

KETANGGUHAN RETAK DINAMIK KOMPOSIT GFRP SEBAGAI BAHAN DASAR PEMBUATAN HELMET INDUSTRI

Zuhaimi

Email: zuhaimi_pnl@yahoo.com

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Abstrak

Ketangguhan retak komposit Glass Fiber Reinforcement Plastic (GFRP) salah satu sifat-sifat mekanik yang perlu diketahui, terutama pada produk yang mengalami benturan seperti helmet industri. Dalam kajian ini, harga ketangguhan retak dinamik diperoleh melalui proses simulasi elemen hingga dan membandingkannya dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Simulasi dilakukan melalui analisa dinamik menggunakan software MSC/NASTRAN dengan membentuk kontur spesimen setengah geometri untuk memudahkan proses analisa. Standar spesimen ASTM E-399 dengan ketebalan 4 mm yang terdiri dari susunan dua lapis serat penguat. Parameter ketangguhan retak ditentukan berdasarkan faktor intensitas tegangan kritis (K_I). Hasil simulasi menunjukkan harga ketangguhan retak sama dengan metode eksperimental dan dengan demikian cara simulasi juga memberikan tingkat akurasi yang tinggi

Kata kunci: Komposit GFRP, Ketangguhan retak, Simulasi elemen hingga.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri dalam bidang konstruksi dan produk-produk teknologi tinggi, menuntut ketersediaan material teknik dengan kualitas yang tinggi pula. Hal ini terlihat dengan meningkatnya permintaan terhadap bahan-bahan teknik yang memiliki kekuatan tinggi, mudah dibentuk, ringan, tangguh, tahan korosi, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh. Komposit salah satu material rekayasa teknologi yang saat ini menjadi pilihan yang tepat karena memiliki sifat-sifat tersebut di atas dan susunan seratnya dapat dibentuk sesuai aplikasi di lapangan. Penemuan material komposit ini telah menjadi revolusi dalam dunia ilmu material, karena bahan komposit telah mampu menyaingi kekuatan baja.

Pada kajian ini, komposit yang digunakan diperkuat oleh serat gelas sebagai bahan dasar pembuatan helmet industri. Helmet industri yang digunakan oleh pihak perusahaan untuk para pekerja biasanya terbuat dari bahan jenis polimer seperti; Polipropilene (PP), Poliethilene (PE), yang ditinjau dari segi kekuatannya masih belum mampu atau belum tahan terhadap benturan benda keras. Karena kondisi aplikasinya mengalami tumbukan secara tiba-tiba, maka para perancang harus menggunakan data ketangguhan retak dinamik

melalui uji dinamis. Bentuk pengujian yang tepat dilakukan adalah uji impak kecepatan tinggi dengan memperkirakan adanya benda yang jatuh dari bangunan bertingkat tinggi yang akan menimpa kepala para pekerja di lantai bawah.

Dari hasil analisa ketangguhan retak ini diharapkan material komposit GFRP akan memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis material yang terbuat dari polimer biasa. Juga dapat memberi informasi pada dunia industri yang memproduksi helmet tentang ketangguhan retak (*Fracture toughness*) material komposit polimer.

TEORI DASAR

Material komposit telah menunjukkan kelasnya sebagai pesaing bahan konvensional lainnya, karena bahan ini dapat dibentuk sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang sama dengan baja, namun lebih ringan hingga 70% [1].

Komposit merupakan gabungan dua atau lebih material yang berbeda secara makroskopik yang dicampur dengan cara tertentu sehingga penyebaran bahan yang satu terhadap lainnya dapat dijaga untuk

mendapatkan sifat-sifat yang lebih unggul dari unsur pembentuknya [2]. Komposit GFRP adalah komposit yang diperkuat dengan serat gelas yang terdiri dari: *poliester resin BTQN 157-EX* sebagai pengikat (matrik), dan E-glass dalam bentuk *Chopped Strand Mat (CSM)* sebagai serat penguat. Matrik berfungsi untuk memelihara arah dan jarak antar serat, meneruskan dan mendistribusi gaya pada serat, melindungi serat. Sedangkan penguat atau filler ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan bahan komposit.

BTQN 157-EX yang digunakan diatas adalah *Unsaturated Poliester Resin*, menurut Chawla, [3] Kemampuan mekanis dari *Unsaturated Poliester resin* seperti diperlihatkan pada tabel (1).

Tabel 1. Sifat Mekanik Unsaturated Poliester Resin

Sifat Mekanik	Harga	Satuan
Density	1120	Kg/m ³
Tensile strength	55	MPa
Elongation	2	%
Impact value	0,5 - 1	Joule
Maximum servc. temp.	200	°C

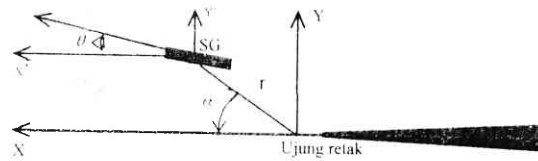
Untuk serat E-glass, sifat-sifat mekanik seperti ditunjukkan pada tabel (2).

Tabel 2. Sifat Mekanik Serat E-glass

Sifat Mekanik	Harga	Satuan
Relative Density	2,55	g/Cm ³
Tensile strength	3,5	GPa
Modulus Elastisitas	74	GPa

Menurut Anderson, T.L [4], ketangguhan retak merupakan suatu fenomena untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap perluasan retak. Beberapa jenis standard yang digunakan untuk pengukuran ketangguhan retak, yaitu: *America Society for Testing and Material (ASTM)*, *British Standard Institution (BSI)*, dan *Japan Society of Mechanical Engineers (JSME)*. Pada umumnya untuk ketangguhan retak material logam dan non logam menggunakan ASTM E-399 [5] dengan parameter ketangguhan retak berdasarkan faktor intensitas tegangan kritis (K_{I}).

Untuk menentukan harga faktor intensitas tegangan kritis (K_{I}) dapat dilihat pada gambar 1 dalam dua dimensi.



Gambar 1. Lokasi Strain Gauge dari Ujung Retak

Pemilihan sudut α dan θ untuk penempatan posisi Strain Gauge tergantung pada poison ratio seperti pada tabel (3) dibawah ini.

Tabel 3. Poison ratio ν untuk sudut α dan sudut θ

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

Pada penelitian ini diambil poison ratio ($\nu = 0,333$) dengan sudut $\alpha = 60^{\circ}$ dan $\theta = 60^{\circ}$, maka untuk menentukan ketangguhan retak bahan komposit dengan menggunakan persamaan:

$$K_{I,d} = E\varepsilon \sqrt{\frac{8}{3} \pi r} \quad (1)$$

Dimana :

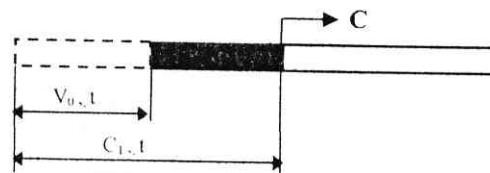
$K_{I,d}$ = Faktor intensitas tegangan dinamis (MPa)

E = Modulus Young (MPa)

ε = Regangan

r = Jarak lokasi pengukuran regangan (mm)

Gelombang longitudinal sebagai konsep dasar teori propagasi tegangan pada sebuah batang logam dapat dilihat pada Gambar (2).



Gambar 2. Prilaku Gelombang Longitudinal

Keseimbangan momentum pada Gambar (2) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta m V &= F t \\ m V &= F t \\ (A_0 C_0 t \rho_0) V_0 &= \sigma_0 A_0 t \\ \sigma_0 &= \rho_0 C_0 V_0 \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana :

- C_0 = Kecepatan gelombang longitudinal merambat pada batang
- V_0 = Kecepatan partikel
- σ_0 = Tegangan pada batang
- ρ_0 = Massa jenis bahan

Modulus Elastisitas pada bahan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} E &= C_0^2 \rho \\ C_0 &= \sqrt{\frac{E}{\rho}} \end{aligned} \quad (3)$$

Dalam analisa dinamik, waktu per langkah dapat ditulis dengan persamaan :

$$t = \frac{l}{c_0} \quad (4)$$

Mekanisme kerusakan yang terjadi pada komposit seperti :

- a. Kerusakan fiber (fiber breaking)
- b. Keretakan matrik (matrik cracking)
- c. Berpisahanya lapisan antara matrik (interface debonding)

Faktor utama bahan mengalami kegagalan adalah beban maksimum yang bekerja melebihi dari kekuatan bahan/ tegangan patah bahan.

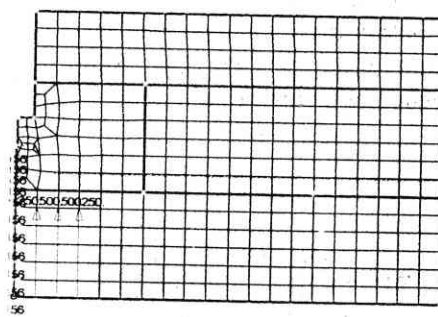
PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, ingin diketahui adalah ketangguhan retak dinamik material komposit yang diperkuat serat gelas (GFRP). Penelitian sejenis sudah pernah dilakukan oleh Bustami, Syam dkk [6]. Dengan bentuk material uji (spesimen) yang sama ingin dibuktikan harga ketangguhan retak melalui proses simulasi elemen hingga. Pada pengujian ini beban impak diperoleh dari tegangan yang masuk ke spesimen dengan terlebih dahulu harus mengetahui diameter input bar dan tebal spesimen. Melalui simulasi ini juga akan diketahui propagasi tegangan yang terjadi di dalam spesimen.

Proses Simulasi

Proses simulasi dimulai dengan mendefinisikan sifat material, membuat geometri dan pengaturan mesh, menentukan kondisi batas, memberi beban serta melakukan analisa dinamis. Interpretasi hasil dapat diperoleh setelah dilakukan proses analisa. Program simulasi ini dibuat dengan menggunakan soft ware MSC NASTRAN dengan sub program FEMAP [7]. Untuk menyederhanakan pada proses simulasi, kesimena digambarkan setengah geometri karena bentuknya yang simetri, demikian pula dalam membuat mesh dapat diatur dengan memperkecil ukuran mesh (*fine mesh*) pada daerah sekitar ujung retak. Untuk memudahkan pada saat pemberian beban, ukuran elemen di ditetapkan 2,5 mm yang disesuaikan dengan diameter batang pak. Dari proses diskritisasi pada kesimena, menghasilkan 335 elemen dan 373 de.

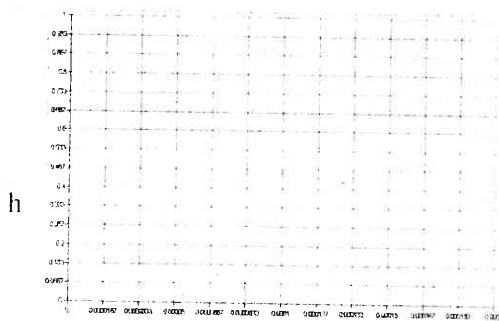
Pemberian kondisi batas (*constraint*) pada kesimena dilakukan sepanjang garis simetri, itu mulai dari bawah sampai pada batas ujung retak.dengan membebaskan arah sumbu X seperti ditunjukkan pada gambar 3. Begitu pula penentuan besarnya beban yang diberikan dapat dihitung berdasarkan tegangan yang masuk spesimen. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terdahulu diperoleh besarnya tegangan insiden 50 Mpa, yang dikalikan dengan mengalikan harga tegangan tersebut dengan luas penampang yang mengalami impak diperoleh besarnya beban pak 1500 N.



Gambar 3. Pemberian Beban dan Kondisi Batas

Tempatan lokasi beban impak pada masing-masing node sejarak setengah dari diameter input bar, dan gambar (3) juga menunjukkan besar beban pada tiap-tiap node.

Dari proses simulasi pada gambar (3) dapat menjelaskan bahwa, pada kondisi batas bagian yang diikat (*fixed*) adalah bagian 1,5,6 sedangkan arah X atau bagian 2,3,4 dibebaskan (X simetri). Besar beban 1500 N dapat dibagi pada masing-masing node secara berturut-turut yaitu (250, 500, 500, 250) N. Fungsi dinamik dapat digambarkan melalui grafik fungsi sinus dengan mengetahui waktu rambat gelombang tegangan pada spesimen dengan membuat persamaan fungsi sinus pada sudut 180^0 yang merupakan garis lurus. Gambar 4 menunjukkan grafik fungsi dinamik pada arah X (0 – 200 μ s) dan arah Y (0 – 1 – 0).

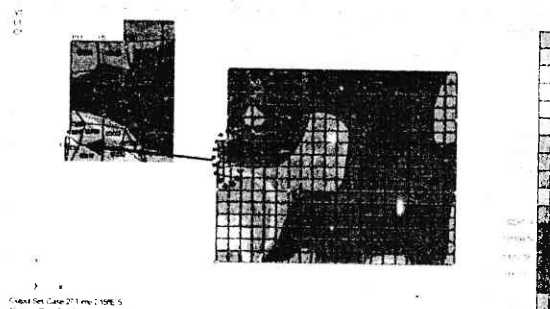


Gambar 4. Grafik Fungsi Dinamik

Analisa beban dinamik dapat dilakukan untuk mengetahui waktu perlangkah (*time per step*), yaitu dengan menggunakan persamaan (4), dan Jumlah langkah (*number of step*) dapat diperoleh dengan membagi panjang diagonal spesimen dengan panjang per elemen.

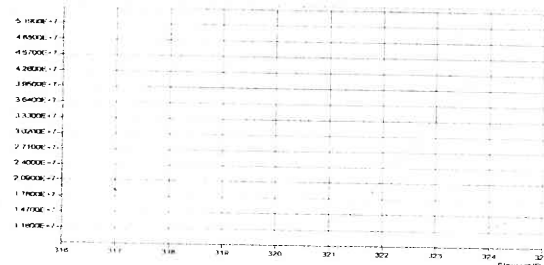
b. Interpretasi Hasil

Hasil simulasi yang telah dianalisa dengan type analisis adalah *transient dynamic/time* dan type output *displacement and stress* dapat ditunjukkan oleh gambar (5), yaitu pada kontur tegangan utama (VonMises).

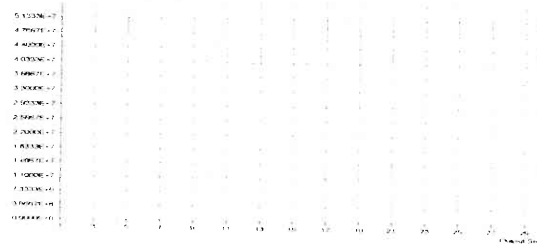


Gambar 5. Distribusi Tegangan Utama

Dari distribusi tegangan hasil simulasi seperti pada gambar (5), diperoleh tegangan insiden (*incident stress*) yang terjadi pada ujung retak sebesar 50386808 Pa atau 50,4 MPa. Tegangan 50,4 MPa tersebut terjadi pada elemen 318, yang terdiri dari 27 langkah (*number of step*) dengan waktu rambat gelombang 21,6 μ s, seperti ditunjukkan pada grafik gambar (6, 7 dan 8) secara berurutan.

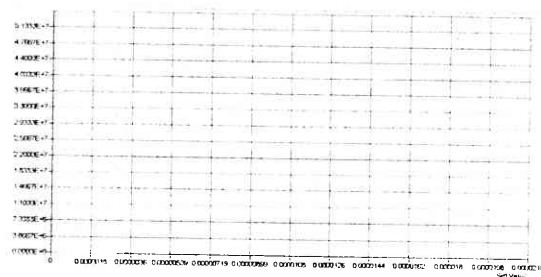


Gambar 6. Grafik Tegangan Vs Nomor Elemen



Gambar 7. Grafik Tegangan Vs Jumlah Langkah

Dari gambar (6) dan (7) dapat diperlihatkan, bahwa tegangan terbesar terjadi pada elemen 318 dan selanjutnya tegangan semakin menurun, sedangkan ditinjau dari jumlah langkah (*number of step*) tegangan paling besar terjadi pada langkah ke 27.



Gambar 8. Tegangan Vs Waktu Rambat Glb.

C. Ketangguhan Retak Dinamik

Ketangguhan retak dinamik sebagaimana dijelaskan pada artikel terdahulu, merupakan perilaku mekanik yang harus diketahui untuk diaplikasi pada konstruksi yang mengalami pembebanan secara tiba-tiba. Informasi harga ketangguhan retak dinamik dapat diperoleh dengan mengetahui terlebih dahulu tegangan yang terjadi di sekitar ujung retak (*crack tipe*). Dari hasil simulasi pada kontur tegangan utama (VonMises) pada elemen 318 diperoleh tegangannya adalah 50,4 Mpa. Dengan menggunakan persamaan (1), harga ketangguhan retak dapat diperoleh sebesar 12,1 MPa.

Harga ketangguhan retak dari data hasil simulasi di atas dapat diklarifikasi kembali dengan hasil yang diperoleh secara eksperimen yang telah dilakukan peneliti sebelumnya yaitu sebesar 12 MPa. Hasil ketangguhan retak dinamik dari uji simulasi ini, juga dapat dibandingkan dengan hasil uji statik, yaitu sebesar 10 MPa. Hasil-hasil yang diperoleh dari proses simulasi dan cara eksperimen menunjukkan harga yang sama, dengan demikian cara simulasi juga memberikan tingkat akurasi yang tinggi. Dari perbandingan di atas juga dapat menjelaskan bahwa ketangguhan retak dinamik akan memberikan respon yang berbeda dengan ketangguhan retak melalui uji statik, di mana harga ketangguhan retak statik lebih rendah dari ketangguhan retak dinamik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dengan metode elemen hingga menggunakan MSC/NASTRAN, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Tegangan yang terjadi pada ujung retak sebesar 50,4 MPa yaitu pada elemen 318, langkah ke 27 dengan waktu rambat gelombang 21,6 μ s.
2. Harga ketangguhan retak dinamik yang didapat 12,1 MPa, dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan helmet industri.
3. Ketangguhan retak dari proses simulasi elemen hingga, menunjukkan hasil yang sama dengan yang dilakukan secara eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anderson, T.L., *Fracture Mechanic Fundamentals and Application*, CRC Press, Inc. Boca Raton Ann Arbor Boston, 1991.
2. Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.01, Mechanical Testing, 1999.
3. Chawla, Krisnan K, *Composite Material and Engineering*, Springer-Verlag New York Inc, 1987.
4. Hull, Derek, *An Introduction to Composite Material*, Cambridge University Press, 1981.
5. Jones, Robert M, *mechanical of Composite Material*, Mc.Graw-Hill KOGA KUSHA, LTD, Tokyo, 1975.
6. Michael Reymond, and Mark Miller, *MSC/NASTRAN Quick Reference Guide*, Version 68, 1994
7. Syam, B., *Static and Impact Fracture Toughness of GFRP Composite*, Proceeding, Seminar on Science and Technologi, 1998.