

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN DOSEN JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS TAHUN 2017**



**KAJI EKSPERIMENTAL KEKUATAN LELAH MATERIAL KOMPOSIT**  
**SERAT TANDAN KOSONG SAWIT**

oleh :

**DEVI CHANDRA, MT, Ph.D (KETUA)**  
**RANDHA MULIA (MAHASISWA)**  
**RAHMAT ALJU (MAHASISWA)**

**DIBIYAI OLEH DANA PNBP UNIVERSITAS ANDALAS DENGAN SURAT**  
**PERJANJIAN PELAKSANAAN PENUGASAN KEGIATAN PENELITIAN**  
**DOSEN FAKULTAS TEKNIK**  
**NO. 060/UN.16.09.D/PL/2017 TANGGAL 4 JULI 2017**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS ANDALAS**  
**2017**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENELITIAN DOSEN JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS TAHUN 2017**

**Judul** : Kaji Eksperimental Kekuatan Lelah Material  
Komposit Serat Tandan Kosong Sawit

**Pengusul** :  
Nama : Devi Chandra, MT, Ph.D  
NIP : 197207202006041002  
Pangkat/gol : Penata Muda Tk I /III B  
Jabatan : Asisten Ahli

**Jangka waktu kegiatan** : 6 bulan (Juni s.d November 2017)

**Biaya yang diusulkan** : Rp.7.500.000,-  
(Tujuh juta lima ratus ribu rupiah)

Limau Manis, 14 Nopember 2017



Ketua Peneliti

Devi Chandra, MT, Ph.D  
NIP. 197207202006041002

## PRAKATA

Laporan akhir penelitian dosen dengan judul “Kaji Eksperimental Kekuatan Lelah Material Komposit Serat Tandan Kosong Sawit “ ini disusun untuk diserahkan kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Andalas sesuai dengan surat perjanjian pelaksanaan penugasan kegiatan penelitian dosen Fakultas Teknik No. 060/UN.16.09.D/PL/2017 tanggal 4 Juli 2017. Penelitian ini melibatkan dua orang mahasiswa yang sedang melaksanakan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin.

Laporan akhir ini berisi latar belakang penelitian, tujuan penelitian, tinjauan pustaka yang relevan terhadap masalah yang diteliti, uraian metodologi pelaksanaan penelitian serta hasil dan kesimpulan yang didapat dari penelitian. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Universitas Andalas.

# DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Prakata	ii
Daftar Isi	iii
I. PENDAHULUAN	1
II. TINJAUAN PUSTAKA	2
III. METODOLOGI	4
IV. HASIL PENELITIAN	8
V. KESIMPULAN	10
VI. REFERENSI	11

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material komposit telah digunakan untuk pembuatan komponen konstruksi diberbagai bidang seperti sipil, militer, penerbangan, otomotif, energi angin, biomedik dsb. Permintaan oleh dunia industri terhadap material ini semakin meningkat karena sifat-sifatnya yang lebih baik dibandingkan material logam seperti berat spesifik yang rendah, biaya produksi yang murah, ramah lingkungan serta mudah untuk dibuat.

Akhir-akhir ini, material biokomposit yang terbuat dari gabungan serat bahan alam dan polimer lebih cenderung dipilih sebagai material alternatif pengganti material komposit sintetis yang seratnya dapat terbuat dari serat carbon, serat kaca dsb. Alasannya adalah karena biokomposit dinilai lebih ramah lingkungan dan lebih banyak tersedia di alam seperti serat kelapa sawit, serat nenas, serat rami dsb.

Banyak kegagalan pada komponen struktur teknik utamanya disebabkan oleh beban berulang atau beban lelah. Kajian kekuatan lelah material logam secara eksperimen sudah banyak dikemukakan diberbagai literature dan hasilnya banyak digunakan sebagai acuan dalam perancangan struktur terintegrasi. Namun kajian tentang kekuatan lelah material komposit cukup jarang dijumpai terutama material komposit yang terbuat dari serat bahan alam. Sehingga mengetahui kekuatan lelah material komposit dengan serat tandan kosong sawit menjadi objek penelitian yang cukup penting agar material ini dapat dipertimbangkan dipilih dalam proses desain.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kekuatan lelah material komposit serat tandan kosong sawit berdasarkan orientasi serat serta perbandingan komposisi dari serat terhadap material penyusun kompositnya. Sehingga dengan demikian tujuan berikutnya dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh fraksi volume serat dan arah orientasi serat terhadap kekuatan lelah material komposit.

### 1.3 Manfaat

Hasil penelitian dapat digunakan dalam desain struktur secara terintegrasi yang melibatkan beban-beban lelah lentur. Juga sebagai penambah wawasan dan khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Logam merupakan jenis material yang paling banyak digunakan di dunia industri seperti industri perkapalan, industri automotif, industri manufaktur dan lain sebagainya, Karena ketersediaan logam di alam sangat terbatas serta tuntutan akan material yang relatif ringan namun cukup kuat, maka peneliti mulai mengembangkan material komposit dalam pembuatan produk/komponen untuk keperluan industri. Penggunaan material komposit di dunia industri mengalami perkembangan pesat seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Penggunaan panel komposit serat alam sudah digunakan pada mobil Toyota di Jepang dan mobil Mercedes Benz di Jerman. Produsen otomotif Daimler Chrysler adalah industri yang paling banyak menggunakan serat alam sebagai material penguat komposit polimer terutama untuk bahan eksterior dan interior mobil. Setelah ditemukannya serat sintesis yang dibuat secara kimiawi, akhir-akhir ini para ilmuwan beralih melakukan penelitian pada material komposit yang terbuat dari serat alam yang relatif lebih murah dan mudah didapatkan dibanding komposit sintesis serta dapat terurai secara alami dan tidak beracun [1]. Ilmuwan mulai meneliti sifat-sifat alami dan melakukan uji mekanis terhadap serat – serat alam yang ada seperti serat tanda kosong kelapa sawit (TKKS), serat nenas, serat eceng gondok, dsb.

Penggunaan material komposit untuk pembuatan komponen mesti mempertimbangkan kemampuan material tersebut untuk menahan semua kondisi kerja termasuk kondisi adanya beban dinamik atau beban lelah. Kelelahan memegang peranan utama dalam putusnya komponen pada suatu struktur yang menerima beban dinamis. Sebagian besar (70% - 80%) kegagalan pada elemen mesin disebabkan oleh beban dinamik. Jenis kegagalan itu terjadi pada tingkat tegangan yang signifikan lebih rendah dari tegangan yield material [2]. Patah yang disebabkan kelelahan melalui beberapa tahapan; dimulai dari terjadinya retak awal (*initial crack*), perambatan retak lelah dan akhirnya patah statis (*final fracture*). Pengujian kelelahan material menghasilkan data dalam bentuk diagram *Wohler* atau lebih dikenal dengan kurva S-N yang menyatakan hubungan level tegangan yang dialami material dengan jumlah siklus tegangan ketika patah terjadi. Salah satu cara untuk mengetahui sifat-sifat kelelahan material adalah dengan uji lelah menggunakan mesin uji lelah lentur-putar R.R. Moore [3].

Material yang mengalami siklus tegangan bolak-balik dapat mengalami kegagalan pada tegangan yang relatif lebih rendah (dibawah kekuatan elastis material) [4]. Kekuatan lelah material ditunjukkan oleh tegangan maksimum dimana material dapat

menahan beban dengan siklus tak hingga tanpa mengalami kegagalan. Kekuatan lelah suatu material dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsentrasi tegangan, ukuran material, kualitas permukaan material, perlakuan permukaan, temperatur dan lingkungan. Kekuatan lelah untuk material logam seperti golongan paduan baja, besi, aluminium, magnesium sudah banyak diketahui dan dapat ditemukan pada berbagai buku teks, handbook dan literature yang relevan. Sebaliknya, sangat sedikit sekali data kekuatan lelah yang tersedia untuk material komposit terutama bio-komposit yang terbuat dari serat alam. Komposit dari bahan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terus diteliti dan dikembangkan guna untuk menjadi bahan alternatif pengganti bahan logam. Penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan TKKS yaitu menentukan komposisi (formulasi) pencampuran bahan gesek yang optimum dengan melakukan uji keausan dan uji kerasan [5]. Haque [6] telah meneliti keandalan dan terjadinya kerusakan pada komposit serat keramik karena beban lelah pada temperature kamar dan temperature tinggi. Ogawa [7] meneliti perambatan retak permukaan karena beban lelah lentur-putar. Khashaba [8] meneliti sifat lelah dan keandalan dari GFRP komposit menggunakan mesin uji lelah lentur putar. Hafirman [9] meneliti kekuatan lelah baja pada lingkungan dengan kelembaban tinggi. Alaya [10] mengkaji pengaruh kedalaman takik ulir metris terhadap kekuatan lelah Baja Karbon Rendah. Reylan [11] meneliti pengaruh lama waktu perlakuan Alkali terhadap kekuatan bending komposit papan serat tandan kosong kelapa sawit. Alisa [12] meneliti perilaku perambatan retak pada material komposit resin dan silica partikel. Bizeul [13] meneliti perilaku perambatan retak karena beban tarik pada material komposit serat glass.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekuatan lelah material komposit serat tandan kosong kelapa sawit dengan memvariasikan orientasi dan komposisi serat terhadap material penyusun dari komposit ini. Selain menggunakan serat tandan kosong kelapa sawit, pada penelitian ini juga menggunakan serbuk Fe hasil dari limbah pemesinan serta kalsium karbonat yang berfungsi sebagai *filler* yang diharapkan mampu menambah umur pakai dari material dengan bahan komposit ini, serta memberikan perlakuan alkali untuk menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban lebih besar

### III. METODOLOGI

Secara garis besar, penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yaitu tahap penyiapan atau pembuatan sampel uji, tahap pengujian sampel dan tahap analisis data hasil pengujian.

#### 1. Tahap penyiapan dan pembuatan sampel uji

##### a. Bahan Komposit

Pada tahap ini diperlukan serat tandan kosong sawit, resin polyester, hardener, serbuk Fe, NaOH dan  $\text{CaCO}_3$  sebagai bahan pembuatan komposit. Bahan serat tandan kosong kelapa sawit dalam bentuk setengah jadi diperoleh dari pabrik pengolahan kelapa sawit di Kinali Kab. Pasaman, Sumatera Barat, sedangkan resin polyester yang diproduksi oleh PT. Justus Sakti Raya dengan merek Yukalac didapat dari pemasok. Bentuk serat diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Serat Tandan Kosong Sawit

##### b. Penyiapan serat

Sebelum dipotong sesuai dengan panjang cetakan, serat dikeringkan dibawah cahaya matahari dan dengan menggunakan *hair dryer*. Selanjutnya dilakukan proses Alkalisasi pada serat menggunakan larutan NaOH 7,5% selama 60 menit. Setelah proses Alkalisasi, serat lalu dicuci pada air yang mengalir selama  $\pm 10$  menit, dan direndam di dalam wadah yang berisi air selama  $\pm 30$  menit sehingga NaOH pada serat hilang semuanya.

Untuk mempercepat proses pengerasan dan pengeringan resin polyester, kedalam resin ditambahkan hardener yaitu *Methyl Ethyl Keton Peroxida* (Mekpo). Hardener ini berupa cairan berwarna bening yang diproduksi oleh PT. Justus Kimia Raya. Karena berpengaruh terhadap tingkat kegetasan material komposit, maka pemakaian hardener ini dibatasi sampai 1% dari volume resin yang digunakan.

**c. Pembuatan specimen**

Resin *polyester* dan *hardener* dicampur dan diaduk dalam sebuah wadah dengan perbandingan 100:1. Campuran ini yang berfungsi sebagai penguat (matrik) dituang ke dalam cetakan. Cetakan berukuran panjang 100 mm dan diameter dalam 11 mm seperti terlihat pada Gambar 2. Selanjutnya serat yang sudah ditimbang beratnya dimasukkan ke dalam cetakan yang berisi penguat (matrik) dengan posisi memanjang searah sumbu cetakan. Setelah dingin dan dikeluarkan dari cetakan, material komposit kemudian di machining menggunakan mesin bubut untuk memperoleh specimen uji lelah seperti terlihat pada Gambar 3. Spesimen uji lelah ini dibuat mengacu kepada standar BS 3691.



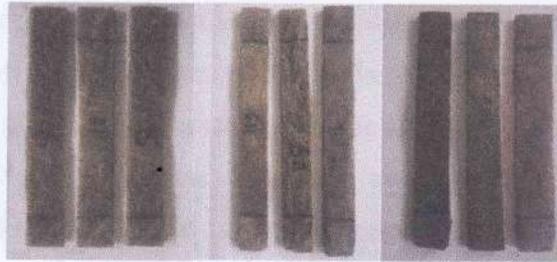
Gambar 2. Cetakan specimen



Gambar 3. Spesimen uji lelah

Untuk membuat specimen uji tarik, campuran resin *polyester* dan *hardener* seperti dijelaskan pada bagian 2.3.1 dituang ke dalam cetakan. Selanjutnya serat yang sudah ditimbang beratnya dimasukkan ke dalam cetakan yang berisi penguat (matrik) dengan posisi memanjang searah sumbu cetakan. Setelah dingin dan dikeluarkan dari cetakan akan diperoleh sampel material komposit berukuran panjang 175 mm, lebar 25 mm dan tebal 2 mm. Selanjutnya sampel digerinda

dan diampelas pada kedua sisinya untuk mendapatkan specimen sesuai dengan standar ASTM D3039 dengan bentuk dan ukuran seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen uji tarik

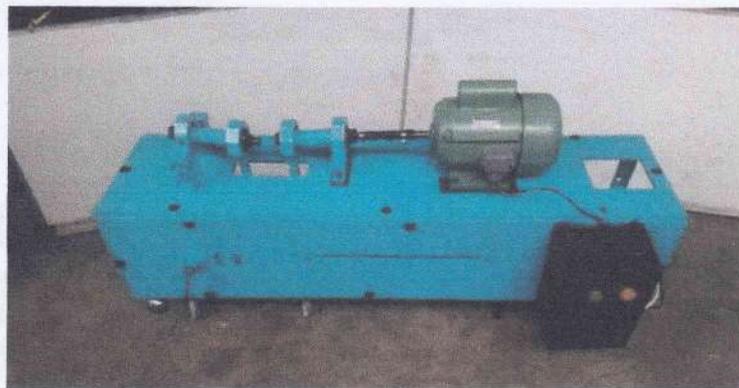
## 2. Tahap pengujian sampel

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian tarik dan pengujian lelah terhadap sampel komposit. Pengujian tarik dilakukan menggunakan mesin uji tarik untuk mendapatkan kekuatan tarik dari sampel uji sebagai acuan dalam pemberian beban uji lelah dengan berbagai variasi beban. Mesin uji tarik yang digunakan terlihat pada Gambar 5. Spesimen uji tarik tarik ini dibuat mengikuti standar ASTM 3039. Sebanyak lima sampel uji tarik diperlukan untuk setiap variasi fraksi volume serat dan arah orientasi serat sampel.



Gambar 5. Mesin Uji Tarik

Selanjutnya dilakukan pengujian lelah bahan komposit menggunakan mesin uji lelah lentur-putar Mohr. Setelah specimen dipasang pada mesin, lalu specimen diberi beban lentur dan diputar secara bersamaan sehingga specimen mengalami beban lentur tarik-tekan secara berulang sampai specimen mengalami patah atau putus. Mesin uji lelah yang digunakan terlihat pada Gambar 6. Data yang diperoleh untuk setiap pengujian adalah besarnya tegangan ( $S$ ) dan banyaknya siklus pembebanan ( $N$ ). Pengujian di atas dilakukan untuk berbagai variasi tingkat tegangan, variasi fraksi volume serat dan variasi arah orientasi serat.



Gambar 6. Mesin Uji Lelah

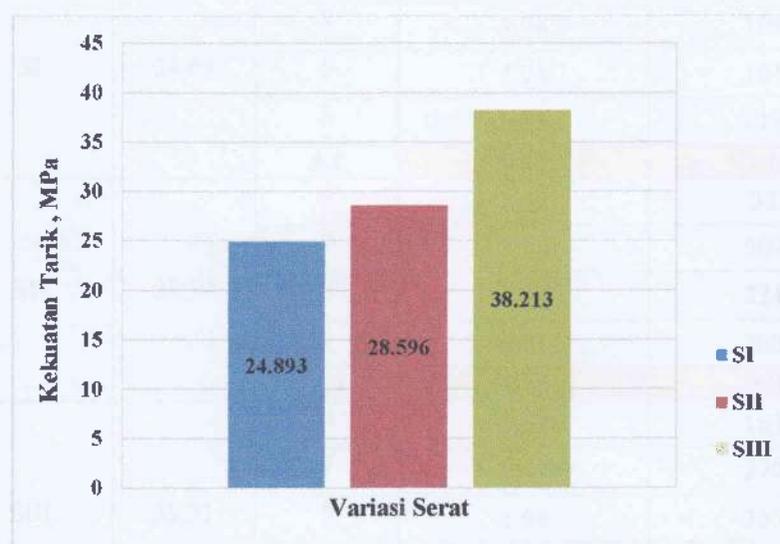
### 3. Analisis data hasil pengujian

Pada tahap ini data hasil pengujian tarik dan pengujian lelah diolah sehingga diperoleh kurva tegangan-regangan dan kurva S-N. dari kedua kurva ini akan dapat diketahui kekuatan tarik dan kekuatan lelah dari material komposit. Selanjutnya pada tahap ini juga dilakukan pengamatan terhadap bentuk permukaan patahan sampel uji lelah secara visual dan dengan menggunakan alat bantu kamera dan mikroskop. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme terjadinya retak awal, perambatan retak dan patah/putus pada material komposit dengan berbagai variasi fraksi volume serat, arah orientasi serat dan tingkat tegangan.

#### IV. HASIL PENELITIAN

##### 1. Pengujian Kekuatan tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan *ultimate* (kekuatan tarik) material komposit. Terdapat tiga tipe specimen yang diuji menurut variasi massa serat sawit yaitu tipe S1 dengan massa serat 1 kg, SII dengan massa serat 2 kg dan SIII dengan massa serat 3 kg. Sebanyak 5 sampel uji untuk setiap tipe specimen telah diuji menggunakan Mesin Uji Tarik. Hasil kekuatan tarik rata-rata material komposit untuk tiga macam massa serat tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengujian kekuatan tarik

Berdasarkan hasil kekuatan tarik pada Gambar 7, dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik material komposit meningkat dengan meningkatnya berat serat kelapa sawit (fraksi massa) didalam material. Peningkatan kekuatan tarik ini disebabkan karena semakin banyak jumlah serat maka ikatan antara serat dan matrik juga semakin banyak sehingga akan lebih kuat. Kekuatan tarik rata-rata tertinggi pada penelitian ini dimiliki oleh material komposit dengan massa serat sawit 3 kg yaitu sebesar 38,21 MPa.

##### 2. Pengujian Kekuatan Lelah

Pengujian lelah dilakukan untuk mengetahui kekuatan lelah material komposit. Kekuatan lelah diperoleh dengan memberikan beban lentur (tegangan lentur)

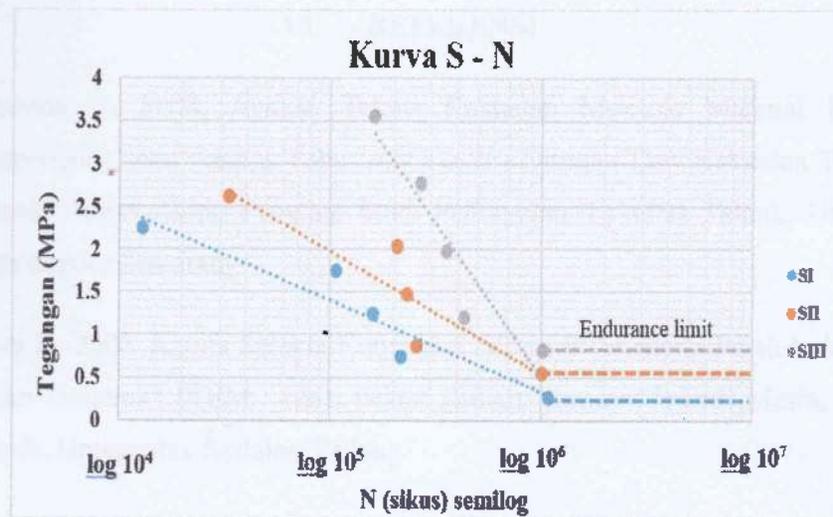
berulang kepada specimen sampai specimen patah (gagal). Besarnya tegangan nominal yang diberikan kepada ketiga tipe specimen (SI, SII, SIII) adalah berdasarkan kepada  $Y \% \times$  Kekuatan Tarik material komposit, dimana  $Y = 3, 5, 7$  dan  $9$ . Hasil pengujian kekuatan lelah komposit serat kelapa sawit dengan variasi serat 1, 2, 3 gram untuk setiap tegangan nominal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian kekuatan lelah material komposit

No	Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)	Y	Tegangan Nominal (MPa)	Umur rata-rata (siklus)
1	SI	24,89	9	2.24	12960
			7	1.74	106650
			5	1.24	161325
			3	0.75	218565
			1.1	0.27	>10 <sup>6</sup> *
2	SII	28,59	9	2.62	33345
			7	2.04	209250
			5	1.45	234225
			3	0.87	260550
			1.9	0.55	>10 <sup>6</sup> *
3	SIII	38,21	9	3.57	163350
			7	2.77	270135
			5	1.98	355860
			3	1.19	436725
			2.1	0.82	>10 <sup>6</sup> *

Dari table dapat dilihat bahwa untuk setiap jenis specimen semakin besar tegangan nominal yang diberikan maka akan menghasilkan umur lelah yang semakin pendek. Ini berarti kekuatan lelah material berbanding terbalik dengan umur lelahnya. Tabel juga menunjukkan bahwa specimen dengan fraksi massa yang lebih besar akan memiliki umur lelah yang lebih panjang untuk setiap tingkat tegangan yang diberikan. Fatik limit material specimen SI, SII dan SIII masing-masing 0.27, 0.55 dan 0.82 MPa atau berturut-turut sekitar 1.08, 1.92 dan 2.15 % dari Kekuatan tariknya. Fatik limit ini didapat pada umur specimen lebih dari 1000000 siklus.

Data pengujian lelah pada Tabel dapat diplot menjadi sebuah grafik S-N seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva S-N pengujian lelah material komposit

## V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kekuatan lelah material komposit dengan serat tandan Kelapa Sawit dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar fraksi massa serat dalam komposit maka kekuatan lelah nya juga semakin besar. Sedangkan umur lelah material berbanding terbalik dengan kekuatan lelahnya.
2. Fatik Limit tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan fraksi serat paling banyak yaitu sebesar 0.82 MPa atau 2.15 % dari kekuatan tariknya.
3. Umur lelah yang dapat dicapai oleh material komposit untuk semua level tegangan pengujian berkisar antara  $10^4$ - $10^5$  siklus, dan umur diatas  $10^6$  siklus merupakan batas lelah (fatik limit) dari material komposit.

## VI. REFERENSI

- [1] Hartono Y. 2008. Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (*BAGGASE*) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Dan Impak. Tugas Akhir, Program Studi Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.Semarang
- [2] Gasni D. 2002. Kapita Selektã Konstruksi Mesin B ” Kriteria Patah Lelah Untuk Beban Dinamik” (TEM 426). Diktat Kuliah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas: Padang
- [3] Callister WD. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John willey & sons Inc: New York.
- [4] Dieter GE. 1986. *Mechanical Metallurgy,Third Edition*. McGraw-Hill Book Company: New York
- [5] Esastra A. 2015. Pengembangan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit, Kalsium Karbonat, Serbuk Aluminium Dengan Pengikat *Resin Polyester* . Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas: Padang. Dieter GE. 1986. *Mechanical Metallurgy,Third Edition*. McGraw-Hill Book Company: New York
- [6] Haque A , Rahman M. 2000. *Durability and Damage Development in Woven Ceramic Matrix Composites Under Tensile and Fatigue Loading at Room and ElevatedTemperatures*.  
[www.materialstechnology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1426285](http://www.materialstechnology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1426285)
- [7] Ogawa H. 1991. *An Analysis on Surface Crack Growth under Rotary Bending Fatigue in Terms of Fracture Mechanic*. Nihon Kikai Gakkai Ronbushu,A Hen/Transaction Of the Japan Society of Mechanical Engineers: Japan
- [8] Khashaba, U.A. 2001. *Fatigue and Reliability Analysis of Unidirectional GFRP Composites under Rotating Bending Loads*. Journal. Mechanical Design and Production Engineering Department Faculty of Engineering Zagazig University, Zagazig, Egypt

- [9] **Haftirman.** 1995. *Fatigue Strength of Steel in High Humidity Environment.* Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers: Japan
- [10] **Alaya FHM.** 2007. Pengaruh kedalaman Takik Ulir Metris Terhadap Kekuatan Lelah Baja Karbon Rendah. Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang : Semarang
- [11] **Reylan L.** 2014. Pengaruh Lama Waktu Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Bending Komposit Papan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas: Padang.
- [12] **Alisa et.al,** 2016. *Time dependent fatigue crack growth behavior of silica particle reinforced epoxy resin composite,* International Journal of Fatigue.
- [13] **Bizeul et.al,** 2011. Fatigue crack growth in thin notched woven glass composites under tensile loading. Composites Science and Technology.