. Spesimen uji bahan komposit

Dalam pengujian spesimen adalah menggunakan standard ASTM E-399 dengan ukuran seperti terlihat pada gambar 2.8. Dalam pengujian yang akan dilakukan dengan menggunakan Alat Uji KOMPAK.



Gambar 2.9 Spesimen uji

2.7. Mekanisme Retak Komposit

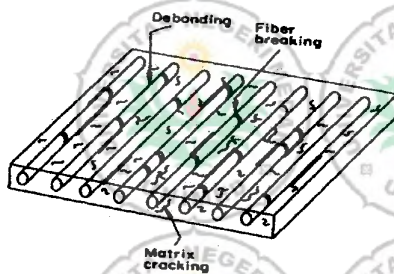
Ada beberapa tipe keretakan atau patahnya material yaitu : patah, rapuh, patah ulet, dan patah akibat faktor kelelahan (fatigue). Maka dengan adanya ilmu mekanika keretakan sehingga dapat dilihat ketangguhan retak bahan, ukuran retak dan tingkat tegangan saling terkait dalam hal untuk memperkirakan keretakan dari struktur yang mengalami patah.

Komposit polimer merupakan komponen rekayasa dalam skala makro (*engineering macroscale*) yang tersusun dari kombinasi dua atau lebih material yang menghasilkan kemampuan dan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dari pada komponen itu berdiri sendiri. Kekakuan komposit lebih kompleks karena sangat tergantung pada bagaimana masing-masing komponen material dikombinasikan. Kemampuan mekanis secara keseluruhan dapat saja menjadi sangat berbeda walaupun komponen penyusunnya sama, tetapi pada

proses pembuatannya berbeda. Dikarenakan penggunaan komposit yang luas dalam bidang kehidupan, maka kerusakan kecil yang terjadi seperti kerusakan fiber (*fiber breaking*), keretakan matriks (*matrix cracking*), berpisahannya lapisan antara (*interface debonding*), delaminasi (*delamination*), dan lain-lain, yang sama mekanisme ini tidak boleh diabaikan didalam memperhitungkan kemampuannya (Sih, G. C, 1988). Pemeriksaan fraktografi merupakan suatu cara yang efektif dalam memeriksa kerusakan diatas (ASTM E-30, 2002).

2.8. Mekanisme Kegagalan

Tidak sama seperti logam dimana kegagalan mungkin didominasi oleh pertumbuhan dari retak makro (*macro cracks*), komposit diperkuat serat (FRP) gagal didalam suatu cara (mode) kumulatif yang melibatkan kombinasi dari mode yang berbeda seperti kerusakan serat (*fiber breaking*), keretakan matriks (*matrix cracking*) dan berpisahannya serat dan matriks (*matriks/fiber debonding*), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Model (cara) kegagalan komposit diperkuat serat yang tidak searah



Gambar 2.11. Gambar mikro kerusakan laminasi pada matrik, dan terjadi delaminasi pada lapisan matriks

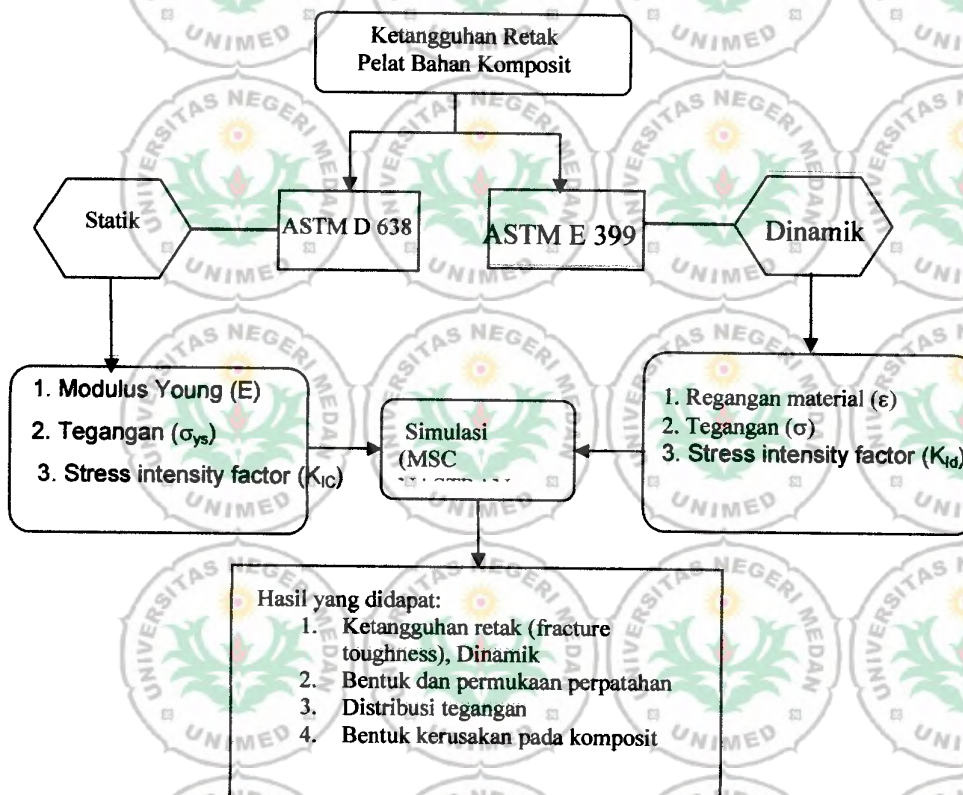
Masing-masing cara (mode) dapat saja terjadi pada waktu yang berlainan dan juga dapat terjadi secara bersamaan pada lokasi kegagalan. Pada Gambar 2.10 hingga 3.11 diperlihatkan gambar mikro (*micrograph*) dari permukaan interface dari material laminasi yang mengalami kegagalan, serta digambarkan mekanisme retak maupun arah progasi dari keretakan tersebut.

Bahan komposit dinyatakan gagal bila tidak berkemampuan memenuhi fungsi utama dari perencanaan yang dikehendaki. Faktor utama bahan mengalami kegagalan adalah beban maksimum yang bekerja melebihi dari kekuatan bahan / tegangan patah bahan. Tidak semua bahan mengalami kegagalan dengan cara yang sama juga ditentukan oleh faktor kekuatan, kemuluran, dan kerapuhan ini merupakan faktor-faktor yang

menerangkan perilaku bahan atau mekanisme gagal suatu bahan. Penyebab kegagalan adalah keretakan sebagian atau sepenuhnya, pembengkokan, ukuran yang berubah terhadap waktu, akibat proses perkaratan, aus atau perubahan sifat dan ciri akibat perubahan waktu, faktor lingkungan dan lain sebagainya.

Model-model kegagalan tergantung pada tegangan atau beban yang terjadi, arah beban, suhu atau temperatur, pengaruh lingkungan atau gabungan dari keadaan tersebut. Faktor yang mempengaruhi kegagalan sangat tergantung pada sifat dasar dan keadaan bahan tersebut, jenis pembebanan yang dikenakan, kadar pembebanan yang dialami, suhu dan keadaan lingkungan, pengaruh tumpuan beban, ketidak sempurnaan permukaan atau cacat bahan dan pemerosesan produk.

2.9. Kerangka Konsep



BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. TUJUAN UMUM

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengklarifikasi inisiasi retak komposit GFRP untuk helmet industri akibat beban impact menggunakan MSC/NASTRAN for Windows.

3.2. Tujuan khusus

1. Untuk mengetahui distribusi tegangan yang ditimbulkan pada spesimen akibat beban impact
2. Untuk mendapatkan nilai ketangguhan retak (*Fracture Toughness*) pada pembebanan dinamis.

3.2. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberi informasi pada dunia industri yang memproduksi helmet tentang klarifikasi retak (*Fracture Toughness*) material komposit polimer.
2. Memberi masukan kepada Badan Standrisasi Nasional (BSN) untuk mempertimbangkan beban impact kecepatan tinggi dalam standarisasi nilai ketangguhan retak.

Memberi masukan pada institusi untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan penelitian selanjutnya.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu

4.1.1. Tempat

Tempat secara simulasi dilaksanakan di Lab Komputer menggunakan perangkat lunak MSC/NASTRAN for Windows.

4.1.2. Waktu

Simulasi ini akan dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan

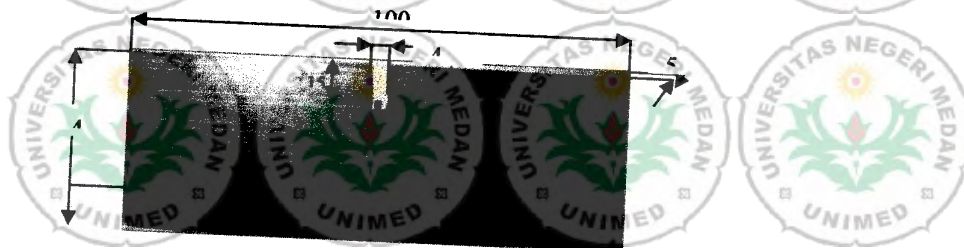
4.2. Bahan

Bahan yang digunakan adalah modelisasi material dari bahan komposit polimer terdiri dari dua campuran matriks adalah *Unsaturated Polyester Resin* BQTN 157-EX.

4.3. Penelitian secara simulasi komputer

Simulasi dengan menggunakan komputer dilaksanakan di IC-ATAR USU. Software yang digunakan adalah MSC/NASTRAN for Windows yang berbasis metode Elemen Hingga (MEH). MSC/NASTRAN mampu menyelesaikan persoalan-persoalan struktur dan material untuk menganalisa tegangan (*stress*), perpindahan panas (*heat transfer*) dan (*vibration*) dengan mengimpor geometri CAD (*Computer Aided Design*)

Kajian numerik yang umum digunakan dilakukan dengan dua cara yaitu dengan beda hingga dan elemen hingga. Beda hingga (*finite difference*) dilakukan dengan mendiskretisasikan persamaan diferensial. Metode ini memiliki kelemahan utama yaitu syarat-syarat batasnya sangat sulit dipenuhi. Dan kelemahan yang lain adalah akurasi hasil perhitungannya yang relatif rendah. Kajian elemen hingga adalah analisi pendekatan yang berasumsi peralihan atau asumsi tegangan atau berdasarkan kombinasi keduanya pada setiap elemennya. Simulasi komputer untuk mengklarifikasi perilaku mekanik yang terjadi akibat pengujian secara experimental.



Gambar 4.1. Model simulasi dengan MSC/NASTRAN

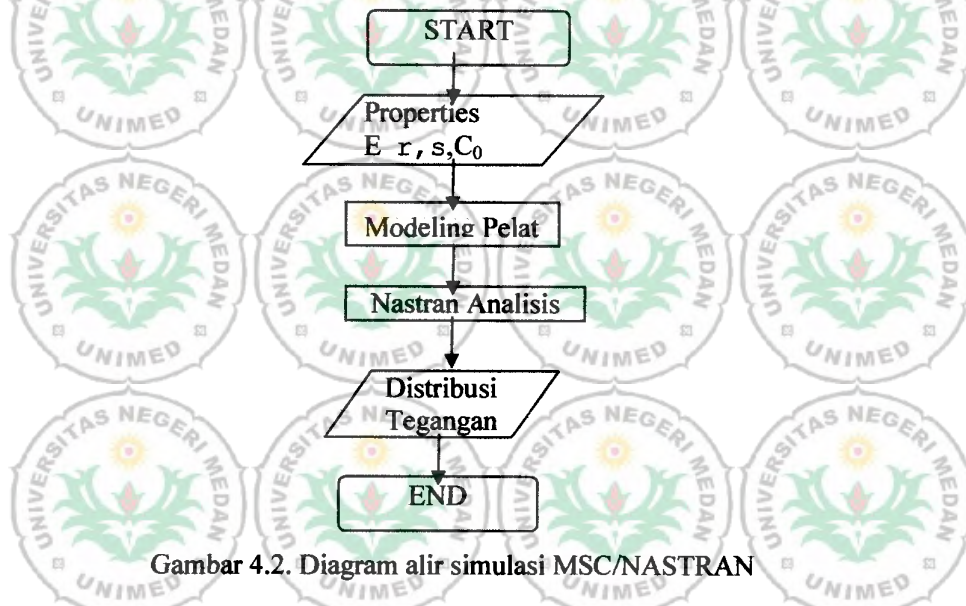
4.4. Variabel yang Diamati

Variabel yang akan diamati dalam penelitian ini terbagi dua, yaitu : pertama adalah variabel untuk uji statik yang menghasilkan beberapa sifat mekanik dari material GFRP, dan kedua adalah variabel untuk uji respon struktur pelat terhadap beban impact.

3. Tegangan insiden akibat beban impact (σ_i)
4. Waktu terjadinya beban impact (t)
5. Distribusi tegangan pada permukaan pelat
6. Faktor intensitas tegangan kritis.

4.5. Pelaksanaan Simulasi Komputer MSC/NASTRAN

Pelaksanaan simulasi ini akan mengikuti diagram alir seperti diperlihatkan pada gambar 5.5. Dari diagram tersebut dapat menjelaskan urutan pelaksanaan mulai dari persiapan sampai pada analisa hasil dan kesimpulan.

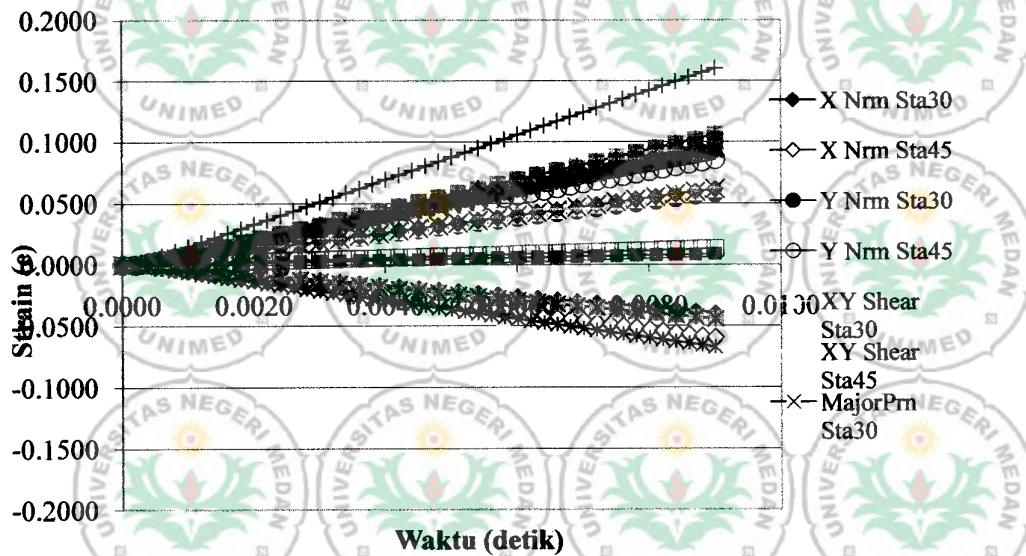


Gambar 4.2. Diagram alir simulasi MSC/NASTRAN

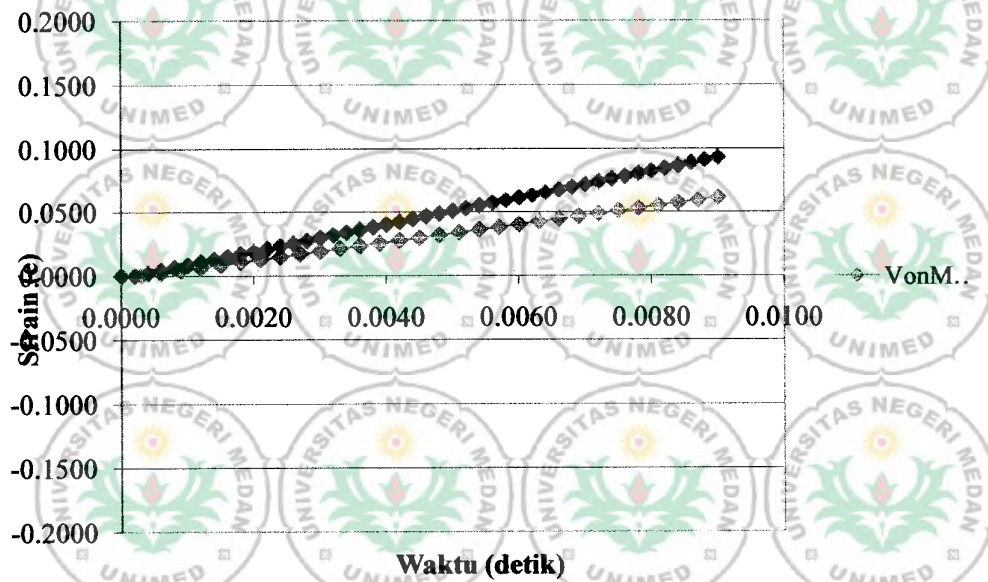
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. HASIL PENGUJIAN

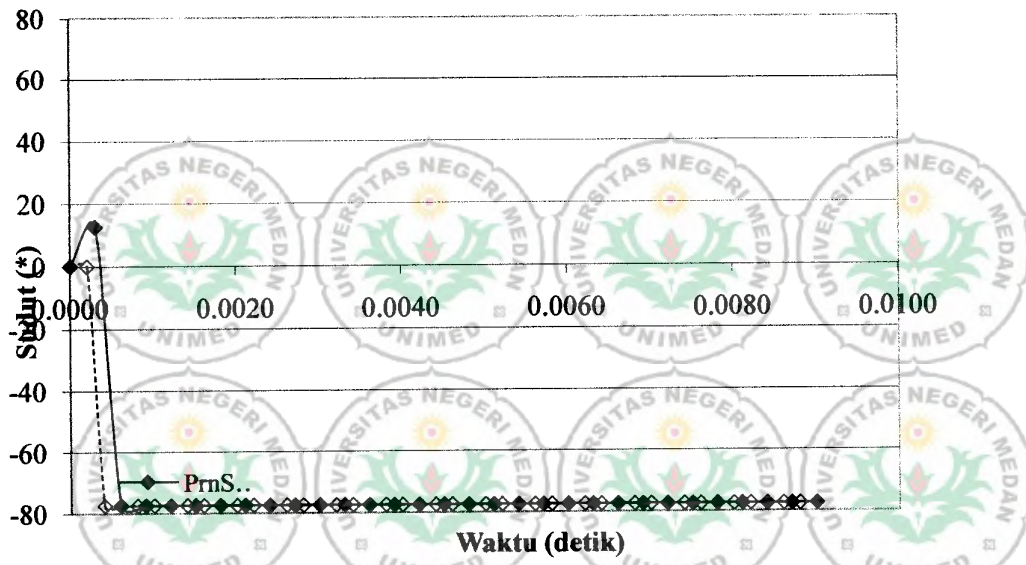
Hasil simulasi menggunakan Software MSC NASTRAN 45, dengan memodelkan spesimen sebagai plat dua dimensi, diperoleh grafik hubungan lama insiden dengan kerapatan elemen peodelan sebagai berikut:



Gambar 5.1: Regangan Waktu Menurut Analisa Software MSC Nastran 45



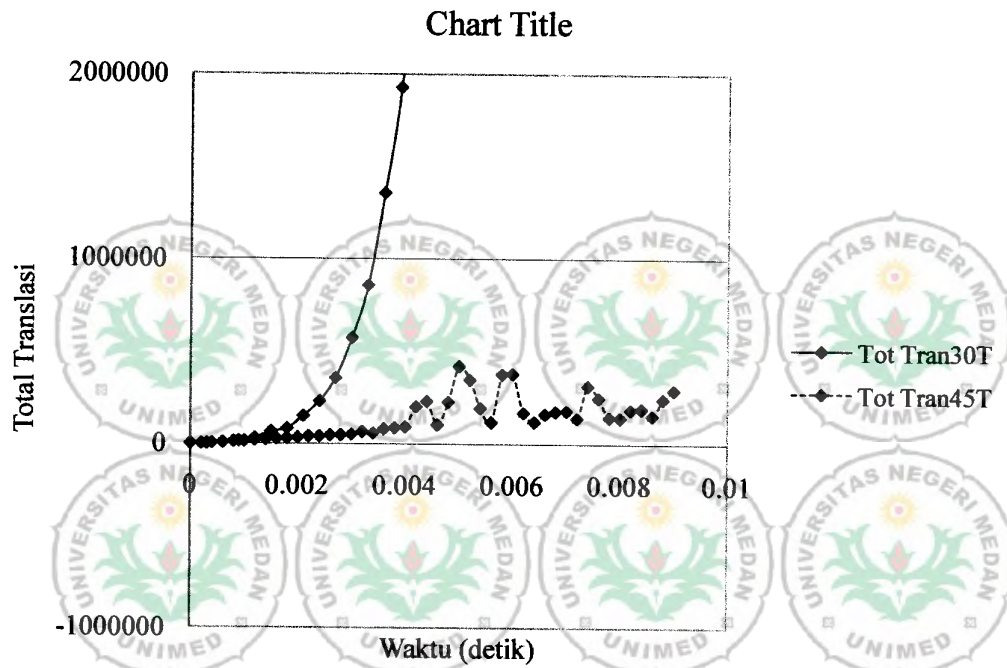
Gambar 5.2: Regangan VonMises Menurut Analisa Software MSC Nastran 45



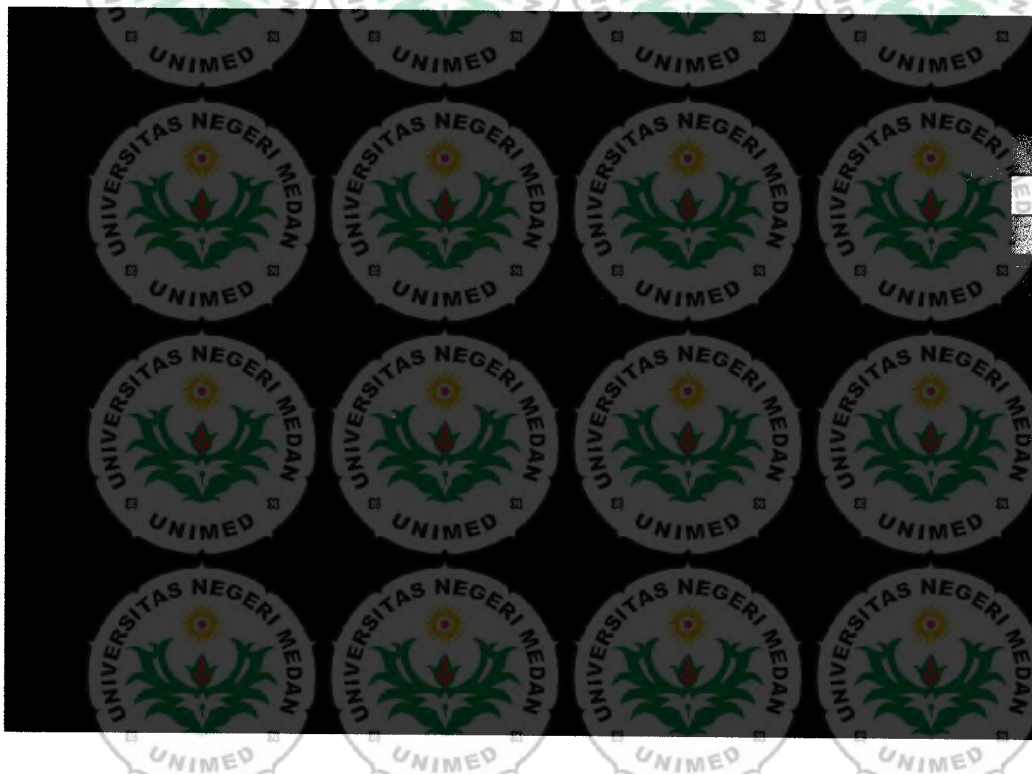
Gambar 5.3. Sudut Prinsipal Waktu Menurut Analisa Software MSC Nastran 45



Gambar 5.3. Pergeseran Waktu Menurut Analisa Software MSC Nastran 45



Gambar 5.4. Total Pergeseran Waktu Menurut Analisa Software MSC Nastran 45



Gambar 5.5. Distribusi Regangan VonMises Sebelum Diberi Tegangan Impak



Gambar 5.6. Distribusi Regangan VonMises Setelah Diberi Tegangan Impak pada waktu 0.0003 detik





Gambar 5.7. Distribusi Regangan VonMises Setelah Diberi Tegangan Impak pada waktu 0.0006 detik



Gambar 5.8. Distribusi Regangan VonMises Setelah Diberi Tegangan Impak pada waktu 0.0006 detik daerah ditandai gambar 5.7



Gambar 5.9.. Distribusi Regangan VonMises Setelah Diberi Tegangan Impak pada waktu 0.0006 detik daerah ditandai gambar 5.8



5.2. PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN

Hasil output dari Pemodelan menggunakan metode Finite Element MSCNastran45 gambar 5.1, menunjukkan bahwa strain pada arah sumbu x dan y selalu bertambah secara linier, dan juga regangan VonMises juga selalu naik linier menurut waktu (Gambar 5.2), hal ini menunjukkan sesuatu yang tidak mungkin bahwa kekuatan regangan bahan dapat naik setiap saat, untuk itu perlu dilakukan tinjauan dari segi lain, misalnya dari sudut tangan yang terjadi, gambar 5.3, menunjukkan bahwa tegangan berbalik arah pada langkah kedua (gelombang kedua dari dampak) pada semua pemodelan.

Gambar 5.3 dan 5.4 menunjukkan bahwa pada total translasi bahwa pada pembagian elemen sebesar 4,5 mm dan 3 mm menunjukkan bahwa pergeseran yang mempunyai range yang mendekati juga hanya pada gelombang pertama saja.

Kedua hal ini memastikan bahwa pada pengujian menggunakan metode finite elemen material telah rusak pada gelombang kedua, dan selanjutnya hasil yang tampak hanyalah bentuk perhitungan yang tidak berarti dalam aplikasi lapangan.

Selanjutnya gambar distribusi tegangan pada pemodelan hanya ditunjukkan gambar pada tahap awal ($t=0$) sampai $t=0.0006$ detik.

Gambar 5.9 diperlihatkan bahwa awal retak terjadi pada daerah yang warnanya palng merah dengan jarak kurang lebih 7 mm meter dari awal retak yang dibuat, hasil perhitungan von mises menunjukkan bahwa ketangguhan pada daerah ini sebesar : 2.1172 M.Pa untuk besar elemen 3 mm, 2.1154 M.Pa untuk elemen 4.5 mm.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. KESIMPULAN

Dari hasil pembahsan dapat diperoleh diketahui bahwa t

1. Tegangan belum sampai merata keseluruhan bagian benda kerja benda uj telah rusak
2. Tengan menalar sepanjang daerah ujung dari daerah yang kena dampak, dan menyebar setelah mengenai daerah awal retak buatan.
3. Ketangguhan retak dinamis helem adala sebesar 2.1172 M.Pa, namun nilai ini akan maini dengan bertambah kecilnya pembagian elemen.

6.2. SARAN

Dari hasil pengujian model simulasi, sangatlah perlu untuk menguji apakah hasil pengjian telah betul sesuai kondisi lapangan, namun secara nyata penggunaan software sanat bermanfaat karena untuk mencari distribusi tegangan tidak dapt dicari pada pengujian langsung.

Hasil pengujian menyarankan untuk membuat elemen atau matrik penguat pada bahan helem yang lebih halus agar diperoleh ketangguhan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Timing, R.L, Engineering Material, Vol 1, 2nd edition, UK, 1998
- [2]. Takayuki KUSAKA, Experimental Characterization of Interlaminar Fracture Behavior in Polymer Matrix Composites under Low-Velocity, *JSME International Journal Vol. 46, No. 3, 2003*.
- [3]. Luisa Moreno, *Impact Fracture Toughness of Polyethylene/Polypropylene Multilayers*, Polymer Engineering And Science, September 2004, Vol.44, No.9.
- [4]. Masaki HOJO, Taketoshi YAMAO, Effect of Interface Control on Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Woven C/C Composite Laminates. *JSME, International Journal*, Vol. 44, 2001.
- [5]. Syam B, Dynamic Fracture Toughness and Damage Mechanisms Of GFRP Subjected to Short Pulse Stress Intensity.
- [6]. Kaban, I... Bustami Syam, Metode Pengukuran Kekuatan Tarik Impak dan Mekanisme Retak dari Pelat GFRP, *Tesis Magister, Jurusan Teknik Mesin, PPs-USU, Medan, 2003*.
- [7] Chawla, Krishan, Composite Material, First Edition, Berlin Spring-Verlag, *New York Inc, 1987*
- [8] Warner, B, Steve, Fiber Science, University of Massachusetts, Prentice Hall, *New Jersey, USA, 1995*
- [9] Fried, R, Joel, Polymer science and Technology, University of Cincinnati, *Prentice Hall, New Jersey, USA, 1995*
- [10] T.L. Anderson, Fracture Mechanics Fundamentals and Applications
- [11] Dailly, James W, Instrumentation for Engineering Measurement, *Second Edition, New York, John Willey & Son, Inc, 1993*
- [12] Kolsky, H, An Investigation of the Mechanical Properties of Materials at Very High-Rate of Loading, *Proc. Phys. Soc, London, B62, 676-700, 1949*.
- [13] Thomson, R.D, S.P. Duckworth, A.Birkbeck, and M.T.Cassidy, The Performance of Industrial Safety Helmets Under Transverse Loading, *Techology, Law and Insurance, 1997* 2, 1-6.
- [14]. Syam B, Aplikasi Teknik Dua Gage Dalam Pengukuran Tegangan Indisinden Pada Helmet Industri yang Dikenai Beban Impak Kecepatan Tinggi, *Journal Ilmiah SINTEK, Vol 19, no.2, 2003*.

- [15]. Syam B, Kouji Nakazato, and Hiroomi Homma, *Dynamic Fracture Toughness and Damage Mechanisms of GFRP Subjected to Short Pulse Stress Intensity*, Proc. 3rd Internasional Symposium on Impact Engineering, Singapore, pp 172-177, 1999.
- [16]. Hertzberg, W, Richard, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Material*, Third Edition, John Willey & Sons Inc, Toronto, 1989.
- [16]. Gibson, R.F, *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw Hill, New York, 1994
- [17] JSME Standard Method of Test for Elastic-Plastic Fracture Toughness J_{IC} -S001-1981, JSME, 1981.
- [18]. Richard W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Material*.
- [19]. George E. Dieter, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1 & 2, 1993.
- [20]. Syam B, Nayan, *Penyelidikan Perilaku Mekanik Helmet Industri Akibat Beban Kecepatan Tinggi, Prosiding Seminar Material dan Struktur (MASTRUCT)*, Medan, Januari, 2004.
- [21]. ASM *HandBook, Mechanical Testing*, vol 8.



1. DAFTAR RIWAYAT HIDUP KETUA PENELITIAN

Nama : Riski Elpari Siregar
 Tempat/ Tgl. Lahir : 4 April 1968
 Alamat : Jl. Banten No 78 Dsn VIII, RT.RW:004/002, Desa Bandar Klippa, Percut Sei Tuan, Deli Serdang (20371)
 Agama : Islam
 Kewarganegaraan : Indonesia
 Instansi Asal : Jurusan Teknik Mesin, FT UNIMED, Medan

I. Penelitian

No	Judul Penelitian	Thn
1	Analisa Laju Korosi Baja Struktur Pada Kelembaban Tinggi	2004
2	Efek Temperatur Austenisasi Terhadap Kekuatan Lelah Baja Karbon Martensit	2005

II. Pelatihan Dan Seminar

No	Judul Kegiatan	Tahun	Penyelenggara
1	Tutorial and Workshop On Experimental Fracture Mechanics For Material and Composite Material	2002	Mechanical Engineering, Program PPS USU
2	Pelatihan dan Lokakarya Pengendalian Kebisingan Industri dan Lingkungan	2002	Pusat Riset Pengendalian Kebisingan Teknik Mesin USU
3	One Day Seminar "The Implementation of Information Technology In Public Sector in Nort Sumatera"	2002	IC STAR USU dan BAPPEDASU & PT TELKOM
4	One Day Seminar On Material & Structure (MASTRUCT 2002)	2002	International Centre for Science Technology and Art, (IC-STAR) USU
5	Seminar Populer Optrimasi dan Peran Teknologi/ Sistem Informasi Pada Industri Logam	2003	JTM FT UISU-Lab Tek Metallurgy ITB
6	One-Day Seminar on Material & Structure	2005	International Center for Science,

(MASTRUCT 2005)	Teknologi and Art (IC-STAR) USU
-----------------	------------------------------------

III Karya Ilmiah dan Publikasi

1. Riski Elpari Siregar dan Muslih Nasution, "Menentukan Jenis Pelumas yang Sesuai Dengan Karakteristik Mesin", Buletin Utama, Fakultas Teknik, UNIVERSITAS SMATERA UTARA, MEDAN, 2001.
2. Muslih Nasution dan Riski Elpari Siregar, "Klarifikasi Distribusi Tegangan dan Defleksi Metode Double Integral pada Beam Ditumpu Sederhana dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software MSC/ NASTRAN", Buletin Utama Fakultas Teknik, UNIVERSITAS SMATERA UTARA, MEDAN, 2002
3. Riski Elpari Siregar dan Muslih Nasution, "Pengaruh Laju Pendinginan Terhadap Sifat Mekanis Paduan Aluminium", Buletin Utama Fakultas Teknik, UNIVERSITAS SMATERA UTARA, MEDAN, 2002
4. Hidir Efendi dan Riski Elpari Siregar, " Analisa Laju Korosi Baja Struktur Pada Kelembaban Tinggi", Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan, Medan 2004
5. Janter Pangaduan Simanjuntak dan Riski Elpari Siregar."Pengaruh Diameter Silinder dan Pola Aliran Spiral Pada Perpindahan Kalor Dalam Pipa Ganda Tegak" Jurnal Penelitian, Sainatika Vol 5 Nomor :1, Lembaga Penelitian Univeristas Negeri Medan, Medan 2005.
6. Riski Elpari Siregar dan Reza Fadhillah Kinetika Transformasi Fasa Endapan Senyawa Krom Karbida Pada Kasus Penggetasan Temper Baja Nirkarat Zeron-25 (SAF-2507), Buletin Utama Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, 2005/Vol 9, No 3/ 186-191

Medan, / /2008

Peneliti

Riski Elpari Siregar

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
(STATE UNIVERSITY OF MEDAN)
LEMBAGA PENELITIAN
(RESEARCH INSTITUTE)

Jl. W. Iskandar Psr. V-kotak Pos No.1589 – Medan 20221 Telp. (061) 6636757, 6614002, 6613319,
e-mail: penelitian.unimed @ gmail.com; penelitian_unimed@yahoo.com.

SURAT PERJANJIAN KERJA
No. 151/H33.3/KEP/PL/2008

Pada hari ini Senin tanggal empat belas bulan April tahun dua ribu delapan, kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Dr. Ridwan A. Sani, M.Si :Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Medan, dan atas nama Rektor Unimed, dan dalam perjanjian ini disebut PIHAK PERTAMA.
2. Ir. Rizki Elpari, MT :Dosen FT bertindak sebagai Peneliti/Ketua pelaksana penelitian, selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.

Kedua belah pihak secara bersama-sama telah sepakat mengadakan Surat Perjanjian Kerja (SPK) untuk melakukan penelitian sebagai berikut :

Pasal 1

Berdasarkan SK Rektor tanggal 29 April 2008 Nomor : 0132A/H33.11/KU/2008 dan SPMK Pejabat Komitmen 5584 Unimed, tanggal 29 April 2008 Nomor : 037A/H33.11/KU/2008, PIHAK PERTAMA memberi tugas kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima tugas tersebut untuk melaksanakan/mengkoordinasi pelaksanaan penelitian Dana Rutin, berjudul :

"Klarifikasi Ketangguhan Retak Dinamis Akibat Beban Impak Komposit Dengan Simulasi Fem"

Yang berada di bawah tanggung jawab/yang diketahui oleh : PIHAK KEDUA dengan masa kerja 6 (enam) bulan, terhitung sejak SPK ini ditanda tangani.

Pasal 2

1. PIHAK PERTAMA memberikan dana penelitian tersebut pada pasal 1 sebesar Rp. 3.000.000,- (Tiga juta rupiah) yang diberikan secara bertahap.
2. Tahap pertama sebesar 70% yaitu Rp. 2.100.000,- (Dua juta seratus ribu rupiah) dibayarkan sewaktu Surat Perjanjian Kerja ini ditandatangani oleh kedua belah pihak.
3. Tahap kedua sebesar 30% yaitu Rp. 900.000,- (Sembilan ratus ribu rupiah) dibayarkan setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan hasil penelitian kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 3

1. PIHAK KEDUA mengajukan/menyerahkan rincian anggaran biaya (RAB) pelaksanaan penelitian sesuai dengan besarnya dana penelitian yang telah disetujui oleh Rektor Unimed dan pengalokasian dana mengikuti peraturan yang berlaku.
2. Semua kewajiban yang berkaitan dengan pengelolaan keuangan dan aset Negara termasuk kewajiban memungut dan menyetorkan pajak dibebankan kepada PIHAK KEDUA.

Pasal 4

1. PIHAK KEDUA harus menyelesaikan penelitian serta menyerahkan sebanyak 8 (delapan) eksemplar laporan hasil penelitian Dana rutin kepada PIHAK PERTAMA sebagaimana yang dimaksud dalam pasal 1 (selambat-lambatnya 17 Oktober 2008) dan 2 (dua) buah naskah artikel ilmiah hasil penelitian dalam bentuk "Hard Copy" disertai dengan file (*Soft copy*) dalam 1 (satu) buah *Compact Disk* (CD).
2. Sebelum laporan akhir penelitian diselesaikan, PIHAK KEDUA melakukan diseminasi hasil penelitiannya melalui forum yang dikordinasikan oleh Lembaga Penelitian UNIMED yang pembiayaannya dibebankan kepada PIHAK KEDUA.
3. Bahan Seminar dimaksudkan pada ayat (2) disampaikan ke Lembaga Penelitian Unimed sebanyak 5 (lima) eksemplar, diketik satu setengah spasi ukuran kuarto, disertai file elektronik dalam format MICROSOFT WORD.
4. Bukti Pengeluaran keuangan menjadi arsip pada PIHAK KEDUA atau PIHAK LAIN yang berkepentingan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Pasal 5

1. PIHAK KEDUA harus mengirim laporan penelitian dimaksud dalam pasal 3.1 kepada :
 - 1.1. PIHAK KEDUA menyerahkan laporan kepada pihak pertama sebanyak 8 eksemplar
 - 1.2. PIHAK KEDUA memberikan hasil laporan kepada anggota-anggota peneliti.
 - 1.3. PIHAK PERTAMA menyerahkan laporan kepada pejabat pembuat Komitmen 5584 sebanyak 3 eksemplar.
 - 1.4. PIHAK PERTAMA menyerahkan laporan kepada Dekan Fakultas 2 eksemplar.
 - 1.5. PIHAK PERTAMA menyerahkan laporan kepada perpustakaan Unimed sebanyak 2 eksemplar.
 - 1.6. PIHAK PERTAMA mengarsipkan laporan sebanyak 1 eksemplar.

Pasal 6

Laporan hasil penelitian yang tersebut dalam pasal 3 harus memenuhi ketentuan sbb:

- a. Bentuk kuarto
- b. Warna kulit biru tua
- c. Sampul kertas jeruk
- d. Dibagian bawah kulit depan ditulis dibiayai dengan dana Dana Rutin Unimed sesuai dengan kontrak kerja Nomor : No. 151 /H33.8/KEP/PL/2008 tanggal 14 April 2008.

Pasal 7

Keterlambatan PIHAK KEDUA dalam menyelesaikan penelitian ini dikenakan denda 1% perhari, dengan maksimum denda 5% dari kontrak, denda tersebut diserahkan kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 8

Hak cipta penelitian tersebut pada PIHAK KEDUA, sedangkan untuk penggandaan dan penyebaran laporan hasil penelitian berada dalam PIHAK PERTAMA.

Pasal 9

Surat perjanjian kerja ini dibuat rangkap 5 (lima) satu rangkap untuk PIHAK PERTAMA satu rangkap untuk PIHAK KEDUA, dan selainnya bagi pihak yang berkepentingan untuk diketahui. Hal-hal yang belum diatur dalam surat perjanjian kerja ini akan ditentukan kemudian oleh kedua belah pihak.

PIHAK PERTAMA

PIHAK KEDUA

Dr. Ridwan A. Sami, M.S.
NIP. 131772614

Ir. Rizki Elpari, MT
NIP. 132158573