

PENGARUH PERBANDINGAN TEGANGAN (STRESS RATIO)
TERHADAP LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK PANEL
KOMPOSIT BERPENGUAT KOMBINASI SERAT KENAF
ANYAM DAN KONTINYU

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Oleh :

BAYU HENDRAWAN

NIM. 10405020

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA

2010

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PERBANDINGAN TEGANGAN (STRESS RATIO)
TERHADAP LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK PANEL KOMPOSIT
BERPENGUAT KOMBINASI SERAT KENAF ANYAM DAN KONTINYU

Disusun oleh :

Bayu Hendrawan

NIM. 1 0405020

Dosen Pembimbing I

Ir. Santoso, M. Eng., Sc.

NIP. 19450824 198012 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T.

NIP. 19710103 199702 1 001

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Jum'at tanggal 9
Juli 2010.

1. Wahyu Purwo Raharjo, S.T., M.T.

NIP. 19720229 200012 1 001

2. Ir. Wijang Wisnu Raharjo, S.T., M.T.

NIP. 19681004 199903 1 002

3. Puwadi Joko Widodo, S.T., M.Kom.

NIP. 19730126 199702 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dody Ariawan, S.T., M.T.
NIP. 19730804 199903 1 003
Koordinator Tugas Akhir

Syamsul Hadi, S.T., M.T.
NIP. 19710615 199802 1 002

vi

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat, hidayah dan bimbingan-Nyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Perbandingan Tegangan (Stress Ratio) pada Laju Perambatan Retak Fatik Panel Komposit berpenguat Kombinasi Serat Kenaf Anyam dan Kontinyu”. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan guna mencapai gelar sarjana teknik di Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sangat mendalam kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Allah SWT atas kemudahan dan kelancaran yang telah diberikan.
2. Ibu, Bapak, dan Kakakku tercinta, terimakasih atas do'a, kasih sayang dan semangat yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Santoso, M.Eng., Sc. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Kuncoro Diharjo, ST., MT. selaku pembimbing II yang dengan sabar dan penuh pengertian telah memberikan banyak bantuan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dody Ariawan, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS.
5. Dosen-dosen Teknik Mesin FT UNS yang telah membuka wacana keilmuan penulis.
6. Bapak Aji dan Mas Yanto di Lab. Bahan UGM yang telah membantu penulis dalam pengujian spesimen.
7. Teman-teman Teknik Mesin FT UNS: Gagas, Ridwan, Ni'man, Kunto, Santa, Agus., Hery G dan Irul yang sangat banyak membantu penulis selama massa-massa yang sangat sulit.
8. Teman-teman kumpul : Amin, Dipo, Ahmad, Nopi, Didik, Bambang, Mas Arifin, Hendry, Rafi dan Danang yang telah menemani dan membantu penulis.
9. Penghuni Kos Amanah : Andi, Risky, Agus, Eko, Bima, Arief dan Aga atas kebersamaan dan menjadi tempat tak terlupakan.
10. Berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas bantuan dan

dorongan semangat serta do'anya, terima kasih.

Penulis menyadari, bahwa dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, bila ada saran, koreksi dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini, akan penulis terima dengan ikhlas dan dengan ucapan terima kasih.

Dengan segala keterbatasan yang ada, penulis berharap skripsi ini dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, Juli 2010

Penulis

viii

MOTTO

“Bersyukurlah atas semua yang kau dapatkan karena orang lain belum tentu mendapatkan semua yang kau dapatkan, jika kamu memiliki semuanya apa lagi yang hendak kau cari.

Berusahalah mensyukuri kesulitan yang engkau hadapi, sehingga kesulitan itu menjadi berkah bagimu.”

(Syeikh Irfan El Hakeem)

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati, segenap cinta dan kasih sayang, penulis
persembahkan skripsi ini untuk :

ALLAH SWT atas segala nikmat dan hidayah yang telah dikaruniakan,
ampunilah aku atas minimnya syukurku kepada MU.

Rasulullah Muhammad saw, mudah-mudahan ALLAH memperkenankanku tuk
menemuimu di surgaNYA kelak.

Ibundaku Sugiyatmi, Ayahanda Sayiman dan kakakku Yudha Hanindyotomo
yang telah senantiasa memberikan do'a, semangat dan dukungan baik moral,
spiritual dan material tanpa henti.

Teman-Teman yang telah memberikan kenyamanan dan ketenangan sehingga menjadi rumah kedua yang tak terlupakan.

Generasi penerus bangsa yang akan menggunakan skripsi ini sebagai referensi.

ix

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PENUGASAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4

1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II. DASAR TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka.....	6
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. Kajian Teori Komposit	7
A. Serat Kenaf	9
B. Resin Unsaturated Polytester	10
C. Pengeringan Serat.....	11
D. Fraksi Volume Serat.....	11
E. Proses Pembuatan Komposit.....	13
2.2.2. Kajian Teori Laju Perambatan Retak Fatik	13
A. Definisi Fatik	14
B. Tegangan Uji Fatik	14
C. Faktor Intensitas Tegangan.....	15
D. Hubungan Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan	18
E. Mekanisme Penjalaran Retak.....	20
BAB III. METODE PENELITIAN.....	22
3.1. Alat Penelitian	22
3.2. Bahan Penelitian	24
3.3. Pelaksanaan Penelitian	25

3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan	25
3.3.2. Pengolahan Serat Kenaf	25
3.3.3. Teknik Pembuatan Komposit	27 x
3.3.4. Proses Postcure spesimen	31
3.3.5. Variasi Penelitian	31
3.3.6. Pengujian Perambatan Retak	31
3.3.7. Pembahasan dan Analisa Data	34
3.3.8. Diagram Alir Penelitian	35
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Pengujian Kadar Air	36
4.2. Perambatan Retak Fatik pada Komposit	37
4.3. Pengaruh Stress Ratio (R) Terhadap Laju Perambatan Retak.....	41
BAB V. PENUTUP	48
5.1. Kesimpulan	48
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	52

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1. Bahan yang digunakan dalam penelitian	24
Tabel 3.2. Fraksi volume yang terbentuk	30
Tabel 4.1. Perbandingan harga C dan m	42

Halaman

Gambar 2.1. Kurva pengaruh stress ratio pada laju perambatan retak	7
Gambar 2.2. Serat kenaf	9
Gambar 2.3. Proses Hand Lay-Up.....	13
Gambar 2.4. Siklus pembebanan dengan amplitudo konstan	15
Gambar 2.5. Mode Perpatahan	17
Gambar 2.6. Kurva harga KIC - Ketebalan benda uji	17
Gambar 2.7. Kurva laju perambatan retak ideal	19
Gambar 2.8. Mekanisme perambatan retak fatik	20
Gambar 3.1. Alat yang digunakan dalam pengujian	22
Gambar 3.2. Alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji	23
Gambar 3.3. Bahan yang diperlukan	24
Gambar 3.4. Proses pencucian serat kenaf	25
Gambar 3.5. Proses pemisahan partikel serat dan pemotongan	25
Gambar 3.6. Pelaksanaan pengujian kadar air	26
Gambar 3.7. Dimensi plat komposit yang dibuat	27
Gambar 3.8. Skema metode cetak tekan	29
Gambar 3.9. Bentuk spesimen uji perambatan retak	31
Gambar 3.10. Posisi spesimen uji saat dilakukan pengujian.	34
Gambar 3.11. Diagram alir penelitian	35
Gambar 4.1. Kurva hubungan waktu pengeringan dan kadar air serat kenaf	36
Gambar 4.2. Sel serat kenaf.....	37

Gambar 4.3. Kurva hubungan antara panjang retak dengan jumlah siklus beban pada berbagai variasi stress ratio	37
Gambar 4.4. Distribusi intensitas tegangan pada spesimen uji	38
Gambar 4.5. Skema arah perambatan retak pada plat komposit serat kenaf	38
Gambar 4.6. Serat kenaf anyam	39
Gambar 4.7. Ilustrasi bentuk anyaman serat kenaf anyam	40
Gambar 4.8. Ujung retak pada spesimen uji	43
Gambar 4.9. Kurva laju perambatan retak untuk berbagai variasi stress ratio (R)	44
Gambar 4.10. Kurva laju perambatan retak gabungan lima variasi stress ratio(R)	45
Gambar 4.11. Panjang lintasan perambatan retak Penampang	45
Gambar 4.12. Arah perambatan retak panel komposit yang diuji dengan R = 0,2	46
Gambar 4.13. Penampang patahan spesimen setelah dilakukan pengujian ...	47

Halaman

Lampiran A. Data pengujian perambatan retak	50
Lampiran B. Data Pengujian kadar air	60

PENGARUH PERBANDINGAN TEGANGAN (STRESS RATIO)
TERHADAP LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK PANEL KOMPOSIT
BERPENGUAT SERAT KOMBINASI KENAF ANYAM DAN KONTINYU

Bayu Hendrawan

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh stress ratio (R) terhadap laju perambatan retak fatik pada plat komposit berpenguat kombinasi serat kenaf anyam dan kontinyu. Bahan penelitian yang digunakan adalah serat kenaf (anyam dan kontinyu), resin unsaturated polyester 157 BQTN EX, dan hardener MEKPO. Plat komposit tersusun dari tiga lamina serat dengan susunan serat kontinyu-anyam-kontinyu. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan pada faksi volume serat 40 %. Spesimen uji dibuat dengan mengacu pada standart ASTM E647. Pengujian fatik dilakukan dengan mesin uji Servopulser pada variasi stress ratio (R) 0,4; 0,2; 0; -0,2; dan -0,4. Hasil penelitian ini akan ditampilkan dalam persamaan PC Paris, $da/dN = C(\Delta K)^m$

m.

Hasil penelitian

menunjukkan bahwa laju perambatan retak fatik plat komposit meningkat seiring dengan penurunan nilai stress ratio. Hal ini dapat dilihat dari nilai konstanta "m"

(angka eksponensial) yang semakin besar seiring dengan semakin kecil nilai stress ratio dan konstanta "C" yang semakin kecil seiring dengan semakin kecil nilai stress ratio. Persamaan PC Paris untuk masing-masing R = 0,4; 0,2; 0; -0,2; dan -

0,4 secara berurutan adalah $da/dN = 4 \cdot 10^{-6}$

(ΔK)

0,794

; $da/dN = 7 \cdot 10^{-6}$

(ΔK)

0,595

;

$da/dN = 6 \cdot 10^{-7}$

(ΔK)

1,192

; $da/dN = 1 \cdot 10^{-7}$

; (ΔK)

1,571

; dan $da/dN = 8 \cdot 10^{-8}$

(ΔK)

1,659

.

Kata Kunci : komposit, serat kenaf, stress ratio, perambatan retak

EFFECT OF STRESS RATIO TO FATIGUE CRACK GROWTH RATE OF
COMPOSITE PLATE REINFORCED BY COMBINATION OF WOVEN AND
CONTINUOUS KENAF FIBER

Bayu Hendrawan

Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty of Sebelas Maret University

ABSTRACT

The objective of this research is to investigate the effect of stress ratio (R) on crack growth rate of the composite plate reinforced by combination woven and continuous kenaf fibers. The materials in this research are kenaf fiber (woven and continuous), unsaturated polyester resin 157 BQTN-EX, and MEKPO hardener. The composite plate consist of with three laminates of fiber that arranged in continuous-woven-continuous. The composite is made by using a press mold method for 40% fiber volume fraction. The specimens are produced according to ASTM E647. The fatigue test is conducted by using Servopulser machine for variation of stress ratio (R) 0,4; 0,2; 0; -0,2; and -0,4. The data of fatigue test is the number of load cycle and the crack length. The result of fatigue test is discribe in PC Paris

equation, $da/dN = C(\Delta K)^m$

m. The result shows that fatigue crack growth rate of composite plate increases with the decreasing of stress ratio. The constanta "m" (number of eksponensial) is increases along with the decreasing of ratio stress and the constanta "C" is decreases along with the decreasing of stress ratio. The

equation of PC Paris to each R = 0,4; 0,2; 0; -0,2; and -0,4 alternately is da/dN =

$$4.10^{-6}$$

$$(\Delta K)$$

$$0,794$$

$$; da/dN = 7.10^{-6}$$

$$(\Delta K)$$

$$0,595$$

$$; da/dN = 6.10^{-7}$$

$$(\Delta K)$$

$$1,192$$

$$; da/dN = 1.10^{-7}$$

$$7$$

$$; (\Delta K)$$

$$1,571$$

$$; dan da/dN = 8.10^{-8}$$

$$(\Delta K)$$

$$1,659$$

.

Keyword : plate composite, kenaf fiber, stress ratio, crack growth rate.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hampir seluruh material teknik mengalami tegangan yang berulang atau fluktuasi yang menyebabkan kerusakan terjadi jauh di bawah tegangan yang diperlukan untuk patah pada saat pembebanan dinamis. Adanya keretakan yang terus merambat pada suatu struktur menyebabkan kekuatan dan keuletannya akan menurun menjadi lebih rendah daripada beban yang harus didukungnya. Hal ini menyebabkan struktur tidak mampu lagi mendukung beban seperti yang telah direncanakan sebelumnya dan akhirnya terjadi kegagalan.

Broek (1986) dalam bukunya menyatakan bahwa secara umum hampir 90% kegagalan atau kerusakan struktur selalu disebabkan oleh beban yang berulang (patah lelah) dan patah getas. Sejarah telah mencatat beberapa peristiwa penting yang berkaitan erat dengan kegagalan struktur karena patah getas dan patah lelah, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Jatuhnya pesawat komersial bermesin jet pertama Comet di laut Mediterania.

Pesawat tersebut mulai mengudara pada tahun 1952 dengan lama penerbangan 300 jam dan jatuh pada bulan Januari 1954. Dari hasil penyelidikan kecelakaan, para ahli menyimpulkan bahwa kerusakan yang terjadi disebabkan oleh kegagalan fatik sebagai akibat beban berulang dan korosi retak-retak kecil yang tumbuh dan menyebar pada bagian panel kabin.

2. Runtuhnya Jembatan Point Pleasant di Virginia Barat pada tahun 1967 yang

terjadi tanpa ada tanda-tanda sebelumnya. Hasil penyelidikan menunjukkan adanya patah getas pada sebuah eyebar yang disebabkan oleh pertumbuhan retak sebuah cacat pada ukuran kritis.

Dewasa ini perkembangan material komposit di bidang rekayasa sangat pesat. Pemanfaatannya sebagai bahan pengganti logam sudah semakin luas, diantaranya adalah untuk bahan pembuat peralatan olah raga, sarana transportasi (darat, laut dan udara), konstruksi dan dunia antariksa. Keuntungan penggunaan material komposit antara lain tahan korosi, rasio antara kekuatan dan densitasnya cukup tinggi (ringan), murah dan proses pembuatannya mudah (Gay dkk, 2003). 2

Jenis komposit yang sudah banyak dikembangkan adalah komposit berpenguat serat sintetis, seperti E-Glass, Kevlar-49, Carbon/Graphite, Silicone Carbide, Aluminium Oxide, dan Boron. Namun, karena serat sintetis mengakibatkan limbah yang sulit terurai secara alami maka perlu dicari serat pengganti yang lebih ramah lingkungan seperti serat alam. Beberapa keuntungan penggunaan serat alam, antara lain dapat diperbaharui (renewable), berlimpah, murah, dapat terbiodegradasi (biodegradable), tidak mencemari lingkungan dan tidak beracun (Prayetno, 2007).

Berbagai jenis tanaman serat tumbuh subur di Indonesia, seperti kenaf, rosella, rami, dan abaca. Dewasa ini, produksi serat alam sudah cukup tinggi yaitu : kenaf 970.00 ton/tahun, rosella 250.000 ton/tahun, rami 100.000 ton/tahun, dan abaca 70.000 ton/tahun (Eichhorn dkk, 2001). Salah satu faktor pendukung tingginya produksi serat kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) adalah masa tanam yang pendek (4 bulan), tahan di lahan yang sering banjir, kemampuan menyerap CO₂ yang tinggi (30-40 ton CO₂/hektar) serta mampu menyerap logam berat dari tanah

(www.kenaf-fibers.com, 2009). Di Indonesia sendiri, serat kenaf biasanya hanya dipergunakan sebagai bahan pembuat karung goni. Oleh karena itu, pemanfaatan serat kenaf perlu ditingkatkan. Salah satu pemanfaatan serat kenaf yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkannya sebagai bahan panel struktur sehingga memiliki nilai ekonomi dan teknologi tinggi.

Aplikasi panel komposit berpenguat serat kenaf sudah banyak digunakan di dunia transportasi dan telekomunikasi, diantaranya seperti mobil Toyota di Jepang (Toyota Corp. Japan, 2005), mobil Mercedes Benz di Jerman, dan produsen elektronik NEC di Jepang. Hasil riset yang dilakukan oleh Diharjo dkk (2005-2007) dan Jamasri (2005-2006) yang memanfaatkan serat kenaf dan limbah serat sawit telah diaplikasikan sebagai penguat panel meja kereta eksekutif (K1) dan kereta ekonomi (K3) di PT INKA Madiun. Pemanfaatan komposit dengan penguat serat alam sudah sangat berkembang dan mulai menggeser penggunaan komposit sintesis dan plat baja. Penelitian yang mengarah pada pemanfaatan komposit berpenguat serat alam sebagai struktur penahan beban dinamis dipandang penting untuk mendukung penggunaan panel komposit berpenguat serat alam sebagai struktur penahan beban dinamis. 3

Salah satu faktor penting yang harus diperhatikan sebelum mempergunakan serat alam sebagai bahan penguat pada komposit adalah mengontrol kandungan air yang terdapat dalam serat itu sendiri. Diharjo dkk (2006) menekankan pentingnya pengontrolan kadar air serat kenaf pada komposit. Pengontrolan kadar air ini dilakukan untuk menghasilkan kekuatan yang tinggi pada komposit. Kadar air bebas yang terdapat di rongga antara sel selulosa pada serat harus dihilangkan, namun kadar air terikat di dalam sel selulosa harus

dipertahankan agar tidak terjadi penurunan kekuatan serat.

Prospek pemanfaatan serat kenaf sebagai bahan penguat pada panel struktur diperkirakan sangat berpeluang untuk digunakan di masa mendatang. Sehubungan dengan hal tersebut, terdapat fakta bahwa mayoritas kegagalan pada plat panel struktur diakibatkan oleh adanya beban dinamis, dimana beban tersebut dapat menimbulkan retak awal (initial crack) yang terus menerus merambat hingga kemudian terjadi kegagalan fatik (Broek,1986). Untuk menjawab masalah tersebut maka dilakukan penelitian atau pengujian perambatan retak fatik untuk mengetahui umur lelah suatu panel struktur. Dalam suatu pengujian perambatan retak, nilai stress ratio merupakan parameter yang tidak bisa dipisahkan. Dimana parameter stress ratio yang diberikan akan menentukan jenis dan besar beban yang akan diberikan pada benda uji. Stress ratio merupakan suatu perbandingan beban maksimum dan beban minimum yang dialami oleh benda uji. Dengan memberikan variasi nilai stress ratio maka akan diperoleh karakter laju perambatan retak yang bervariasi pula, dengan kata lain stress ratio akan mempengaruhi perilaku laju perambatan retak yang terjadi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian dan analisis tentang pengaruh stress ratio terhadap laju perambatan retak pada plat komposit berpenguat serat kombinasi kenaf anyam dan kenaf kontinyu. Keberhasilan penelitian ini diharapkan dapat membantu pengembangan teknologi serat kenaf menjadi suatu rancangan panel komposit di masa mendatang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh salah satu parameter dalam 4

pengujian perambatan retak yaitu stress ratio terhadap laju perambatan retak fatik pada plat komposit berpenguat serat kombinasi kenaf anyam dan kontinyu sebelum diaplikasikan pada suatu struktur.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Material komposit dianggap homogen.
2. Distribusi serat anyam pada komposit dianggap seragam.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyelidiki karakteristik pengeringan serat kenaf anyam dan kontinyu.
2. Menyelidiki pengaruh stress ratio terhadap bentuk kurva laju perambatan retak ($da/dN-\Delta K$) plat komposit berpenguat serat kombinasi kenaf anyam dan kontinyu.
3. Mengetahui pengaruh stress ratio terhadap laju perambatan retak yang terjadi (melalui persamaan P.C. Paris laju perambatan retak fatik).
4. Mengetahui pengaruh stress ratio terhadap jumlah siklus pembebanan yang mampu ditahan sampai spesimen mengalami kegagalan.

Hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai kekuatan lelah panel komposit berpenguat serat kombinasi kenaf anyam dan kontinyu terhadap beban dinamis.
2. Memberikan kontribusi positif dan memperkaya inovasi bagi ilmu

pengetahuan dan teknologi terhadap pemanfaatan serat kenaf untuk aplikasi industri.

3. Hasil riset ini diharapkan dapat menjadi awal perkembangan dan referensi riset fracture mechanics pada panel komposit berpenguat serat alam yang selama ini belum berkembang.

4. Menambah nilai jual serat kenaf.

5

1.5 Sistematika Penulisan

Agar penelitian dapat mencapai tujuan dan terarah dengan baik, maka penulisan penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

1. Bab I Latar Belakang Masalah, Perumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Sistematika Penulisan
2. Bab II Dasar Teori, berisi tinjauan pustaka, dasar teori komposit dan penjelasan unsur-unsur penyusunnya.
3. Bab III Metode Penelitian, berisi alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, pelaksanaan penelitian dan diagram alir.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi data hasil pengujian dan pembahasannya.
5. Bab V Penutup, berisi kesimpulan yang diperoleh dan saran-saran yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan dan bagi penelitian selanjutnya.

6

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Santoso dkk (2008) dalam penelitiannya menyatakan bahwa (1) komposit serat kenaf anyam dengan orientasi serat 45/-45 memiliki kekuatan tarik tertinggi dibandingkan dengan komposit berpenguat serat kenaf anyam 0/-90, 15/75 dan 30/60. (2) komposit berpenguat kombinasi serat kenaf acak-anyam memiliki kekuatan tarik tertinggi pada density serat kenaf anyam 400 gr/m²

Teknologi material komposit dengan menggunakan serat alam sebagai penguat (composite reinforced fiber) telah banyak dikembangkan untuk dapat menggantikan serat sintetis. Hal ini disebabkan karena serat alam yang digunakan sebagai penguat komposit tersebut mempunyai berbagai keunggulan, diantaranya: harga murah, mampu meredam suara, ramah lingkungan, mempunyai densitas rendah, dan kemampuan mekanik yang tinggi. Komposit serat alam banyak digunakan sebagai interior mobil, peredam akustik, dan panel pintu hal ini disebabkan karena penggunaan serat alam sebagai penguat komposit dapat mengurangi berat sampai 80 % (Schuh, 1999).

Kegagalan fatik bending pada batang komposit sandwich serat gelas dengan core foam Rihacell WF51 terdiri dari 3 tahap yaitu (1) kegagalan lelah cepat pada daerah sekeliling bridge zone, (2) retak fatik awal, (3) perambatan retak fatik pada core dengan sudut penjalaran retak 700

. Kegagalan spesimen uji

pada daerah sekitar bridge zone terjadi pada siklus awal umur lelah, yaitu sekitar 3-15% dari total jumlah siklus beban (P_{max}). Pada 20.000 siklus beban, peningkatan level displacement mengindikasikan peningkatan tiba-tiba pada kekakuan batang, yang ada kaitannya dengan kegagalan fatik pada bridge zone (Shipsha dan Zenkert, 2003).

Rowell dkk (1999) menyimpulkan bahwa modulus spesifik komposit serat kenaf-polypropylene (PP) sebanding dengan komposit serat gelas-PP. Harga serat kenaf lebih murah dibandingkan dengan matrik resinnya, padahal kemampuan menahan beban material serat lebih tinggi. Kekuatan komposit serat kenaf-PP 7

meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat, namun regangan gagalnya mengalami penurunan.

Mathur dan Nirbay (2007) melakukan penelitian tentang pengaruh stress ratio dan frekuensi pembebanan pada Aluminium alloy-SiC composite dengan nilai stress ratio 0,1 ; 0,25 dan 0,5 dan frekuensi pembebanan 1 Hz, 5 Hz dan 10Hz. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai stress ratio maka laju perambatan retak akan semakin cepat sedangkan variasi besar frekuensi pembebanan tidak mempengaruhi laju perambatan retak. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat dari kurva $da/dN-\Delta K$ pada Gambar 2.1

Gambar 2.1 Kurva $da/dN-\Delta K$ hasil penelitian Mathur dan Nirbay.

Hélder dkk. (2007) menyatakan bahwa laju perambatan retak fatik panel

komposit serat gelas (Glass Fiber Reinforced Plastic) akan semakin cepat seiring dengan penurunan nilai stress ratio, hal ini dapat dilihat dari nilai konstanta Paris "m" pada persamaan Paris ($da/dN = C[\Delta K]^m$) yang semakin besar jika nilai stress ratio yang diberikan semakin kecil. Nilai konstanta "m" menunjukkan nilai gradien dari kurva laju perambatan retak (kurva $da/dN-\Delta K$), dengan semakin besar gradien maka kurva laju perambatan retak akan semakin tegak sehingga laju perambatan retak akan semakin cepat. Pernyataan tersebut juga diperkuat dengan hasil penelitian Wu (2007) yang dilakukan pada komposit metal Ti40-SiCn yang 8

mempunyai hasil serupa dimana akan terjadi peningkatan laju perambatan retak seiring dengan penurunan nilai stress ratio.

2.2 Dasar teori

2.2.1 Kajian teori komposit

Kata komposit (composite) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan. Composite berasal dari kata kerja "to compos" yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana, bahan komposit berarti bahan gabungan yang tersusun dari dua atau lebih bahan yang berlainan kemudian digabung atau dicampur secara makroskopis. Penggabungan dua material atau lebih tersebut dibedakan menjadi dua macam antara lain (Gibson, 1994):

a. Penggabungan makro, yang memiliki ciri-ciri antara lain :

☐ Dapat dibedakan secara langsung dengan cara melihat.

☒ Penggabungannya lebih secara fisis dan mekanis.

☒ Penggabungannya dapat dipisahkan secara fisis ataupun secara mekanis.

☒ Contoh : Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP).

b. Penggabungan mikro, yang memiliki ciri-ciri antara lain :

☒ Tidak dapat dibedakan dengan cara melihat secara langsung.

☒ Penggabungannya lebih secara kimiawi.

☒ Penggabungannya tidak dapat dipisahkan secara fisis dan mekanis, tetapi dapat dilakukan secara kimiawi.

☒ Contoh : Logam paduan, besi cor, baja, dll.

Karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit didefinisikan sebagai suatu bahan hasil penggabungan dua atau lebih materi penyusun yang berbeda secara makroskopik yang tidak larut satu dengan yang lainnya (Schwartz, 1986).

Karakteristik dan sifat komposit dipengaruhi oleh material-material yang menyusunnya. Dalam hal ini susunan struktur dan interaksi antar unsur-unsur penyusunnya. Interaksi antar unsur-unsur penyusun komposit, yaitu serat dan matrik sangat berpengaruh terhadap kekuatan ikatan antarmuka (interfacial strength). Kekuatan ikatan antarmuka yang optimal antara matrik dan serat 9

merupakan aspek yang penting dalam penunjukan sifat-sifat mekanik komposit (Gibson, 1994).

Penggabungan material yang berbeda bertujuan untuk menemukan material baru yang mempunyai sifat antara material penyusunnya (intermediate)

yang tidak akan diperoleh jika material penyusunnya berdiri sendiri. Material penyusun komposit tersebut bisa berupa fibers, particles, laminate or layers, flakes fillers, dan matrik. Matrik sering disebut sebagai unsur pokok bodi sedangkan fibers, particles, laminate or layers, flakes fillers disebut sebagai unsur pokok struktur (Schwartz, 1986). Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan saling memperbaiki kelemahan dan kekurangan bahan-bahan penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaiki antara lain kekuatan, kekakuan, ketahanan lelah, ketahanan bending, ketahanan korosi, berat jenis, pengaruh terhadap temperatur, isolasi termal, dan isolasi konduktifitas (Jones, 1999). Menurut bentuk material dan penyusunnya, komposit dapat dibedakan dalam lima jenis, yaitu (Schwartz, 1986) :

- a. Komposit serat (fibrous composite).
- b. Komposit partikel (particulate composite).
- c. Komposit serpih (flake).
- d. Komposit sketal (filled).
- e. Komposit laminat (laminate composite).

Komposit serat merupakan jenis komposit yang paling banyak digunakan untuk struktur. Hal ini disebabkan karena komposisi serat lebih kuat dari pada bentuk butiran, mempunyai kekakuan serat yang solid dan matriknya lebih fleksibel (Schwartz, 1986).

A. Serat Kenaf

Gambar 2.2. Serat Kenaf 10

Salah satu unsur penyusun bahan komposit adalah serat. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik lainnya. Serat dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dengan kekuatan pembentuknya. Orientasi dan kandungan serat akan menentukan kekuatan mekanis dari komposit. Perbandingan antara matrik dan serat juga merupakan faktor yang sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan. Serat secara umum terdiri dari dua jenis, yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam, biasanya berupa serat organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Beberapa serat alam telah banyak digunakan oleh manusia, diantaranya adalah rami, ganja, kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, nanas dan serat kenaf. Sedangkan serat sintetis yang sering digunakan manusia seperti rayon, polyester, akril, dan nilon (Bismarck, 2002).

Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) merupakan tumbuhan asli Afrika tepatnya di negara Angola dan Sudan. Pada awalnya kenaf merupakan tumbuhan liar dan daerah tumbuhnya luas. Di Afrika, bagian kenaf yang penting adalah daun yang dapat dimakan sebagai sayuran. Bunga dan buah yang masih muda terkadang dipergunakan sebagai bahan makanan, sedangkan bijinya dijadikan sebagai bahan pembuat makanan ternak. Kenaf banyak digunakan pada pabrik tekstil kasar sebagai bahan pembuat karung yang dipakai untuk mengepak hasil pertanian dan industri, selain itu kenaf juga dapat dibuat menjadi benang ikat dan tali. Di beberapa negara Asia Tengah, kenaf banyak digunakan sebagai bahan karpet dan

permadani, serta sebagai campuran katun yang digunakan dalam pembuatan pakaian dan pelapis benang tenun (www.kenaf-fiber.com, 2009).

Kenaf diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1904. Tumbuhan serat ini tumbuh dengan tegak dengan tinggi mencapai 2 m di alam bebas dan sampai 5 m jika dikembangbiakan. Serat kenaf anyam pada penelitian ini dibuat oleh PT. Rosella Baru Surabaya dimana proses pembuatan serat anyam diawali dengan pembuatan benang dari serat yang diambil dari kulit batang (bast fiber) tanaman kenaf kemudian dilakukan penganyaman (www.pkrosellabaru.ptpn11.com, 2009). 11

B. Resin Unsaturated Polyester (UP)

Resin Unsaturated Polyester (UP) dalam komposit ini digunakan sebagai matrik yang bertugas untuk melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik serta meneruskan beban dari luar ke serat. Resin UP ini merupakan jenis resin termoset. Resin ini mudah digunakan dalam proses hand lay up sampai dengan proses yang kompleks yaitu dengan proses mekanik seperti vacuum bag, press mold, dan injection mold. Apabila polyester dipanaskan maka tidak akan mencair dan mengalir, tetapi akan terbakar dan menjadi arang. Resin ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit pada dunia industri dengan pertimbangan harga relatif murah, waktu curing yang cepat, warna jernih, kestabilan dimensional dan mudah penggunaannya (Prayetno, 2007).

Resin yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin Unsaturated Polyester (UP) Yukalac 157 BTQN-EX. Pemberian bahan tambahan katalis jenis methyl ethyl ketton peroxide (MEKPO) pada resin UP berfungsi untuk

mempercepat proses pengerasan cairan resin (curing). Penambahan katalis dalam jumlah banyak akan menimbulkan panas yang berlebihan pada saat proses curing. Hal ini dapat menurunkan kualitas atau merusak produk komposit. Oleh karena itu pemakaian katalis sebanyak 1 % dari volume resin total (PT Justus Kimia Raya, 2001).

C. Pengeringan Serat

Proses pengeringan adalah proses terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan. Proses penguapan dapat terjadi karena kandungan uap air pada udara lebih sedikit atau dengan kata lain udara mempunyai kelembaban relatif yang rendah. Kemampuan udara membawa uap air bertambah besar jika perbedaan antara kelembaban udara pengering dengan udara disekitar bahan semakin besar. Faktor yang dapat mempercepat proses pengeringan adalah kecepatan angin atau udara yang mengalir dan penambahan temperatur. Akan tetapi pengeringan yang terlalu cepat dapat merusak bahan, yakni permukaan bahan terlalu cepat kering sehingga menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (case hardening), hal ini disebabkan karena kecepatan pergerakan air bahan dari dalam badan serat ke 12

permukaan permukaan serat tidak sebanding dengan kecepatan air dari permukaan badan serat menuju ke luar permukaan serat. Selanjutnya setelah permukaan serat menjadi kering air bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang (Reeb, 1995). Kandungan air yang terkandung pada material terdiri dari (Reeb, 1995):

a. Air bebas (free water) adalah air yang terdapat di antara rongga sel selulosa.

Air bebas paling mudah dan terlebih dahulu keluar apabila mengalami pengeringan. Air bebas ini tidak mempengaruhi sifat dan bentuk kecuali berat. Bila air bebas telah keluar maka dapat dikatakan suatu bahan telah mencapai kadar air titik jenuh serat (fiber saturation point).

b. Air terikat (bound water) adalah air yang berada di dalam sel selulosa. Air terikat ini sangat sulit untuk dilepas apabila mengalami pengeringan. Air terikat inilah yang dapat mempengaruhi sifat misalnya penyusutan.

Kadar air bebas sel selulosa pada serat harus dihilangkan, namun kadar air terikat di dalam sel harus dipertahankan agar tidak terjadi degradasi kekuatan serat (Diharjo, 2006). Penentuan kadar air pada serat dilakukan dengan membagi massa serat basah (massa awal) dengan massa serat setelah kondisi kering (massa tetap). Kadar air pada kayu dan serat dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.1 (Simpson, 1997).

dengan catatan : K_{dair} = kadar air (%); W_a = massa serat basah (gr); W_o = massa kering serat (gr).

D. Fraksi Volume Komposit

Salah satu faktor penting yang menentukan sifat fisis dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat/serat. Perbandingan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan:

Fraksi Volume (V) :

Dengan m_f = massa serat (gr)

m_m = massa matrik (gr)

ρ_f = massa jenis serat (gr/mm³)

)

ρ_m = massa jenis matrik (gr/mm³)

)

E. Proses Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit sangat beraneka ragam dari yang paling sederhana sampai dengan yang kompleks dengan sistem komputerisasi. Tiap proses memiliki kelebihan masing-masing. Ada berbagai macam proses yang dapat digunakan untuk membuat komposit antara lain metode hand lay-up, metode spray-up, metode vacuum bagging (Gibson, 1994).

Proses hand lay-up merupakan proses laminasi serat secara manual, dimana merupakan metode pertama yang digunakan pada pembuatan komposit. Metode hand lay-up lebih ditekankan untuk pembuatan produk yang sederhana dan hanya menuntut satu sisi saja yang memiliki permukaan halus (Gibson, 1994).

Gambar 2.3. Proses Hand Lay-Up (Gibson, 1994)

Fraksi serat yang tinggi dapat diperoleh dengan cara mengkombinasikan

metode hand lay up dengan cetak tekan (press molding). Pada metode cetak tekan 14

pengontrolan fraksi volume dapat dilakukan dengan menggunakan stopper (Prayetno, 2007).

2.2.2 Kajian Teori Laju Perambatan Retak Fatik

A. Definisi Fatik

Pembebanan pada suatu konstruksi yang sesungguhnya adalah beban statis atau beban dinamis. Beban statis adalah sistem pembebanan pada suatu komponen dengan beban konstan, sedangkan beban suatu komponen dengan beban berubah-ubah dari beban maksimum ke beban minimum secara terus-menerus. Beban yang berubah-ubah ini sering disebut beban berfluktuasi. Pada kondisi tegangan yang sama, komponen struktur yang mengalami pembebanan dinamis akan mempunyai batas umur pakai lebih pendek dibandingkan dengan batas umur pakai komponen yang mengalami pembebanan statis, karena komponen seolah-olah mendapat beban kejut secara tiba-tiba. Setelah sekian siklus pembebanan dinamis, komponen akan mengalami kegagalan (patah). Patah yang terjadi akibat beban berulang inilah yang disebut fatik atau patah lelah (Broek, 1986).

Penyebab terjadinya kegagalan fatik adalah adanya retak yang berawal pada daerah yang mempunyai konsentrasi tegangan tinggi. Daerah ini antara lain : lekukan, lubang pada material, permukaan yang kasar, dan rongga baik di dalam maupun di permukaan material. Jadi, terjadinya fatik adalah retak yang terus bertambah panjang hingga komponen tidak lagi mempunyai toleransi terhadap tegangan dan regangan yang lebih tinggi, dan akhirnya terjadi patah statis secara

tiba-tiba. Panjang retak ini akan terus bertambah karena pembebanan dinamis yang terus-menerus. Semakin besar amplitudo pembebanan dinamis yang diberikan maka semakin cepat retak merambat. Akhir dari perambatan retak pada komponen akibat beban dinamis adalah terpisahnya komponen menjadi dua bagian yang lebih dikenal dengan istilah fracture atau perpatahan. Perpatahan yang sangat berbahaya adalah patah getas. Hal ini sering terjadi pada bahan yang getas dan keras dimana kegagalan patah getas akan terjadi secara tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda pada komponen (Broek, 1986).

Menurut ASTM E647, fatik adalah suatu proses perubahan struktur permanen yang terjadi secara bertahap dan terjadi pada daerah tertentu pada suatu material, dengan kondisi beban yang menghasilkan tegangan-regangan fluktuasi 15

pada satu atau beberapa titik, yang akhirnya memuncak menjadi retak atau patah total setelah jumlah siklus tertentu.

B. Tegangan Uji Fatik

Pengujian fatik pada umumnya dilakukan dengan memberikan tegangan atau beban dinamis uniaksial. Tegangan dinamis yang dikenakan dapat bervariasi seperti tegangan tarik-tarik, tegangan tarik-tekan ataupun tegangan tekan-tekan.

Gambar 2.4. Siklus pembebanan dengan amplitudo konstan (Fuchs, 1980)

Gambar 2.4 menunjukkan siklus tegangan tarik berulang dengan tegangan maksimum (S_{max}) dan tegangan minimum (S_{min}). Siklus tegangan bervariasi terdiri dari dua komponen yaitu tegangan rata-rata (S_m), dan tegangan bolak-balik (S_a).

Sedangkan daerah jangkauan tegangannya disebut S_r . Daerah tegangan atau jangkauan tegangan adalah selisih antara tegangan maksimum dan tegangan minimum (Fuchs, 1980).

$$S_r = S_{max} - S_{min} \quad (2.6)$$

Tegangan bolak-balik adalah setengah dari jangkauan tegangan, yang dirumuskan sebagai berikut (Fuchs, 1980) :

$$(2.7)$$

Tegangan rata-rata adalah harga rata-rata tegangan maksimum dan tegangan minimum, yang dirumuskan sebagai berikut (Fuchs, 1980) :

$$(2.8)$$

Faktor lain yang sangat membantu dalam mengemukakan data-data kelelahan digunakan 2 buah besaran perbandingan, yaitu (Fuchs, 1980) :

$$\text{Stress ratio : } R = \quad (2.9) \quad 16$$

$$\text{Perbandingan amplitudo : } A = \quad (2.10)$$

C. Faktor Intensitas Tegangan (K)

Faktor K merupakan cara yang sangat mudah untuk membahas distribusi tegangan yang terjadi di sekitar retak. Dua retak dengan geometri yang berbeda tetapi mempunyai harga K yang sama akan memiliki distribusi tegangan yang identik. Secara umum faktor intensitas tegangan (K) dapat dihitung dari persamaan P.C. Paris dan G.C. Sih (Dieter, 1986) :

$$K = \beta S \quad (2.11)$$

Dimana β adalah faktor geometri retakan.

Menurut Feddersen nilai β untuk spesimen center crack tension (CCT) adalah

(Schijve, 2001) :

$$(2.12)$$

sehingga harga K dapat dihitung dengan rumus :

$$(2.13)$$

Berdasar ASTM E647 harga K untuk spesimen center crack tension (CCT) dapat dihitung dengan rumus :

Dengan catatan:

ΔK = Faktor intensitas tegangan (MPa)

$$\alpha = 2a / W$$

a = Panjang retak (meter)

W = Lebar plat (meter)

B = Tebal plat (meter)

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$$

P_{\max} = Beban maksimum (Newton)

P_{\min} = Beban minimum (Newton)

Sedangkan da/dN menurut ASTM E647 dapat dihitung dengan rumus

$$da/dN = (a_{i+1} - a_i) / (N_{i+1} - N_i) \quad (2.15) \quad 17$$

Dengan catatan:

da/dN = pertambahan retak (mm/siklus)

a_{i+1} = panjang retak setelah mengalami pertambahan retak (mm)

a_i = panjang retak sebelum mengalami pertambahan retak (mm)

N_{i+1} = jumlah siklus pembebanan saat mengalami pertambahan retak

N_i = jumlah siklus pembebanan sebelum mengalami pertambahan retak

Di dalam mekanika perpatahan ada tiga macam mode sehingga ada tiga macam nilai $K_{I, II, III}$. K_I untuk mode I yaitu mode tarik dengan arah membuka retak. K_{II} untuk mode II yaitu model geser. Sedangkan K_{III} untuk mode III model geser sejajar. K_I merupakan faktor intensitas tegangan untuk mode I dimana retak terentang oleh tegangan tarik yang bekerja pada arah tegak lurus terhadap permukaan bidang retak. Jadi K_I adalah faktor intensitas tegangan untuk arah pembebanan membuka retak. (Broek, 1986).

Gambar 2.5. Mode Perpatahan (Broek, 1986).

Secara umum harga KIC bervariasi terhadap ketebalan material. Suatu spesimen yang mempunyai ketebalan tinggi tidak selamanya memiliki ketangguhan yang tinggi, tetapi ketangguhan tertinggi diperoleh pada ketebalan tertentu. Seperti pada Gambar 2.6, harga KIC paling tinggi adalah pada spesimen dengan ketebalan B_0 . Karena harga KIC merupakan salah satu nilai ketangguhan bahan, maka makin besar KIC makin tinggi ketangguhannya. Ketangguhan tertinggi dari suatu bahan diperoleh pada ketebalan tertentu. Harga KIC sama untuk spesimen dengan bentuk dan ukuran yang sama meskipun bentuk geometri retakan berbeda (Broek, 1986). 18

Gambar 2.6. Kurva harga KIC - Ketebalan benda uji (Broek,1986)

D. Hubungan Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

($da/dN - \Delta K$).

Metode dalam perhitungan umur kelelahan adalah dengan menggunakan kurva $da/dN - \Delta K$, yakni dengan pemetaan perbandingan pertambahan retak dengan jumlah siklus terhadap selisih faktor intensitas tegangan karena pembebanan dinamis. Dalam menentukan da/dN , yang harus diperhatikan adalah pertambahan retak dan jumlah siklus yang tercatat. Secara umum persamaan karakteristik laju perambatan retak dinyatakan oleh rumus P.C. Paris dan G.C. Sih (Broek, 1986) sebagai berikut :

Apabila persamaan (2.16) diubah menjadi persamaan linier adalah dijadikan persamaan dalam log, seperti persamaan berikut :

Konstanta yang penting pada persamaan 2.16 adalah m . Karakteristik bahan hasil pengujian fatik biasanya ditunjukkan dalam bentuk kurva $da/dN - \Delta K$ dalam skala log. Harga m pada persamaan 2.16 menunjukkan kemiringan atau gradien dari kurva tersebut. Secara umum daerah yang dipertimbangkan untuk menghitung harga m adalah daerah linier yang mempunyai kecepatan perambatan retak teratur. Beberapa faktor yang mempengaruhi laju perambatan retak antara lain ketebalan, bentuk komponen, perlakuan panas, deformasi saat pendinginan,

temperatur, lingkungan, jenis dan amplitudo pembebanan, serta kontinuitas material (Broek, 1986).

Evaluasi perambatan retak yang sering dilakukan adalah menggunakan persamaan Paris. Persamaan ini berlaku pada daerah II dari laju perambatan retak. 19

Komponen persamaan Paris terdiri dari tiga komponen yaitu laju perambatan retak (da/dN), konstanta Paris (C dan m), dan harga K (faktor intensitas tegangan). Hasil studi tentang parameter ini dinyatakan menjadi tiga bagian yaitu (Sanyoto dan Berata, 2008):

1. Pendekatan eksperimen, untuk memperoleh data perambatan retak.
2. Pendekatan teoretis, untuk memperoleh harga ΔK dan da/dN dilakukan dengan rumus empiris.
3. Persamaan PC Paris ($da/dN = C[\Delta K]^m$) merupakan hasil akhir dari pengolahan data eksperimen fatik.

Gambar 2.7 Kurva laju perambatan retak ideal (www.answers.com, 2009)

Harga R , sangat besar pengaruhnya terhadap kurva perambatan retak $da/dN - \Delta K$. Semakin besar R , maka spesimen akan mempunyai jumlah siklus pembebanan hingga spesimen tersebut patah akan semakin banyak. Hal ini disebabkan karena seolah-olah spesimen mendapat perbedaan kejutan beban yang kecil, mendekati beban statis. Semakin kecil harga R , maka perbedaan beban kejut

yang mengenai spesimen akan semakin besar. Hal ini menyebabkan penjalaran deformasi permanen yang terjadi lebih cepat. Akibatnya spesimen mempunyai ketahanan terhadap siklus pembebanan lebih sedikit (Broek, 1986). 20

Pada penelitian ini, akan dilakukan lima variasi harga R pada lima spesimen yang telah dipersiapkan. Dengan ukuran dan bentuk geometri spesimen yang sama, spesimen yang diuji dengan harga R yang lebih besar akan mempunyai jumlah siklus pembebanan yang lebih banyak daripada spesimen yang diuji dengan harga R yang lebih kecil. Dengan kata lain kecepatan perambatan retak pada stress ratio yang besar berlangsung lebih lambat dibanding dengan spesimen yang dibebani dengan harga stress ratio yang lebih kecil.

E. Mekanisme Penjalaran Retak

Perpatahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat menjadi dua bagian atau lebih diakibatkan adanya tegangan. Proses perpatahan terdiri atas dua tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjalaran retak. Tahap awal pembentukan retak ini memerlukan jumlah siklus yang cukup besar. Perambatan retak yang terjadi pada tahap ini sangat lambat. Mekanisme penjalaran retak fatik dapat dijelaskan pada gambar 2.8.

Gambar 2.8. Mekanisme perambatan retak fatik (Broek, 1986)

Takik dibuat untuk pengamatan penjalaran retak. Komponen mengalami beban tarik, sehingga tegangan tarik pada bidang retakan membentuk sudut 45o

(bagian 1). Tegangan tarik mula-mula menyebabkan terjadinya slip pada daerah ujung takik (bagian 2). Tegangan tarik yang terus bertambah menyebabkan slip semakin bertambah pada ujung retak, hal ini menjadikan retakan semakin membuka (bagian 3). Tegangan tarik maksimum menyebabkan plastisitas pada ujung retak, sehingga retakan lebih membuka (bagian 4). Ketika tegangan tarik maksimum berubah menjadi tegangan tarik minimum maka slip yang terjadi di ujung retak menjadi permanen, sehingga menjadi retak yang panjangnya Δa (bagian 5). Hal ini akan berulang kembali pada siklus berikutnya hingga material akan mengalami kegagalan fatik. Pada bagian 6, menunjukkan kejadian tegangan maksimum saat terjadi slip dan perubahan plastis pada ujung retak seperti pada gambar bagian 4. Ketika tegangan minimum posisinya menutup maka panjang retak sudah bertambah panjang lagi sebesar Δa (bagian 7).

Dalam perambatan retak suatu komponen hingga terjadi kegagalan fatik dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu (Broek, 1986) :

1. Beban

- a. Jenis beban; uniaksial, biaksial, triaksial, lentur, puntir.
- b. Frekuensi siklus beban yang bervariasi.
- c. Pola beban; periodik, random.
- d. Besar tegangan maksimum dan tegangan minimum.

- e. Ragam pembebanan.
- 2. Kontinuitas, yaitu ada tidaknya cacat.
- 3. Ketelitian proses pengerjaan.
- 4. Bentuk dan ukuran spesimen.
- 5. Temperatur operasi.
- 6. Kondisi lingkungan yang menyebabkan korosi.

22

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian spesimen antara lain alat moisture analyser di Laboraturium Perpindahan Panas FT UNS dan mesin uji servopulser yang terdapat di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM.

a) mesin uji servopulser

b) alat moisture analyser

Gambar 3.1. Alat yang digunakan dalam pengujian

23

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan spesimen uji antara lain :

- Press mold - Kapi
- Mesin gerinda - Jangka sorong
- Gunting/cutter - Dongkrak
- Kamera digital - Isolasi
- Stopper - Gelas ukur
- Oven pemanas - Kertas amplas
- Timbangan digital - Jarum suntik

a) Alat pembuat spesimen

b) Oven pemanas c) Timbangan digital

Gambar 3.2. Alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji

24

3.2 Bahan Penelitian

Tabel 3.1. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No. Bahan Jenis Sumber Keterangan

1.

Serat kenaf

(kontinyu dan
anyam)

Hibiscus

Cannabinus

PT. Karung Goni

Rosella Baru-

Surabaya

Sebagai penguat

komposit

2. Katalis

Methyl Ethyl Ketton

Peroxide (MEKPO)

PT. Justus Kimia

Raya Semarang

Mempercepat

pengerasan

3. Resin

Unsaturated

Polyester Resin

(UPR) Yukalac

® 157

BTQN-EX

PT. Justus Kimia

Raya Semarang

Sebagai

pengikat/matrik

komposit

a) Resin b) Katalis

c) Serat kenaf anyam d) Serat kenaf kontinyu

Gambar 3.3. Bahan yang diperlukan

25

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum penelitian dimulai, semua alat dan bahan yang digunakan pada pembuatan komposit harus dipersiapkan, seperti serat kenaf kontinyu, serat kenaf anyam, resin, katalis, dan alat-alat pembuatan spesimen.

3.3.2 Pengolahan Serat Kenaf

a. Pencucian serat kenaf

Serat kenaf kontinyu dicuci dengan menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan kulit kayu yang masih menempel. Pencucian dilakukan dengan cara perendaman dan dilanjutkan penyemprotan dengan menggunakan air. Setelah itu, serat dikeringkan secara alami dengan tidak terkena sinar matahari secara langsung.

Gambar 3.4. Proses pencucian serat kenaf

b. Pemotongan serat kenaf

Untuk serat anyam dilakukan pemotongan dengan orientasi serat 45/-45, orientasi serat 45/45 dipilih karena memiliki kekuatan tarik tertinggi dibandingkan dengan komposit berpenguat serat kenaf anyam dengan orientasi serat 0/90 dan 30/-60 (Santoso dkk, 2008). Sedangkan untuk serat kontinyu, setelah dilakukan pemotongan, dilakukan pemisahan serabut serat dengan cara disisir menggunakan sisir rambut.

Gambar 3.5. Proses pemisahan partikel serat dan pemotongan 26

c. Pengujian kadar air serat kenaf

Tahap preparasi serat sebelum dilakukan pencetakan adalah menyelidiki karakteristik pengeringan serat (kadar air yang terkandung di dalam serat). Hal ini dilakukan dengan mengontrol kandungan air yang terkandung di dalam serat kenaf dengan cara dioven dalam oven pemanas, kemudian menguji kandungan air yang terkandung dalam serat kenaf tersebut dengan alat uji moisture analyser yang ada di Laboratorium Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta. Serat dikontrol kadar airnya dengan cara dipanaskan di dalam oven pada suhu 105

o

C untuk menghilangkan kadar air bebas pada serat.

Pemanasan dilakukan pada suhu 105

o

C karena pada suhu ini serat kenaf

mencapai kekuatan maksimalnya (Santoso dkk, 2008). Sebelum proses pembuatan komposit, karakteristik pengeringan serat penting untuk diselidiki agar kadar air bebas pada serat dapat dihilangkan namun kadar air terikat di dalam sel harus dipertahankan agar tidak terjadi penurunan kekuatan serat kenaf (Diharjo dkk, 2006). Kurva karakteristik kadar air serat kenaf ini digunakan sebagai acuan pengeringan serat sebelum dilakukan pencetakan.

a) Proses pengeringan serat dengan menggunakan oven

b) Pengujian kadar air dengan alat moisture analyser

Gambar 3.6. Pelaksanaan pengujian kadar air 27

3.3.3 Teknik Pembuatan Komposit

Proses pembuatan panel komposit dimulai dengan melakukan perhitungan jumlah serat dan matrik yang dibutuhkan agar terbentuk panel komposit dengan fraksi volume serat (u_f) sebesar 40%, dan fraksi volume matrik (u_m) sebesar 60%, dimana massa jenis serat kenaf 1,4 gr/cm³, massa per m² serat kenaf kontinyu 400 gr/m²

dan massa per m²

serat kenaf anyam 810 gr/m²

(PT. Karung Goni Rosella

Baru Surabaya, 2009).

Penentuan komposisi panel komposit yang akan dibuat dilakukan untuk memperkirakan komposisi panel komposit yang paling optimum dalam satu kali mencetak agar menghemat bahan dan waktu penelitian. Perhitungan jumlah serat yang dibutuhkan untuk membuat panel komposit adalah sebagai berikut :

a. Menentukan luasan yang akan digunakan untuk membuat komposit. Dimensi komposit yang dibuat dalam satu kali cetak ditunjukkan pada Gambar 3.7 .

Gambar 3.7. Dimensi plat komposit laminat kenaf kontinyu-anyam-kontinyu.

Dengan dimensi plat komposit seperti Gambar 3.7. di atas, maka luas cetakan panel komposit (A) = (200x100) mm²

= 20.000 mm²

= 0,02 m²

.

b. Menentukan massa serat kenaf kontinyu tiap layer yang dibutuhkan. Massa serat kenaf kontinyu (mf kontinyu) untuk luas cetakan (A) 0,02 m²

dengan density

serat kenaf kontinyu 400 gr/m²

adalah :

mf kontinyu= density serat kenaf kontinyu x luas spesimen

= 400 gr/m²

x 0,02 m²

= 8 gr

c. Menentukan massa serat kenaf anyam tiap layer yang dibutuhkan.

Massa serat kenaf anyam (mf anyam) untuk luas cetakan (A) 0,02 m²

dengan

density serat kenaf anyam 810 gr/m²

adalah :

mf anyam = density serat kenaf anyam x luas cetakan (A)

= 810 gr/m²

x 0,02 m²

= 16,2 gr

d. Menentukan massa total serat kenaf untuk panel komposit laminat (kontinyu-anyam-kontinyu). Massa total serat kenaf (mf total) dengan luas cetakan (A) 0,02 m²

adalah sebagai berikut :

mf total = [(2 x mf kontinyu) + mf anyam]

= [(2 x 8 gr) + 16,2 gr]

= 32,2 gr

e. Menentukan volume serat kenaf panel komposit (kontinyu-anyam-kontinyu).

Volume serat kenaf untuk panel komposit dengan luas cetakan (A) 0,02m²

adalah sebagai berikut :

$V_f \text{ total} =$

$=$

3

cm gr 1,4

gr 32,2

$= 23 \text{ cm}^3$

f. Menentukan volume matrik untuk panel komposit. Volume matrik untuk panel komposit dengan luas cetakan (A) 0,02m²

adalah :

$V_m =$

Serat Volume Fraksi

Matrik Volume Fraksi

$\times V_f \text{ serat}$

$=$

% 40

% 60

$\times 23 \text{ cm}^3$

$= 34,5 \text{ cm}^3$

g. Jumlah katalis yang digunakan adalah 1% dari volume matrik total (V_m) adalah

$V_{\text{katalis}} = 1\% \times 34,5 \text{ cm}^3$

$= 0,34 \text{ cm}^3$

h. Menentukan volume total panel komposit. Volume total panel komposit adalah penjumlahan volume total serat kenaf dan volume matrik. Volume panel komposit dengan luas cetakan (A) 0,02 m²

adalah :

$$V_{\text{panel}} = V_f \text{ total} + V_m$$

$$= (23 \text{ cm}^3$$

$$+ 34,5 \text{ cm}^3$$

)

$$= 57,5 \text{ cm}^3$$

i. Tebal panel dengan luas cetakan (A) 0,02 m²

adalah :

29

Jadi untuk membuat panel komposit dengan fraksi volume 40% serat dipergunakan stopper dengan tebal 3 mm. Setelah melakukan perhitungan komposisi serat dan matrik yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah mempersiapkan cetakan dengan cara melapisi seluruh permukaan cetakan yang akan bersentuhan dengan komposit menggunakan mika agar permukaan spesimen yang terbentuk menjadi halus dan rata. Kemudian untuk mempermudah pengambilan panel komposit setelah mengeras, permukaan atas mika yang bersentuhan dengan panel komposit diolesi dengan releaser. Setelah itu dilakukan

pemasangan stopper pada kedua ujung cetakan. Fungsi stopper untuk pembatas panjang dan sebagai pemberi batas tebal komposit yang akan dibuat. Pembuatan panel komposit dilakukan dengan metoda kombinasi hand lay up dan press mold. Matrik resin dan hardener yang dipakai adalah unsaturated polyester (UP) Yukalac

® 157 BQTN-EX dan MEKPO, produksi PT. Justus Kimia Raya

Senarang. Kadar hardener yang digunakan adalah 1% (sesuai acuan dari PT. Justus).

Setelah cetakan, matrik, dan serat siap, proses pencetakan panel komposit dimulai dengan menuangkan matrik secara merata di dalam cetakan kemudian dilanjutkan dengan peletakan serat kenaf yang terdiri dari tiga layer dengan susunan serat kontiyu-anyam-kontinyu. Penambahan matrik dilakukan ketika setiap lapisan serat diletakkan hingga serat terbasahi seluruhnya. Setelah semua bahan dimasukkan ke dalam cetakan maka segera dilakukan proses penekanan cetakan dengan menggunakan dongkrak hidrolik manual. Setelah proses pengeringan di ruang terbuka (curing) sekitar 4-6 jam, panel komposit dapat dikeluarkan dari cetakan (Santoso dkk, 2007).

Gambar 3.8. Skema metode cetak tekan 30

Gambar 3.9. Skema susunan serat panel komposit

Untuk mengecek fraksi volume yang terbentuk pada setiap spesimen, maka dilakukan penimbangan berat pada setiap spesimen. Kemudian dengan menggunakan persamaan 2.2 dapat diketahui fraksi volume setiap spesimen.

Contoh perhitungan fraksi volume:

Massa komposit = 76,67 gram

Massa serat = 32,2 gram

Massa matrik = massa komposit – massa serat

= 76,67 gram – 32,2 gram

= 44,47 gram

Dengan menggunakan rumus 3:

= 38,59 %

Tabel 3.2. Fraksi volume yang terbentuk

Spesimen

uji

Massa serat

(gram)

Massa komposit

(gram)

Massa matrik

(gram)

Fraksi volume

(%)

Spes. 1 32,2 76,67 44,47 38,59

Spes. 2 32,2 79,34 47,14 37,22

Spes. 3 32,2 75,48 43,28 39,23

Spes. 4 32,2 74,22 42,02 39,85

Spes. 5 32,2 73,37 41,68 40,14 31

Setelah fraksi volume dihitung, akan dibuat initial crack dengan Electric Discharge Machine (EDM).

Gambar 3.9. Bentuk spesimen uji perambatan retak

3.3.4 Proses Postcure Spesimen.

Sebelum dilakukan pengujian perambatan retak, terlebih dahulu dilakukan proses postcure di dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Postcure dilakukan untuk memaksimalkan ikatan rantai polimer polyester (Diharjo dkk, 2006).

3.3.5 Variasi Penelitian

Dalam uji perambatan retak ini, variasi penelitian yang digunakan adalah variasi stress ratio (R) dengan nilai $R = -0,4$; $R = -0,2$; $R = 0$; $R = 0,2$; dan $R = 0,4$. Sedangkan jumlah spesimen panel komposit yang dibuat sebanyak satu buah untuk masing-masing variasi, sehingga total spesimen yang diperlukan adalah lima buah spesimen.

3.3.6 Pengujian Perambatan Retak

Pengujian perambatan retak ini merupakan pengujian dengan beban tarik dinamis hingga terjadi kegagalan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui

karakteristik pertambahan retak suatu komponen. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan memberikan jenis pembebanan tarik-tarik dan tarik-tekan dengan menggunakan mesin uji servopulser sehingga dapat diketahui karakteristik laju perambatan retak dengan variasi jenis pembebanan tersebut. 32

Mesin servopulser ini dapat digunakan untuk uji tarik statis, uji tarik-tarik, uji tarik-tekan dan uji tekan-tekan. Pola pembebanan pada mesin ini juga dapat bervariasi, yaitu: pola sinusoidal, pola kotak, dan pola acak (random). Frekuensi pembebanannya juga dapat diatur sesuai dengan keperluan. Beragam bentuk dan ukuran benda dapat diuji dengan menggunakan alat ini, mulai dari bentuk poros, bentuk plat, dan bentuk balok.

Pengujian pada penelitian kali ini adalah dengan memberikan variasi jenis pembebanan tarik-tarik dan tekan-tarik terhadap benda uji. Pengamatan yang dilakukan pada pengujian ini adalah dengan mengamati laju pertambahan retak pada panel komposit serat kenaf anyam dengan penambahan serat kenaf searah kontinyu.

a. Spesifikasi mesin uji

Spesifikasi mesin servopulser yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Jenis mesin : Mesin Servopulser

Merk : Shimadzu

Model : 4825

Ukuran : 430 x 250 x 475 mm

Berat : 1800 kg

Pola beban : Sinusoidal, segi tiga, segi empat, acak

Frekuensi : 0,001 – 110 Hz

Beban maksimal : 20 ton

Gambar mesin uji perambatan retak ini dapat dilihat pada gambar 3.1a

b. Prinsip kerja mesin servopulser

Pembebanan mesin servopulser dapat diatur dengan menyetel pengatur pembebanan. Karena mesin ini digunakan untuk uji dinamis, maka penyetel beban terdiri dari dua bagian yaitu beban maksimum dan beban minimum. Pembebanan disini dinyatakan dalam persen dari beban seting maksimal pada mesin. Beban seting maksimal ini dapat diatur, mulai dari 2 ton, 4 ton, 10 ton, dan 20 ton. Pembacaan persentase beban maksimum dan beban minimum yang diberikan pada spesimen dapat dibaca pada layar. Sistem pembebanan dapat diseting dengan 33

angka stress ratio yang bernilai positif (menghasilkan pembebanan tarik) atau bernilai negatif (menghasilkan pembebanan tekan).

Jumlah siklus pembebanan yang terjadi ditampilkan pada layar monitor sehingga jumlah siklus beban yang telah dibebankan saat terjadi pertambahan retak dapat dibaca saat pengujian. Alat ini mempunyai beberapa jenis chuck yang dapat dipasang dan dicopot sesuai dengan bentuk benda yang akan diuji.

c. Tata cara pengujian perambatan retak

Ketika melakukan pengujian, parameter yang digunakan antara lain stress ratio (R) = -0,4; -0,2; 0; 0,2; dan 0,4 pada frekuensi 2 Hz, sedangkan tegangan

luluh komposit digunakan sebagai acuan pembebanan maksimal dalam uji perambatan retak fatik ini (mengacu pada standart ASTM E647 tipe center crack tension), dengan stress level maksimal $\sigma_{max} = 20\% \sigma_s$. Dimana nilai tegangan luluh komposit berpenguat serat kenaf kombinasi kontinyu-anyam-kontinyu adalah 17,76 Kg/mm²

(Santoso dkk, 2009). Pada penelitian ini, retak yang terjadi diamati dengan optical traveling microscope dengan pembesaran 20x.

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan penghitungan beban maksimum dan minimum uji perambatan retak yang akan diberikan dimana tegangan luluh komposit 17,76 Kg/mm² dan luas permukaan spesimen 300 mm²

:

$$P_s = 5328 \text{ Kg}$$

Karena $\sigma_{max} = 20\% \sigma_s$ maka

$$\begin{aligned} P_{max} &= 20\% \times 5328 \text{ Kg} \\ &= 1065,6 \text{ Kg} \approx 1000 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Beban maksimum untuk semua variasi stress ratio tetap, sedangkan beban minimum yang diberikan adalah:

☐ Untuk $R = 0,4$

$$P_{min} = 0,4 \times 1000 \text{ Kg} \quad 34$$

= 400 Kg

Dengan cara yang sama

☒ Untuk $R = 0,2$ maka $P_{\min} = 200$ Kg

☒ Untuk $R = 0$ maka $P_{\min} = 0$ Kg

☒ Untuk $R = -0,2$ maka $P_{\min} = -200$ Kg

☒ Untuk $R = -0,4$ maka $P_{\min} = -400$ Kg

Dimana nilai beban minimum negatif menunjukkan jenis pembebanan yang berupa beban tekan dan beban minimum bernilai positif menunjukkan jenis pembebanan tarik

Gambar 3.10. Posisi spesimen uji saat dilakukan pengujian.

3.3.7 Pembahasan dan analisa

Data yang diambil pada saat pengujian perambatan retak fatik berupa panjang retak yang terjadi dan jumlah siklus pembebanan. Pengambilan data yang berupa jumlah siklus pembebanan dilakukan bersamaan ketika terjadi pertambahan panjang retak pada spesimen sepanjang 0,2 mm. Data yang diperoleh dari pengujian kemudian diproses untuk mendapatkan nilai ΔK dengan persamaan 2.14 dan da/dN dengan menggunakan persamaan 2.15.

Setelah data-data hasil perhitungan diperoleh, langkah selanjutnya adalah membuat kurva laju perambatan retak fatik (kurva $da/dN-\Delta K$) untuk semua variasi stress ratio. Setelah kurva laju perambatan retak fatik $da/dN-\Delta K$ untuk masing-masing variasi stress ratio terbentuk, akan diperoleh juga persamaan laju perambatan retak persamaan paris ($da/dN = C\Delta K^m$). Langkah terakhir yang 35

dilakukan adalah menganalisa bagaimana hubungan antara stress ratio dengan laju perambatan retak yang terjadi.

3.3.8 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian dari awal sampai akhir dapat dilihat pada gambar 3.11.

Selesai

Kesimpulan

Pengolahan dan analisis data

Data :

1. Jumlah siklus

2. Panjang retak

Pengujian perambatan retak komposit (ASTM E647) ($R = -0,4$; $R = -0,2$;

$R = 0$; $R = 0,2$; dan $R = 0,4$), $f = 2$ Hz, dengan $\sigma_{max} = 20\% \sigma_s$

Proses post cure dengan suhu 60o

C selama 4 jam

Pembuatan initial crack (ASTM E647)

Pengecekan fraksi volume

Pembuatan spesimen uji perambatan retak dengan

V_f 40% serat dan 60% matrik

Pengontrolan kadar air melalui

pengovenan serat kenaf

Pengujian kadar air

Pembersihan serat kenaf

Pengadaan material (serat kenaf, polyester, hardener) dan peralatan penunjang

mulai 36

Gambar 3.11. Diagram alir penelitian

36

BAB IV

DATA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Kadar Air

Gambar 4.1. Kurva hubungan waktu pengeringan dengan kadar air serat

kenaf

Selama pemanasan pada suhu 105 °C, kadar air serat kenaf anyam dan serat kenaf kontinyu menurun secara signifikan pada daerah air bebas menguap, yaitu dalam kurun waktu pemanasan 10 menit pertama (Gambar 4.1). Hal ini terjadi karena air bebas yang terdapat di rongga-rongga antar sel selulosa serat lebih mudah menguap daripada air terikat yang terletak di dalam sel selulosa serat. Pada pemanasan selanjutnya, kadar air berkurang secara lambat (laju pengeringan turun). Ketika serat telah mencapai daerah peralihan antara penguapan air bebas ke penguapan air terikat, laju pengeringan akan mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena air bebas sudah habis menguap dan air terikat yang terdapat di

dalam sel selulosa serat mulai menguap. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, maka waktu pengeringan yang digunakan untuk menguapkan air bebas di dalam serat kenaf, baik serat kenaf kontinyu ataupun serat anyam adalah selama 10 menit dengan suhu pengeringan sebesar 1050

C.

Daerah air bebas menguap

Daerah air terikat menguap 37

Gambar 4.2. Sel serat kenaf (www.scielo.com, 2009)

4.2 Perambatan Retak Fatik pada Komposit

Gambar 4.3. Kurva hubungan antara panjang retak dengan jumlah siklus beban pada berbagai variasi stress ratio

Secara umum, pada spesimen uji perambatan retak yaitu plat komposit berkuat kombinasi serat kenaf dengan susunan serat kontinyu-anyam-kontinyu penjaralan retak berawal dari daerah yang mempunyai intensitas tegangan yang lebih tinggi. Perambatan retak pada spesimen berawal dari ujung retakan awal (ujung initial crack) karena pada ujung retak mempunyai intensitas tegangan yang lebih tinggi daripada daerah yang lain. Setelah terjadi keretakan pada ujung initial crack, retak akan terus merambat atau menjalar hingga mencapai panjang retak

kritisnya. Laju perambatan retak panel komposit akan bertambah cepat apabila retak yang terbentuk semakin panjang. Hal ini disebabkan oleh intensitas tegangan

$R = -0,4$

$R = -0,2$

$R = 0$

$R = 0,4$

$R = 0,2$

Air Terikat

Air Bebas 38

pada ujung retak yang semakin tinggi ketika luasan permukaan spesimen yang dipergunakan untuk menahan beban semakin kecil, sehingga lama-kelamaan menyebabkan toleransi spesimen terhadap pembebanan semakin kecil sehingga ketika spesimen telah mencapai panjang retak kritisnya maka spesimen akan mengalami perpatahan secara tiba-tiba.

Laju perambatan retak panel komposit akan bertambah cepat apabila retak yang terbentuk semakin panjang. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi tegangan pada ujung retak yang semakin tinggi ketika luasan permukaan spesimen yang dipergunakan untuk menahan beban semakin kecil, sehingga menyebabkan toleransi spesimen terhadap pembebanan semakin kecil. Perambatan retak pada umumnya akan terjadi pada arah tegak lurus terhadap arah pembebanan, karena seolah-olah spesimen diregang dan dipisahkan dengan arah tegak lurus dengan arah pembebanan (gambar 4.4).

Gambar 4.4. Distribusi intensitas tegangan pada spesimen uji fatik

Pada panel komposit serat kenaf kontinyu-anyam-kontinyu penjalaran retak dimulai pada lapisan bagian dalam yaitu pada lapisan yang berupa serat kenaf anyam. Tegangan yang dialami oleh serat kenaf anyam orientasi 45/-45 serat tersebut akan diuraikan sehingga tegangan yang terjadi mengikuti arah orientasi seratnya (arah anyaman). Karena tegangan yang terjadi pada serat kenaf

P

P

Daerah intensitas

tegangan tinggi

Retakan 39

anyam mengikuti arah anyamannya maka kerusakan akan terjadi di daerah sekitar anyaman serat, kemudian akan menjalar terus dengan arah mengikuti arah anyaman hingga bertemu daerah dengan kekuatan serat yang paling rendah. Saat bertemu dengan daerah serat yang berkekuatan rendah, retak kemudian dapat menjalar dengan memotong serat yang berkekuatan rendah tersebut sehingga arah rambatnya yang semula mengikuti arah anyaman serat akan membelok menjadi memotong anyaman serat. Setelah berhasil memotong anyaman serat, retak akan kembali menjalar mengikuti arah orientasi serat hingga bertemu dengan daerah serat yang mempunyai kekuatan rendah kembali. Hal ini terjadi secara terus menerus hingga terjadi kegagalan.

Gambar 4.5. Bentuk anyaman serat kenaf

Gambar 4.6. Skema arah perambatan retak pada plat komposit serat kenaf

Setelah terjadi keretakan pada bagian dalam (lamina serat kenaf anyam) retak akan merambat menuju lamina permukaan yaitu pada lapisan lamina serat kenaf kontinyu. Pada lamina serat kenaf kontinyu retak akan sukar merambat karena arah orientasi serat kontinyu yang tegak lurus arah perambatan retak sehingga seolah-olah retak akan dihambat oleh serat dan retak dan hanya akan

Serat kenaf anyam orientasi 45/-45

Serat kenaf kontinyu

orientasi 00

Serat kenaf kontinyu

orientasi 00

Arah perambatan retak

dalam komposit 40

dapat merambat setelah memutuskan serat kenaf kontinyu. Setelah berhasil menembus lapisan serat kenaf kontinyu maka retak akan mencapai permukaan luar komposit sehingga keretakan dapat terlihat di permukaan luar komposit. Alur perambatan retak tersebut berjalan berulang-ulang dengan arah menjalar menjauhi initial crack dan berakhir hingga spesimen mengalami kegagalan.

Kekuatan utama yang mempengaruhi perambatan retak adalah pada serat kenaf kontinyu itu sendiri, hal ini dapat dilihat ketika terdapat spesimen dengan arah serat kontinyu yang agak miring (spesimen dengan variasi $R = 2$) maka arah perambatan retak akan membelok mengikuti arah orientasi serat tersebut tetapi jika arah orientasi serat kontinyu sempurna maka arah perambatan retak akan tegak lurus dengan arah pembebanan. Perambatan retak tersebut terjadi pada daerah yang mempunyai arah orientasi serat yang agak miring karena retak akan lebih memilih untuk mengikuti arah orientasi serat miring yang mempunyai kekuatan lebih rendah daripada harus melewati daerah dengan memutuskan daerah serat dimana orientasi serat sempurna searah dengan pembebanan yang mempunyai kekuatan lebih tinggi.

Berdasarkan hasil pengamatan selama pelaksanaan pengujian fatik, nilai stress ratio negatif (-) menyebabkan plat panel komposit lebih mudah mengalami kegagalan. Hal ini ditunjukkan oleh kurva Gambar 4.3. dimana kurva dengan harga stress ratio negatif (-) memiliki jumlah siklus pembebanan untuk mematahkan spesimen uji yang lebih sedikit. Selain itu, untuk panjang retak yang sama, jumlah siklus pembebanan yang diperlukan akan semakin sedikit pada nilai stress ratio negatif. Namun sebaliknya, pada sampel uji yang dikenai stress ratio positif

(+) maka jumlah siklus untuk menggagalkan sampel uji memerlukan siklus yang lebih banyak. Dengan kata lain semakin kecil nilai stress ratio yang diberikan maka panel komposit akan semakin cepat mengalami kegagalan fatik.

Hal ini menunjukkan bahwa plat panel komposit dengan stress ratio negatif memiliki umur lelah lebih pendek bila dibandingkan dengan plat panel komposit yang menderita stress ratio yang lebih besar (positif). Menurut Broek (1986), ketika ujung retak menderita tegangan tekan maka ujung retak akan menjadi lebih runcing sehingga retak lebih cepat merambat (Gambar 4.7). Selain itu dengan stress ratio negatif seolah-olah spesimen mengalami selisih perbedaan 41

kejutan beban yang besar, sehingga spesimen mendapatkan regangan yang semakin kuat. Akibatnya kecepatan perambatan retak semakin cepat terjadi pada spesimen yang diuji dengan harga stress ratio yang kecil (negatif).

Gambar 4.7. Ujung retak pada spesimen uji

4.3 Pengaruh Stress ratio (R) Terhadap Laju Perambatan Retak

Kurva karakteristik laju perambatan retak fatik plat panel komposit berpenguat serat kenaf untuk masing-masing variasi stress ratio dapat dilihat pada Gambar 4.8. Persamaan karakteristik laju perambatan retak fatik untuk kelima sampel uji tersebut juga ditunjukkan pada masing-masing kurva.

Sesuai dengan prinsip Teori P.C. Paris dan G.C. Sih (Broek, 1986) tentang

formula dasar karakteristik laju perambatan retak $da/dN = C(\Delta K)^m$,

semakin besar

nilai konstanta m maka retak akan semakin cepat merambat. Dengan kata lain, material yang mempunyai konstanta m lebih besar akan memiliki laju perambatan retak yang lebih cepat (memiliki ketahanan lelah yang lebih rendah).

Dengan semakin kecilnya nilai stress ratio yang diberikan maka laju perambatan retak pada plat komposit serat kenaf akan semakin cepat, hal ini disebabkan karena dengan semakin kecil nilai stress ratio yang diberikan maka perbedaan kejutan beban yang terjadi pada spesimen uji akan semakin besar. Pada plat komposit serat kenaf kontinyu-anyam-kontinyu, dengan semakin besarnya perbedaan kejutan beban, maka lamina serat anyam semakin cepat mengalami keretakan sehingga menyebabkan penjalaran retak menuju lamina permukaan (serat kenaf kontinyu) yang semakin cepat dan lama kelamaan retak akan tembus hingga mencapai permukaan luar komposit atau dengan kata lain spesimen menjadi terpisah. Dengan semakin cepatnya keretakan mencapai permukaan menyebabkan spesimen uji akan mengalami penjalaran retak dengan arah 42 menjauhi initial crack terjadi lebih cepat. Hal inilah yang menyebabkan kegagalan fatik terjadi lebih cepat.

a) $R = 0,4$

b) $R = 0,2$

c) $R = 0$

d) $R = -0,2$

e) $R = -0,4$

Gambar 4.8. Kurva laju perambatan retak untuk berbagai variasi stress ratio (R) 43

(a)

(b)

Gambar 4.9. Kurva laju perambatan retak gabungan lima variasi stress ratio(R)

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada plat komposit serat kenaf kontinyu-anyam kontinyu, dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai stress ratio yang diberikan maka nilai konstanta m akan semakin besar dan nilai C akan semakin kecil. Dengan menggunakan persamaan P.C. Paris dapat ditunjukkan bahwa harga da/dN akan semakin besar untuk harga m yang semakin besar dan

$$R = 0,4$$

$$R = 0,2$$

$$R = 0$$

$$R = -0,2$$

$$R = -0,44$$

harga C yang semakin kecil. Dengan demikian, semakin kecil stress ratio maka laju perambatan retak akan semakin meningkat. Jadi, laju perambatan retak meningkat seiring dengan penurunan nilai stress ratio (R) yang diberikan.

Berdasarkan teori (Broek, 1986), laju perambatan retak fatik (da/dN) akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya perubahan faktor intensitas tegangan (ΔK). Hal ini disebabkan oleh faktor intensitas tegangan yang terjadi di ujung retak akan semakin membesar apabila retak yang terjadi bertambah

panjang. Pada pengujian yang dilakukan, arah perambatan retak yang terjadi terkadang tidak selalu lurus (berliku-liku). Hal ini akan memperbesar panjang lintasan retak pada panjang terukur yang sama sehingga nilai laju perambatan retak fatik (da/dN) dapat naik dan turun. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kusko (2004) yang menyatakan bahwa dengan retak yang berliku-liku maka akan membutuhkan pembentukan luas area patah yang lebih besar untuk panjang perambatan retak yang sama dengan arah tegak lurus pembebanan.

Tabel 4.1. Perbandingan harga C dan m

Variasi Stress ratio C m Persamaan PC Paris

$$R = 0,4 \quad 4.9 \cdot 10^{-6}$$

$$0,794 \quad da/dN = 4.9 \cdot 10^{-6}$$

(ΔK)

$$0,794$$

$$R = 0,2 \quad 7.10 \cdot 10^{-6}$$

$$0,595 \quad da/dN = 7.10 \cdot 10^{-6}$$

(ΔK)

$$0,595$$

$$R = 0 \quad 6.10 \cdot 10^{-7}$$

$$1,192 \quad da/dN = 6.10 \cdot 10^{-7}$$

(ΔK)

$$1,192$$

$$R = -0,2 \cdot 10^{-7}$$

$$1,571 \text{ da/dN} = 1 \cdot 10^{-7}$$

(ΔK)

1,571

$$R = -0,4 \cdot 8 \cdot 10^{-8}$$

$$1,659 \text{ da/dN} = 8 \cdot 10^{-8}$$

(ΔK)

1,659

Ungkapan bahwa semakin kecil harga stress ratio (R) menghasilkan semakin besar harga m dipertegas pada Gambar 4.9b. Harga m yang semakin besar ditunjukkan oleh gradien garis kurva yang semakin besar (semakin tegak). Jadi, hasil pengujian pengaruh stress ratio terhadap karakteristik laju perambatan retak yang terjadi menunjukkan hasil yang sesuai teori yang ada. Perilaku ini dijelaskan oleh Broek (1986) dengan prinsip proses perambatan retak seperti dipaparkan dalam Gambar 2.8. Ketika terjadi beban tekan (stress ratio bernilai negatif), maka ujung retak menjadi semakin runcing. Akibatnya, ketika terjadi pembebanan tarik berikutnya maka retak akan merambat menjadi lebih panjang. 45

Selain itu, ketika spesimen diberikan nilai stress ratio yang semakin kecil maka seolah-olah spesimen akan mengalami selisih perbedaan kejutan beban yang semakin besar, sehingga penjalaran deformasi permanen yang terjadi berlangsung lebih cepat.

Dari hasil penelitian yang dilakukan terdapat hasil yang menyimpang, yaitu letak kurva hubungan antara panjang retak dengan jumlah siklus pembebanan spesimen uji untuk $R = 0,2$ yang terletak di bawah kurva spesimen uji untuk $R = 0,4$ (lihat Gambar 4.3) sehingga menyebabkan spesimen yang diuji dengan $R = 0,2$ memiliki nilai m yang lebih kecil daripada m yang dimiliki spesimen dengan $R = 0,4$. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, antara lain :

1. Panjang lintasan retak terukur, pada panel komposit terjadi arah perambatan retak yang melintang terhadap arah tegak lurus pembebanan (Gambar 4.10). Ketika dilakukan pengujian, retak justru merambat hampir searah dengan arah pembebanan. Akibatnya panjang lintasan retakan lebih panjang daripada panjang retak yang terukur. Pengamatan panjang retak pada penelitian ini yaitu panjang retak ke arah tegak lurus pembebanan.

Gambar 4.10. Panjang lintasan perambatan retak

2. Arah perambatan retak, panel komposit tersusun dari tiga lamina dimana dengan susunan lamina tersebut diharapkan dapat saling mendukung untuk menciptakan panel dengan kekuatan tinggi. Berdasarkan pengamatan, pada spesimen dengan stress ratio 0,2 retak terjadi mengikuti arah orientasi serat kenaf kontinyu yang agak miring, dimana penambahan lamina serat kenaf

Panjang lintasan retak yang diukur

Panjang lintasan retak aktual

Arah

pembebanan 10 mm 46

kontinyu berfungsi untuk memperkuat dan menghambat penjalaran retak dengan cara disusun searah pembebanan, tetapi karena terdapat daerah dengan arah lamina serat kontinyu yang agak miring sehingga retak menjalar mengikuti alur orientasi serat. Hal ini disebabkan karena retak akan lebih mudah merambat dengan mengikuti alur orientasi serat kenaf kontinyu daripada harus memilih merambat dengan memutuskan serat kenaf yang mempunyai kekuatan lebih tinggi. Dengan arah perambatan retak yang miring menyebabkan laju perambatan retak (da/dN) berjalan lebih lambat karena ketika menjalar dengan arah yang miring menyebabkan panjang retak yang tercipta menjadi lebih panjang daripada ketika menjalar pada arah yang lurus.

Gambar 4.11. Arah perambatan retak panel komposit yang diuji

3. Pengamatan panjang retak dilakukan saat spesimen bergetar, sehingga kurang tepatnya pembacaan panjang retak masih dimungkinkan. Pengamatan seperti ini dilakukan supaya pembebanan berlangsung secara kontinyu, sehingga pengaruh akibat beban yang dihentikan yang dihentikan dapat diminimalkan.

Pada foto makro penampang patahan uji fatik plat komposit serat kenaf menunjukkan bahwa kelima spesimen uji memiliki bentuk patahan berupa pasangan lembah dan gunung sebagai salah satu ciri-ciri kegagalan fatik. Pada penampang patahan yang mengalami perpatahan secara lambat (daerah retak

Arah perambatan

retak

10 mm

Ket gambar:

Arah

pembebanan

Arah perambatan retak yang miring Arah perambatan retak yang lurus 47

merambat) tampak pasangan lembah dan gunung berbentuk halus yang menandakan pemisahan spesimen yang berjalan lambat (ditunjukkan dengan lingkaran merah) kemudian setelah melewati panjang kritis maka spesimen akan mengalami perpatahan secara tiba-tiba sehingga terbentuk patahan yang lebih kasar daripada pada daerah retak merambat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.12.

a) $R = 0,4$

b) $R = 0,2$

c) $R = 0$

d) $R = -0,2$

e) $R = -0,4$

Gambar 4.12 Penampang patahan spesimen setelah dilakukan pengujian

48

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisa pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Waktu pengeringan serat kenaf untuk menghilangkan kadar air bebas serat kenaf adalah selama 10 menit dengan suhu 105o

C

2. Kurva hubungan laju perambatan retak terhadap perubahan intensitas tegangan akan semakin tegak apabila besarnya stress ratio semakin kecil kecuali pada variasi stress ratio (R) = 0,2.

3. Jumlah siklus pembebanan yang diperlukan spesimen untuk mengalami kegagalan fatik akan semakin sedikit apabila nilai stress rati o yang dibebankan semakin kecil pula. Pada stress ratio 0,4; 0,2; 0; -0,2; -0,4 jumlah siklus pembebanan yang terjadi hingga spesimen mengalami kegagalan secara berurutan adalah 123.398, 115.068, 87.995, 68.125, dan 56.158.

4. Laju perambatan retak akan lebih cepat bila stress ratio yang diberikan semakin kecil, kecuali pada stress ratio (R=0,2). Hal ini bisa dilihat dari nilai konstanta Paris yaitu nilai m yang semakin besar dan nilai C yang semakin kecil bila stress ratio yang diberikan semakin kecil. Pada stress ratio 0,4; 0,2; 0; -0,2; -0,4 persamaan PC Paris secara berurutan adalah $da/dN = 4.10^{-6}$

6

(ΔK)

0,794

; $da/dN = 7 \cdot 10^{-6}$

(ΔK)

0,595

; $da/dN = 6 \cdot 10^{-7}$

(ΔK)

1,192

; $da/dN = 1 \cdot 10^{-7}$

;

(ΔK)

1,571

; dan $da/dN = 8 \cdot 10^{-8}$

(ΔK)

1,659

.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal berikut :

1. Dalam penggunaan serat kenaf kontinyu sebagai suatu lamina, hendaknya mempergunakan penjepit pada kedua ujung serat ketika proses pencetakan untuk mendapatkan arah orientasi serat yang seragam.
2. Perlu dilakukan lebih lanjut tentang pengaruh parameter pengujian perambatan retak yang lain yaitu frekwensi pembebanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Answer. 2009, Crack Propagation. URL: [http: www.answer.com](http://www.answer.com).
- ASTM. 2003, Annual Book of ASTM standart, Section 4, Vol. 04.06, ASTM, West Conshohocken, E-647.
- Berthelot J.M., 1984, Composite Materials Mechanical Behavior and Structural and Analysis, Valloise, France.
- Bismarck A., et al, 2002, Surface Characterization of Flax, Hemp and Cellulose Fibres: Surface Properties and the Water Uptake Behavior, Polymer Composite Vol 23, no. 5.
- Broek, D. 1986, Elementary Engineering Fracture Mechanics, Kluwer Academics Publiser, London: UK.
- Composites.2009. Composite manufacture. URL: [http : www.netcomposite.com](http://www.netcomposite.com)
- De Garmo E., et al., 1984, Materials and Processes in Manufacturing, New York: Macmillan Publishing.
- Dieter G.E.,1986.Mechanical Metallurgi, McGraw Hill Company, Tokyo.
- Diharjo K., 1996.Karakteristik Laju Perambatan Retak pada Plat Al 6061 T6 Berlubang dengan Retak Tunggal dan Ganda,Skripsi, Teknik Mesin FT UGM, Yogyakarta.
- Diharjo K., dkk., 2005, The Effect of Alkali Treatment on Tensile Properties of Random Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composites, Part III of Doctorate Dissertation Research Result, Post Graduate Study, Indonesia:

Gajah Mada University.

Diharjo K., dkk., 2006, Kajian Sifat Fisis-Mekanis dan Akustik Komposit Serat Kenaf-Polyester dengan Core Kayu Sengon Laut, Hasil Riset Pendahuluan – Dissertasi, Pascasarjana, UGM, Yogyakarta.

Eichhorn S.J., et al., 2001, Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composite, Journal of materials Science, pp. 2107-2131.

Fuch H.O., & Stephens R.I., 1980. Metal Fatigue in Engineering, John Wiley and sons, New York.

Gay, et al., 2003, Composite Material, Design and Applications, Boca Raton: CRC Press.

Gibson, O.F., 1994, Principle of Composite Materials, McGraw Hill Company, New York, USA.

Helder F.S. et al., 2009, Influence Of Loading Sequence And Stress Ratio On Fatigue Damage Accumulation Of A Composite Structure, Journal of Wuhan University of Technology-Master. Sci. Ed. April 2009.

Jones R. M., 1999, Mechanics of Composite Materials, McGraw Hill, New York.

Kenaf Green Industries. 2008. Business, Kenaf Users, Environment, New Project. URL: <http://www.kenaf-fiber.com>.

Kusko, C.S, et al, 2004, Influence of Stress Ratio on Fatigue Crack Propagation Behavior of Stainless Steel Welds, Welding Journal, pp.59-64, Bethlehem, Pa.

Mathur & Nirbay M., 2007. Effect of Stress Ratio and frequency on fatigue crack growth rate of 2618 aluminium alloy silicon carbide metal matrix composite. Bulletin of Materials Science, Vol. 24, No. 2, pp.169-171, Indian Academy of science. 50

Mueller D.H. & Krobjilowski A., 2003, New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fiber, *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 33, No. 2-October 2003, pp. 111-130.

Rodopoulos A. & Eduardo R., 2003, The Effect of Stress Ratio on The Behavior of Short Fatigue Crack in Aluminium Alloys, *Facta Universitatis, Series: Mechanics, Automatic Control and Robotic* Vol.3, No. 13, pp 647-665,UK

Rowell R.M., Sanadi A., & Jacobson R., 1999, Properties of kenaf Polypropylene Composite, *Processing and Product*, Mississippi State University, Ag. & Bio Engineering, pp. 381-392. ISBN 0-9670559-0-3, Chapter 32.

PT.Rosella Baru.2007. Profil. Web : www.pkrosellabaru.ptpn11.com.

Prayetno, E.E. 2007, Sifat Bending Komposit Sandwich Serat Kenaf (Acak-Ayam-Acak) Bermatrik Polyester Dengan Core Kayu Sengon Laut, Skripsi, Teknik Mesin FT UNS, Surakarta.

Reeb, J.E., 1995, *Drying Wood : Wood Products and Utilization Specialist*, University of Kentucky, USA.

Reis P.N.B. et al., 2007, The stress ratio effect on fatigue life of carbon/epoxy laminate composite, Elsevier, *Materials Science and Engineering A* 200.

Santoso & Diharjo K., 2008-2009, Teknik Penghambat Perambatan Retak Pada Plat Panel Bahan Komposit Berpenguat Serat Alam Kenaf Untuk Meningkatkan Ketahanan Lelah Akibat Beban Dinamis, Laporan Penelitian Fundamental, Dikti, Jakarta.

Santoso, Jamasri dan Diharjo K., 2006-2007. Kajian Ketahanan Lelah Gesar dan

Bending Dinamis Panel berlapis Komposit Sandwich Serat Kenaf-Polyester Dengan Core Limbah Kayu Sengon Laut, Laporan Penelitian Fundamental, Dikti, Jakarta.

Sanyoto B. & Berata W., 2008. Laju Perambatan Retak Plat Aluminium 2024 T3 Dengan Beban Fatigue Uniaksial Pada Rasio Beban dan Jarak Diameter Lubang Berbeda, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. 2 No.2, Desember 2008 (82-91).

Schuh G.T., 1999, Renewable Materials for Automotive Applications, UNESP-Sao Paulo State University.

Schijve, J., 2001, Fatigue of Structure and Materials, Kluwer Academic Publishers, London .

Schwartz M. H., 1984, Composite Material Handbook, McGraw Hill, New York.

Scielo, 2009. Microscopic Studies On Modified Wall Structure And Lignin Topochemistry In Xylem Kenaf Fibres. Web : www.scielo.com.

Shackelford, J., 1992, Introduction to Materials Science for Engineer, Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.

Shipsha A. & Zenkert D., 2003, Fatigue behavior of Foam Core sandwich beam with Sub-Interface Impact Damage, Journal of Sandwich Structure Materials, Vol.5, pp. 147-160.

Taib G.G, Said S, & Wiraatmadja., 1988, Operasi Pengeringan pada Pengolahan Hasil Pertanian, Penerbit P.T. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.

Wu H., et al, 2007, Effect Of Stress Ratio On Fatigue Crack Growth Of Ti40 As Metal Composite, Science Press, Trans Nonferrous Met. Soc. China 17.

