

**PENGARUH RASIO TEGANGAN DAN AMPLITUDE STRESS
TERHADAP KARAKTERISTIK PERAMBATAN RETAK PADA
FIBER METAL LAMINATES**

**JURNAL
TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**DANI TRI SUBEKTI
NIM. 125060200111051**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH RASIO TEGANGAN DAN *AMPLITUDE STRESS*
TERHADAP KARAKTERISTIK PERAMBATAN RETAK PADA
FIBER METAL LAMINATES

JURNAL
TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DANI TRI SUBEKTI
NIM. 125060200111051

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen Pembimbing
pada tanggal 2 Februari 2017

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Ahindito Purnowidodo, ST., M. Eng.
NIP. 19710310 199802 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Sofyan Arief Setyabudi, ST., M. Eng.
NIP. 19731124 199802 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

PENGARUH RASIO TEGANGAN DAN AMPLITUDE STRESS TERHADAP KARAKTERISTIK PERAMBATAN RETAK PADA FIBER METAL LAMINATES

Dani Tri Subekti¹, Anindito Purnowidodo², Sofyan Arief Setyabudi³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT.Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: dt.subekti@gmail.com

ABSTRAK

Fiber metal laminates merupakan salah satu komposit laminates yang menggunakan konsep material hybrid gabungan dari logam dan *fiber reinforced composite*. Pada penelitian ini menggunakan serat *fiber e-glas woven roving* dengan orientasi sudut 0°/90°. Beban dinamis yang diterapkan pada spesimen yaitu pengaruh rasio tegangan pada tegangan amplitudo konstan dan perubahan tegangan amplitudo yang merupakan variabel bebas. Dengan adanya beban dinamis yang diterapkan maka akan diketahui karakteristik perambatan retak pada *fiber metal laminates*. Dari hasil penelitian ini, didapatkan semakin meningkatnya rasio tegangan maka umur material akan semakin berkurang dan laju perambatan retak semakin meningkat. Sedangkan dengan bertambahnya tegangan amplitudo maka umur spesimen berkurang dan laju perambatan retak meningkat. Pada tegangan maksimum yang sama, dengan berbeda tegangan amplitudo yang diterapkan diketahui besar kecilnya tegangan amplitudo memiliki efek yang besar terhadap umur serta laju perambatan retak pada spesimen ini.

Kata kunci: *Fiber Metal Lamintes*, Laju Perambatan Retak, Siklus, Rasio Tegangan, Tegangan Amplitudo.

ABSTRACT

Fiber metal laminates is a composite laminates that uses the concept of hybrid material from metal and fiber reinforced composite. The research on using e-glas fiber woven roving with the orientation angle of 0°/90°. The dynamic load is applied to the specimen that is the influence of the stress ratio at a constant amplitude and change amplitude stress is independent variable. With the dynamic load is applied then it will be known to the characteristics of the propagation of crack in fiber metal laminates. From the results of this study, obtained by increasing the stress ratio then the age of the material will be increasingly reduced and crack growth rate increases. While with increasing amplitude stress then the age of the specimen is reduced and crack growth rate increases. The maximum stress of the same, with different amplitude stress of the applied known level changes of amplitude stress has a great effect against age and crack growth rate on this specimen.

Keywords: *Fiber Metal Lamintes, Crack Growth Rate, Cycle, Stress Ratio, Amplitude Stress*

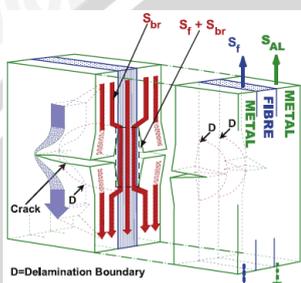
PENDAHULUAN

Penggunaan material komposit mulai banyak dikembangkan di dunia manufaktur. Material komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki sifat yang berbeda, yang mana tersusun atas fase matrik dan penguat [1]. Penggunaan komposit sendiri berkembang karena memiliki sifat yang tidak dimiliki oleh logam pada umumnya seperti massa jenis rendah, ketahanan terhadap *creep* yang baik, kekakuan tinggi, ketahanan terhadap kekelahan yang baik, mudah dibentuk, kekuatan yang dapat diatur, dan resistansi korosi yang tinggi. Penggunaan komposit telah meliputi peralatan olah raga, elektronik, konstruksi, biomedis, bodi kapal laut, infrastruktur industry, otomotif hingga bidang *aerospace* [2].

Fiber metal laminates adalah suatu konsep material hybrid yang memiliki resistensi *fatigue* yang baik dan kuat daripada *fiber reinforced composites* dan keuletan logam paduan

(aluminium) [3]. Penerapan *fiber metal laminates* sendiri diterapkan dalam pembuatan bodi pesawat [4]. Material ini lebih baik dari penyusunnya karena sebagian tegangan di area ujung retak pada aluminium tertransfer ke matrik dan fiber sehingga laju perambatan retak pada aluminium menurun [3]. Hal ini didukung oleh penelitian penelitian Albedah et al., (2016) yang menyatakan bahwa dengan adanya penambahan komposit pada suatu retakan dapat menurunkan laju perambatan retak pada Al 2024 T3 dan Al 7-75 T6 [5]. Adapun penelitian sebelumnya dalam menganalisa fenomena kekelahan pada material *fiber metal laminates* ini yaitu Khan et al., (2011) untuk mengetahui perubahan tegangan amplitudo terhadap pembentukan delaminasi fiber metal laminates. Dari hasil Penelitian ini telah menunjukkan bahwa variasi beban dapat mengubah bentuk delaminasi. Dan menjelaskan bahwa transisi dalam bentuk delaminasi tidak berpengaruh

secara signifikan pada laju pertumbuhan retak pada lapisan logam [3]. Yi Huang *et al.*, (2015) yang menyatakan bahwa ketika $K_{tip,ol}$ lebih kecil tidak ada perubahan jelas dalam pembentukan delaminasi dan laju pertumbuhan retak pun kembali dengan cepat ketingkat aslinya setelah *overload* dibagian logam. Tetapi ketika $K_{tip,ol}$ menjadi lebih besar perubahan yang jelas terjadi pada pembentukan pola delaminasi dan laju perambatan retak menurun atau tingkat pertumbuhan retak setelah *overload* tidak dapat kembali ke keaslinya meskipun retak tumbuh diluar zona plastis yang berlebihan dengan besar pengurangan laju pertumbuhan retak menjadi lebih besar dengan meningkatnya rasio *overload* (R_{ol}).



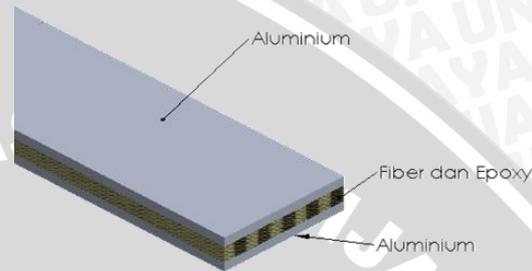
Gambar 1. Ilustrasi tegangan yang ditransfer [3]

Maka perlu penelitian lebih lanjut tentang kegagalan struktur pada material *fiber metal laminates*. Sehingga timbul gagasan untuk penelitian tentang pengaruh rasio tegangan dan *amplitude stress* yang diharapkan mampu mengetahui karakteristik perambatan retak pada *fiber metal laminates*.

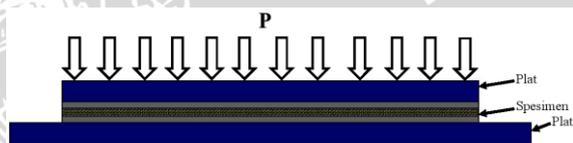
MATERIAL DAN METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *experimental*. Materialnya digunakan *fiber metal laminates*. Untuk prosedur pembuatannya material sebagai berikut: (1) *heat treatment annealing* aluminium dengan suhu holding 300°C selama 1 jam. (2) potong aluminium dan serat fiber sesuai ukuran. (3) Campur *epoxy* dan hardener pada gelas baker dan diaduk dengan kecepatan konstan. (4) Tuangkan dan ratakan campuran *epoxy* ke sisi aluminium yang akan disatukan. (5) Satukan kedua aluminium pada sisi yang diberi campuran *epoxy* dengan ditengahnya diberi serat fiber orientasi 0°-90°. Dimana 0° sejajar dengan arah roll aluminium.

- (6) Beri beban penekanan pada spesimen dengan beban 0,89 kg/cm² selama 20 detik.
- (7) Tunggu hingga 12 jam untuk pengeringan spesimen.
- (8) Amatilah hasilnya apakah ada kerusakan atau kegagalan.
- (9) Potong sesuai dimensi spesimen untuk uji tarik dan *fatigue*.
- (10) Buat inisial retak pada spesimen uji *fatigue*.
- (11) Gosok salah satu bagian spesimen uji *fatigue* yang akan diteliti dengan kertas gosok kemudian kain flannel yang dicampur autosol sampai kekasarannya berkurang.

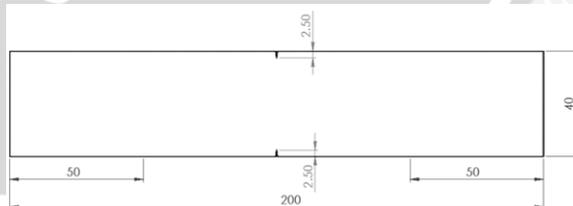


Gambar 2. Susunan dari spesimen



Gambar 3. Beban penekanan pada proses pembuatan spesimen

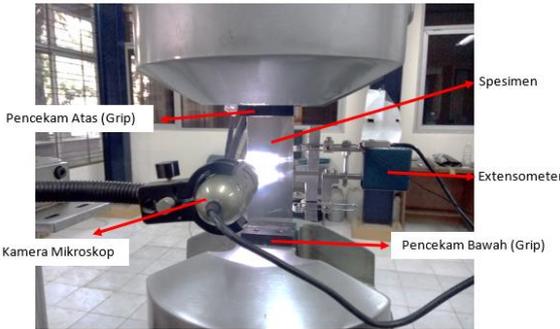
Untuk data kekuatan tarik dari material dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 10. Spesimen memiliki lebar 40 mm dan panjang 200 mm seperti pada gambar 4. Dimana terdapat notch ($2a_0$) dengan panjang masing-masing 2.5 mm. Semua spesimen uji tarik dan uji *fatigue crack growth* menggunakan alat *hydraulic servo pulser*. Untuk uji *fatigue* menggunakan pola pembebanan sinusoidal dengan frekuensi 4 Hz pada kondisi temperatur ruang laboratorium.



Gambar 4. Dimensi spesimen (mm)

Tabel 1. *Mechanical properties*

Spesimen	Kekuatan <i>Ultimate</i> (MPa)	Kekuatan <i>Yield</i> (MPa)	<i>Elongation</i>
Aluminium	83	58	8%
<i>Fiber Reinforced Composites</i>	103		4%
<i>Fiber Metal Laminates</i>	99	60	3.8%



Gambar 5. Instalasi penelitian

Pengujian pertama *fatigue crack growth* menggunakan tegangan amplitudo (S_a) konstan yaitu $S_a = 7$ MPa untuk spesimen pembebanan rasio tegangan (R) = 0, 0.2, 0.3, 0.4, dan 0.5. Sedangkan untuk pengujian kedua pada kondisi rasio tegangan yang konstan yaitu $R = 0$. Tegangan maksimum (S_{max}) yang diterapkan pada kondisi rasio tegangan yang konstan adalah 14 MPa, 17.5 MPa, 21 MPa, 24 MPa, dan 28 MPa.

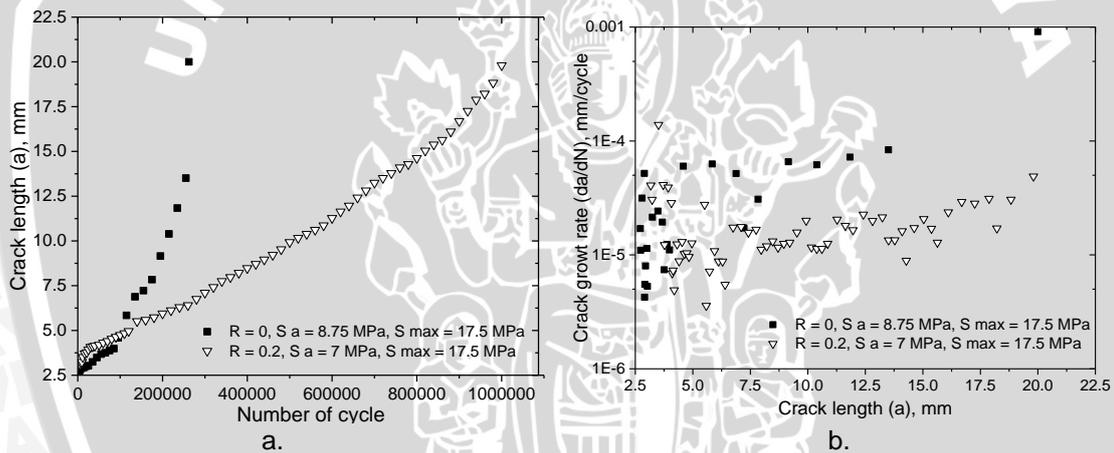
Kamera *microscope* yang digunakan untuk pengukuran panjang retak pada permukaan aluminium yang ditelah digosok. Rata – rata dari dua hasil pengukuran nilai panjang retak disisi spesimen ini yang nantinya dianggap sebagai panjang retak (a) yang terjadi pada jumlah siklus (N) saat itu. Kemudian untuk menghitung laju perambatan retak (da/dN) menggunakan metode secant.

HASIL DAN PEMBAHASAN

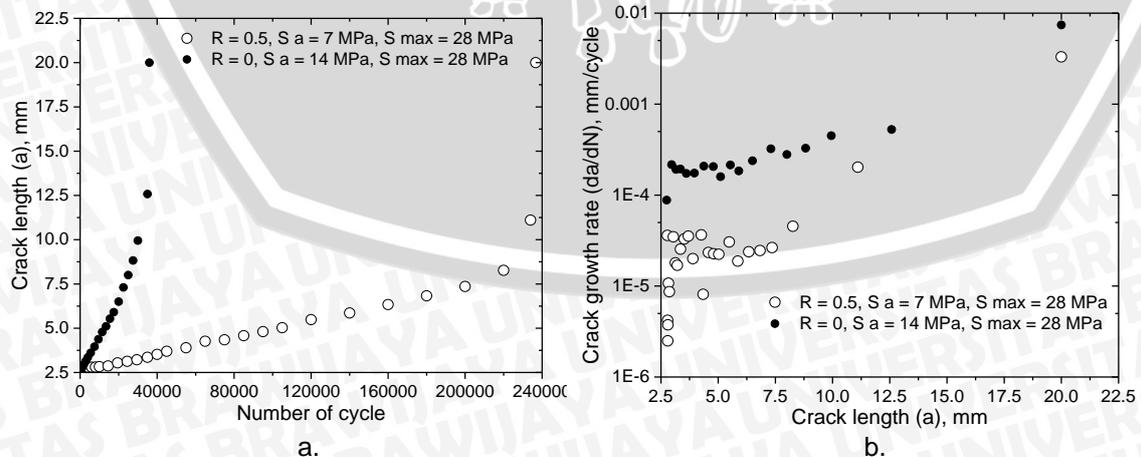
Tegangan Amplitudo Pada Tegangan Maksimum Yang Sama

Pada pengujian ini membandingkan pengaruh tegangan amplitudo pada kondisi tegangan maksimum sama. Kondisi pertama pada $S_{max} = 17.5$ MPa dengan $S_a = 7$ MPa dan 8.75 MPa. Kondisi kedua $S_{max} = 28$ MPa dengan $S_a = 7$ MPa dan 14 MPa.

Gambar 6 dan 7 merupakan grafik pengaruh tegangan amplitudo pada tegangan maksimum



Gambar 6. Grafik tegangan maksimum pada 17.5 MPa: (a) siklus-panjang retak (b) panjang retak-laju perambatan



Gambar 7. Grafik tegangan maksimum pada 28 MPa: (a) siklus-panjang retak (b) panjang retak-laju perambatan



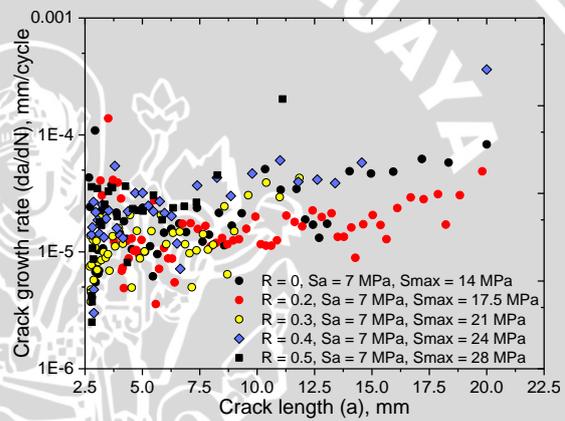
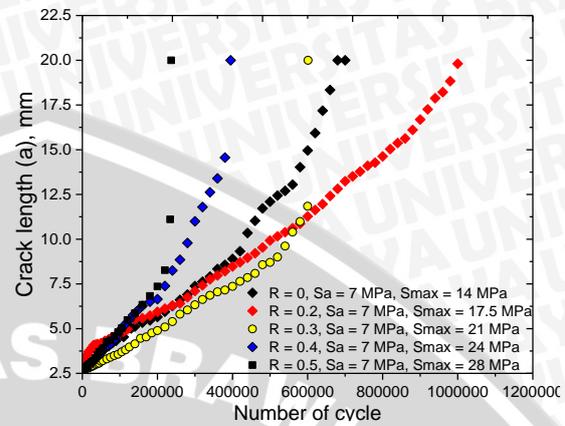
yang sama. Pada gambar 6a dan 7a terlihat bahwa semakin besar tegangan amplitudonya maka umur dari material semakin pendek walaupun pada tegangan maksimum yang sama. Spesimen dengan tegangan maksimum 17.5 MPa pada tegangan amplitudo 7 MPa mengalami patah pada siklus 100000 kemudian dengan pemberian tegangan amplitudo 8.75 MPa mengalami patah pada siklus 262117. Sedangkan dengan tegangan maksimum 28 MPa pada tegangan amplitudo 7 MPa mengalami patah pada siklus 236686. Kemudian dengan pemberian tegangan amplitudo 12 MPa mengalami patah pada siklus 36000.

Selain dengan mengurangnya umur pada material, laju perambatan retak juga semakin meningkat dengan bertambahnya tegangan amplitudo yang terlihat pada gambar 6b dan 7b. Pada gambar 6b spesimen dengan tegangan maksimum 17.5 MPa pada tegangan amplitudo 7 MPa dengan tegangan amplitudo 8.75 MPa terlihat laju perambatan retak spesimen tegangan amplitudo 7 MPa cenderung lebih kecil daripada spesimen dengan tegangan amplitudo 8.75 MPa. Dan ini terlihat jelas perbedaannya dengan tegangan maksimum diperbesar yaitu jadi 28 MPa maka tegangan amplitudo 7 MPa dan 14 MPa pada gambar 7b. Dengan bertambah besar tegangan amplitudo maka laju perambatan retak akan meningkat pada tegangan maksimum sama. Hal ini dikarenakan dengan pertambahan tegangan amplitudo maka akan semakin besar perbedaan antara tegangan maksimum dan minimum yang akan mengakibatkan perbedaan faktor intensitas tegangan akan bertambah besar sehingga intensitas tegangan diujung retak bertambah besar. Dengan bertambahnya tegangan diujung retak ini akan memperbesar laju perambatan retak sehingga umur material akan berkurang.

Pengaruh Rasio Tegangan Terhadap Tegangan Amplitudo Yang Sama

Pada gambar 8a merupakan grafik hubungan jumlah siklus dengan panjang retak pada tegangan amplitudo yang sama yaitu 7 MPa. Terlihat pada grafik dimana dengan bertambah besar tegangan maksimum maka umur material tersebut semakin pendek. Spesimen memiliki umur siklus terbesar pada rasio 0,2 yaitu patah pada siklus 1000000, sedangkan umur yang paling pendek pada rasio tegangan 0.5 yaitu patah pada siklus 236686. Di rasio tegangan 0.2 ini terjadi penyimpangan dimana seharusnya umur siklusnya berada diantara 680000 dan 601366, penyebab dari penyimpangan ini dikarenakan spesimen *fiber metal laminates* ini memiliki sifat dominan ke

komposit *fiber epoxy* seperti yang terlihat pada gambar 10 dan 11. Dimana pada beban yang kecil, patahan dari aluminium sampai bertemu tetapi spesimen belum patah seperti yang terlihat pada gambar 9.

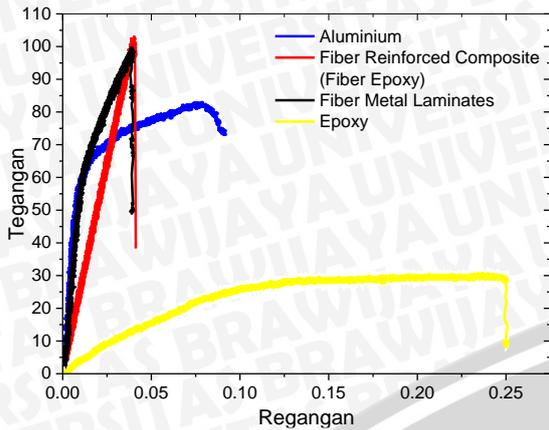


Gambar 8. Grafik pengaruh rasio tegangan pada tegangan amplitudo yang konstan: (a) siklus-panjang retak (b) panjang retak-laju perambatan

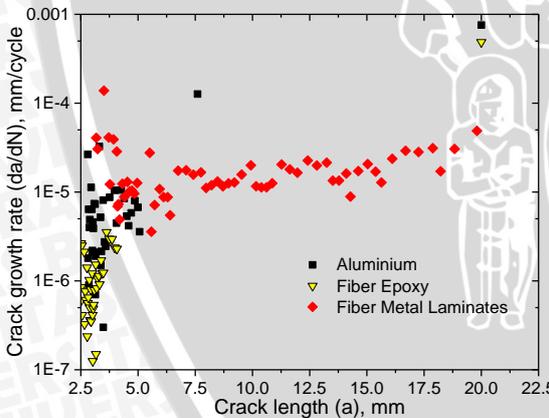
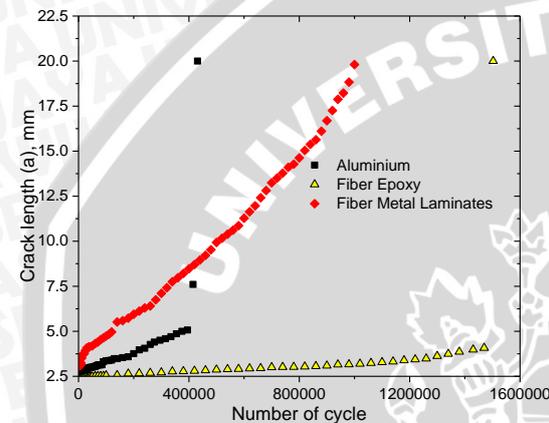


Gambar 9. Perambatan retak pada R = 0.2 (a) sebelum kedua ujung retak menyatu, (b) saat kedua ujung retak menyatu dan pembebanan terus berlanjut





Gambar 10. Grafik tegangan - regangan material penyusun dari fiber metal laminates

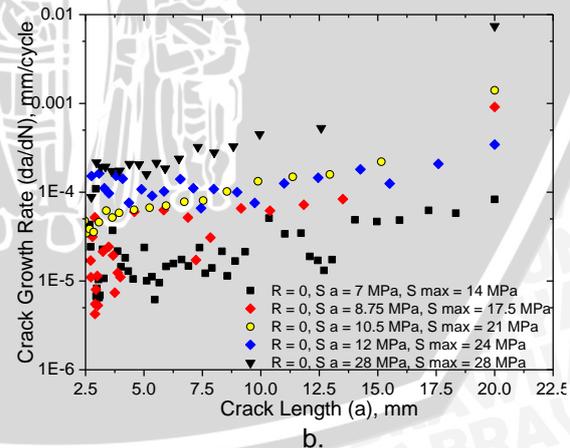
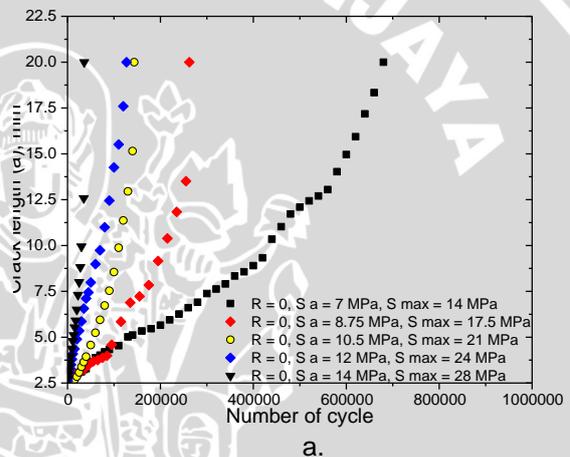


Gambar 11. Grafik material penyusun dan fiber metal laminates pada kondisi $R = 0.2$: (a) siklus-panjang retak (b) panjang retak-laju perambatan

Gambar 8b menunjukkan grafik hubungan panjang retak dengan laju perambatan retak pada tegangan amplitudo yang sama yaitu 7 MPa. Dimana diketahui dengan pertambahan tegangan maksimum sampai pada maksimal 28 MPa laju perambatan retak mengalami kenaikan. Ini dikarenakan bagian *fiber epoxy* memiliki umur yang lebih panjang dari pada *fiber metal laminates* dan karakteristik dari *fiber epoxy*

sendiri dimana dalam pengujian fatigue ini bukan hanya faktor retak yang biasa terjadi patah tetapi matriknya sendiri mengalami mulur sampai batas tertentu sehingga langsung patah walaupun retak yang terjadi hanya kecil (gambar 11a). Sehingga dalam pengujian tegangan amplitudo yang sama dengan variasi rasio tegangan maka terjadi perubahan *displacement* antara titik maksimum dengan titik minimum sehingga akan terjadi mulur pada matriks yang sama dimasing-masing spesimen. Selain itu juga bisa adanya sebagian tegangan dari aluminium yang diteransfer ke *fiber epoxy* dalam jumlah yang sama antar spesimen. Dan mengakibatkan sedikit terjadi perubahan kenaikan terhadap laju perambatan retak pada fiber metal laminates.

Tegangan Amplitudo Terhadap Rasio Tegangan Tetap



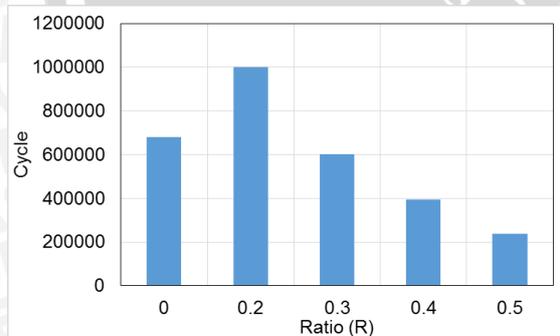
Gambar 12. Grafik pengaruh tegangan amplitudo terhadap rasio tegangan yang konstan: (a) siklus-panjang retak (b) panjang retak-laju perambatan

Pada gambar 12 menunjukkan grafik pengaruh perbedaan amplitudo pada rasio tegangan yang sama. Gambar 12a menjelaskan grafik hubungan jumlah siklus dengan panjang

retak. Spesimen yang diberi tegangan amplitudo terkecil sebesar 7 MPa memiliki umur yang lebih lama yaitu dengan jumlah siklus 680000. Sedangkan untuk spesimen yang diberi tegangan amplitudo terbesar yaitu 14 MPa memiliki umur yang lebih pendek dengan jumlah siklus 56000. Ini menjelaskan bahwa semakin besar tegangan amplitudo yang diterapkan maka umurnya akan semakin pendek.

Gambar 12b merupakan grafik hubungan panjang retak dengan laju perambatan retak terhadap perbedaan tegangan amplitudo yang diterapkan. Dimana dari grafik menjelaskan bahwa semakin besar tegangan amplitudo yang diterapkan maka laju perambatan retak pun ikut meningkat juga. Laju perambatan retak paling rendah terjadi pada spesimen dengan diberi tegangan amplitudo terendah yaitu 7 MPa. Sedangkan untuk spesimen yang memiliki laju perambatan tertinggi terjadi pada spesimen yang diberi tegangan amplitudo terbesar yaitu 14 MPa. Ini menjelaskan bahwa pengaruh tegangan amplitudo berpengaruh besar terhadap laju perambatan retak yang disebabkan oleh besarnya perbedaan intensitas tegangan dan tegangan yang ditransfer dari aluminium ke fiber epoxy pada ujung retak yang semakin besar. Sehingga laju perambatan retak akan meningkat seiring dengan meningkatnya perbedaan intensitas tegangan diujung retak.

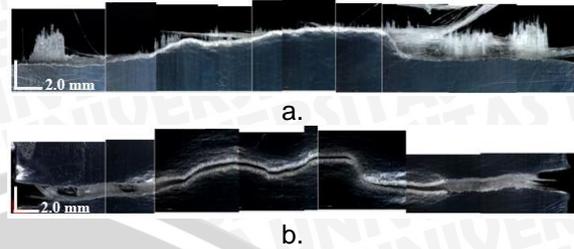
Jumlah Siklus Terhadap Pembebanan



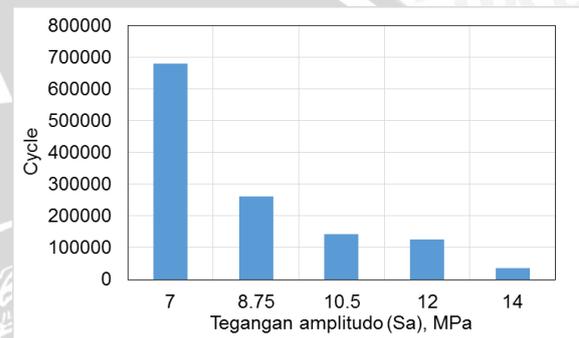
Gambar 13 Grafik hubungan perbandingan rasio tegangan terhadap jumlah siklus

Diketahui pada gambar 13 menjelaskan hubungan perbandingan rasio tegangan terhadap siklus. Dimana kecenderungan dari grafik ini mengalami jumlah siklus maksimum pada rasio tegangan 0.2 dan setelah itu terus menurun. Kenaikan pada rasio tagangan 0.2 dikarenakan spesimen pada pembebanan rendah dominan sifatnya kearah komposit fiber epoxy karena patahan dari aluminium sampai bertemu tetapi spesimen belum patah seperti yang dijelaskan pada gambar 9. Sedangkan

untuk rasio tegangan setelah 0.2 sampai 0.5 alumunium sama fiber epoxy iku bersamaan patah.



Gambar 14 patahan spesimen (a) spesimen kondisi R = 0.3 (b) spesimen kondisi R = 0.5



Gambar 15 Grafik hubungan perbandingan tegangan amplitudo terhadap jumlah siklus

Pada gambar 15 ini menjelaskan hubungan tegangan amplitudo terhadap jumlah siklus. Dimana pada dari grafik di atas terlihat mengalami kecenderungan semakin menurun jumlah siklusnya terhadap pertambahan tegangan amplitudo. Setelah tegangan amplitudo 7 MPa semua spesimen mengalami patah. Sehingga efek dari tegangan amplitudo berpengaruh besar terhadap umur material ini daripada rasio tegangan. Dan ini disebabkan oleh perbedaan faktor intensitas tegangan diujung retak sehingga akan mempengaruhi laju perambatan retak yang menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta K_{tip} = \Delta K_{far} - \Delta K_{br} \tag{1}$$

$$\Delta K_{tip} = F \Delta S \sqrt{\pi a} - \Delta K_{br} \tag{2}$$

Dimana K_{tip} merupakan faktor intensitas tegangan di ujung retak pada logam di fiber metal laminates, K_{far} merupakan faktor intensitas tegangan di ujung retak pada logam K_{br} merupakan faktor intensitas tegangan di ujung retak yang ditransfer dari logam ke fiber epoxy, F merupakan faktor geomerti spesimen, a merupakan panjang retak dan ΔS merupakan selisih tegangan maksimum dengan minimum.

KESIMPULAN

1. Pada tegangan amplitudo yang sama:
 - a. Semakin besar rasio tegangan maka umur material semakin pendek kecuali pada rasio tegangan 0.2 yang disebabkan oleh karakteristik material pengusunnya.
 - b. Laju perambatan retak mengalami perubahan sedikit terhadap pengaruh rasio tegangan.
2. Pada rasio tegangan yang sama, semakin besar tegangan amplitudo maka:
 - a. Umur material semakin pendek.
 - b. Laju perambatan retak semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mallick, P.K.(2007). *Fiber Reinforced composite materials, manufacturing, and design*. Boca raton: CRC Press.
- [2] Chung, Deborah D.L. (2010). *Composite materials: Science and applications*. London: Springer Science and business media.
- [3] Khan, S.U, R.C. Alderliesten dan R. Benedictus. (2011). *Delamination in fiber metal laminates (GLARE) during fatigue crack growth under variable amplitude loading*. Netherlands: Elsevier.
- [4] Huang, Yi, Jianzhong Liu, Xiao Huang, Jiazhen Zhang, dan Guangquan Yue. (2015). *Delamination and fatigue crack growth behavior in fiber metal laminates (GLARE) under single overloads*. Netherlands: Elsevier.
- [5] A.Albedah, sohail M.A. Khan, F. Benyahia, B. Bachir Bouiadjra. (2016). *Effect of load amplitude change on the fatigue life of cracked Al plate repaired with composite patch*. Netherlands: Elsevier.

