

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 431/ Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)

**LAPORAN TAHUN TERAKHIR
PENELITIAN DISERTASI DOKTOR**



**ANALISIS SCATTER KEKUATAN TARIK KOMPOSIT PLASTIK
BERPENGUAT SERAT PISANG ABACA (*AFRP*)**

Tahun ke I dari rencana 1 tahun

Abubakar, ST. MT NIDN : 0020086809

UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

OKTOBER 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : ANALISIS SCATTER KEKUATAN TARIK
KOMPOSIT PLASTIK BERPENGUAT SERAT PISANG
ABACA (AFRP)

Peneliti/Pelaksana
Nama : ABUBAKAR, ST, MT
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
NIDN : 0020086809
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Mesin
Nomor HP. : 085261569053
Alamat surel (e-mail) : abu_unima@yahoo.com
Institusi mitra (Jika ada)
Nama institusi mitra : -
Alamat : -
Penanggung jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke I dari rencana 1 tahun
Biaya tahun berjalan : Rp 52.500.000,-
Biaya keseluruhan : Rp 52.500.000,-



Kab. Aceh Utara, 28-10-2017
Kerua,

(Abubakar, ST, MT)

NIP/NIK 196808202002121001



ABSTRAK

Inovasi dalam bidang material komposit menuntut terciptanya material yang lebih ramah lingkungan. Saat ini komposit serat alam (green material) patut dipertimbangkan menjadi material yang sangat berpotensi untuk mensubstitusi komposit serat sintetis sebagai material teknik. Serat alam mempunyai kekurangan dimana mempunyai scatter sifat mekanik yang sangat besar. Salah satu cara untuk mengatasi kekurangan tersebut adalah melalui pemilihan proses manufaktur (fabrikasi) komposit. Tujuan penelitian ini adalah membuat proto type komposit plastik berpenguat serat abaca (AFRP) menggunakan metode Vakum (Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)). Semua spesimen dilakukan post cure pada suhu 80°C selama 2 jam. Sifat mekanik dari komposit dievaluasi uji tariknya. Komposit AFRP difabrikasi dengan fraksi volume (V_f) : 20%, 30% , 40% serta ukuran spesimen uji (140x5x1) mm. Dengan proses fabrikasi sebagai berikut : 1) Serat abaca disusun dalam cetakan kaca yang memanjang sejajar (0°) kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik vakum. 2) Resin di campur hardener dialirkan kedalam cetakan yang sudah kondisi vakum. Metode cetakan ini dapat menghilangkan gelembung udara di dalam komposit sehingga diharapkan kekuatan tarik komposit menjadi lebih tinggi. Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah : Serat abaca, Resin BTQN 157-EX, Hardener MEKPO dan Wax. Peralatan yang diperlukan adalah : Instalasi cetak vakum, Alat uji tarik, Kamera digital dan Scanning Electron Microscope (SEM). Penampang patahan diselidiki untuk mengidentifikasi mekanisme perpatahannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki harga optimum untuk (V_f) 40%, yaitu 257 Mpa dan 0.44%. Penampang patahan komposit diklasifikasikan sebagai jenis patah slitting in multiple area. Sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit plastik berpenguat serat abaca memiliki potensi yang cukup besar untuk diaplikasikan sebagai material struktural.

Kata Kunci : Serat Abaca, AFRP, Kekuatan tarik, VARI, Scanning Electron Microscope.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT karena kita masih diberikan umur panjang untuk selalu berpikir dan berzikir dalam rangka beribadah kepada-Nya. Selawat teriring salam kita sanjungkan kepangkuan alam Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya yang telah berjuang menyampaikan risalah iman dan islam sehingga kita dapat menikmati alam imtaq dan iptek.

Dalam rangka proses monitoring dan evaluasi penerima hibah penelitian tahun pelaksanaan 2017 harus membuat laporan akhir penelitian yang akan dievaluasi oleh reviewer internal perguruan tinggi maupun eksternal reviewer. Penulis yang merupakan penerima hibah penelitian disertasi doktor merasa sangat bersyukur karena mendapatkan hibah ini. Sangat membantu dalam menyelesaikan studi Program Doktor Teknik Mesin di Universitas Sumatera Utara.

Penelitian yang berjudul “Analisis Scatter Kekuatan Tarik Komposit Plastik Berpenguat Serat Pisang Abaca (AFRP)” sudah selesai pelaksanaannya. Laporan akhir tahun yang disusun ini merupakan gambaran hasil dalam pelaksanaan penelitian.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah menyediakan bantuan program penelitian Disertasi Doktor.
2. Bapak Rektor Universitas Malikussaleh yang telah membangun Unimal dengan lebih bermutu dan kompetitif.
3. Bapak Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Unimal yang telah berusaha memajukan program penelitian dan pengabdian di Unimal.
4. Bapak Promotor Disertasi Prof. Emeritus Hiroomi Homma dan Bapak DR. Eng. Ir. Indra, MT pada Program Pasca Sarjana Teknik Mesin USU Medan.
5. Ketua Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara dan Universitas Malikussaleh yang telah banyak membantu penulis.
6. Kawan-kawan yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang selalu membantu.

Penulis menyadari bahwa laporan kemajuan ini masih jauh dari kata sempurna. Segala kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penelitian ini.

Reuleut, 30 Oktober 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Khusus.....	2
1.3 Urgensi Penelitian.....	3
1.4 Temuan yang Ditargetkan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 State of The Art Penelitian.....	4
2.2 Road Map Penelitian.....	6
BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	7
3.1. Perkembangan Manfaat Penelitian Biokomposit Skala Internasional.....	7
3.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian Skala Nasional	8
3.3. Manfaat penelitian.....	8
BAB 4 METODE PENELITIAN.....	9
4.1 Lokasi dan waktu penelitian.....	9
4.2 Bahan Penelitian.....	9
4.3 Peralatan penelitian	9
4.4. Proses penelitian	9.
BAB 5 HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	14
5.1. Proses pembuatan serat abaca	14
5.2. Proses pembuatan komposit	15
5.3. Perancangan dan pembuatan alat uji tarik	15
5.4. Kalibrasi alat uji tarik.....	18
5.5. Pengujian statik tarjik	19
5.6. Hasil dan diskusi	20
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	22
6.1. Kesimpulan	22
6.2. Saran	22
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN	25

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
1.1.	Rencana target capaian tahunan.....	3
2.1.	<i>Scatter</i> pada sifat mekanik material.....	5
2.2.	Roadmap Penelitian.....	6
4.1.	Lokasi dan aktifitas penelitian.....	9
5.1.	Sifat tarik komposit AFRP.....	20.

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1.1.	Tanaman abaca dan produksi serat tradisional	2
2.1.	Aplikasi biokomposit untuk interior dan eksterior mobil	4
2.2.	Aplikasi biokomposit untuk <i>non automotive</i>	5
2.3.	Diagram tulang ikan riset	6
4.1.	Serat Abaca	11
4.2.	Skematik proses pembuatan komposit	11
4.3.	Spesimen uji tarik komposit	12
4.4.	Bagan alir penelitian	13
5.1.	Proses pembuatan serat abaca	15
5.2.	Proses alkalisasi (1) dan pemeriksaan kadar air (2)	15
5.3.	Cetakan kaca (1) dan Pre-preg serat abaca (2)	15
5.4.	Set up cetakan vakum	16
5.5.	Proses post curing	16
5.6.	Spesimen uji tarik	17
5.7.	Set up alat uji tarik	17
5.8.	Kurva kalibrasi alat uji tarik	18
5.9.	Set up pengujian tarik dan hasil uji	19
5.10.	Kurva tegangan (σ) dan regangan (ϵ) uji tarik komposit	19
5.11.	Histogram tensile strenght vs fraksi volume komposit.	21
5.12.	Patahan Komposit AFRP V_f 20%.	22
5.13.	Patahan Komposit AFRP V_f 30%.	23
5.14.	Patahan Komposit AFRP V_f 40%.	23

BAB I PENDAHULUAN

3.1 Latar Belakang

Saat ini, bahan-bahan berpenguat berbasis serat sintetis seperti serat kaca, aramid dan serat karbon merupakan pilihan utama material komposit selain material logam. Meskipun bahan-bahan komposit tersebut menunjukkan sifat mekanik yang baik namun juga menimbulkan pencemaran lingkungan akibat tidak dapat terurai secara alami (*recycling*) [1]. Mohanty dkk [2] memberikan informasi bahwa serat alam mulai dikembangkan kembali pada tahun 1950-an dan berhasil menggantikan serat gelas untuk aplikasi di bidang otomotif. Hal ini disebabkan oleh beberapa keuntungan serat alam dibanding serat sintetis, diantaranya adalah harga lebih murah, densitas rendah, *biodegradable*, mudah diolah, mengurangi CO₂, dan kekuatan spesifik dapat memenuhi syarat aplikasi. Untuk menyikapi permasalahan tersebut, dewasa ini penggunaan bahan-bahan berpenguat serat alam sudah banyak dalam berbagai bidang.

Perkembangan penelitian di bidang *biobased material* semakin pesat setelah termotivasi oleh isu *global warming* pada tahun 1997. *Global warming* atau pemanasan global merupakan permasalahan lingkungan internasional yang disebabkan oleh gas rumah kaca. PBB sebagai organisasi dunia telah merespon isu *global warming* ini dengan mengeluarkan Protokol Kyoto, yaitu amandemen terhadap Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang perubahan iklim. Protokol Kyoto pertama kali disampaikan pada 11 Desember 1997 dan berkekuatan hukum secara internasional pada 16 Februari 2005. Negara-negara yang meratifikasi protokol ini berkomitmen untuk mengurangi emisi dan pengeluaran gas rumah kaca (GRK) yaitu CO₂, CH₄, N₂O, HFCS, PFCS, dan SF₆. GRK dapat dihasilkan oleh kegiatan pembakaran bahan bakar fosil, mulai dari proses pemasakan sampai pembangkit listrik, termasuk proses produksi serat sintetis untuk *filler* komposit. Isu pemanasan global ini juga direspon oleh negara-negara Uni Eropa (EU) dengan memberikan intruksi (*directives*) di bidang otomotif, persampahan dan pengemasan produk. Hal ini mendorong *research* besar-besaran dibidang *green material*.

Serat alam mempunyai berbagai keunggulan sifat, namun ada permasalahan yang cukup serius ketika kita menggunakan serat alam sebagai material teknik. Material serat alam mempunyai *scatter* yang sangat besar terhadap sifat mekanik, misalnya kekuatan dibandingkan dengan bahan logam. Dalam beberapa tahun terakhir, diperoleh data base material yang sangat penting yaitu sifat *scatter* pada komposit yang diperkuat dengan serat [3, 4]. Sifat mekanik bahan logam mempunyai *scatter* dalam range probabilitas yang sangat kecil, koefisien variasi (standar deviasi dibagi dengan nilai rata-rata) dari logam sebesar 0,063 mm.

Ini berarti bahwa probabilitas kekuatan maksimum dari baja kurang dari $(1-3 \times 10^{-6}) \times \sigma_{um}$, berarti mempunyai kekuatan maksimum sebesar 10^{-6} [5]. Di sisi lain, koefisien variasi untuk serat bambu adalah sekitar 0,2-0,4 [6]. Berdasarkan data tersebut maka dibutuhkan pertimbangan yang mendalam dan penuh kehati-hatian menyangkut aspek kehandalan atau integritas struktur dan mesin jika diproduksi dari bahan komposit serat alam.

Oleh karena itu diperlukan penelitian yang lebih mendalam untuk pengembangan teknologi dalam memperkecil nilai koefisien variasi serat alam ke level bahan serat sintetis atau logam. Keahlian penelitian ini adalah inovasi pembuatan material komposit berpekuat serat alam dengan koefisien variasi mendekati nilai komposit serat sintetis.

Daerah Propinsi Aceh habitat pisang abaca sangat melimpah sebagai plasma nutfah bahkan menjadi gulma yang banyak tumbuh di lingkungan masyarakat, areal perkebunan dan hutan-hutan. Setelah di ketahui kegunaan dan nilai ekonomi yang sangat tinggi banyak masyarakat mulai membudidayakan pisang ini. Seperti perkebunan pisang abaca (binaan kementerian BUMN) seluas 100 ha yang terdapat di kawasan pegunungan Gampong Suak Buluh, Kecamatan Simeulue Timur yang terletak sekitar 15 kilometer dari Kota Sinabang.



Gambar 1.1 Tanaman abaca dan produksi serat tradisional [7]

Pemanfaatan utama serat Abaca pada saat ini masih terbatas untuk membuat kain, tali, pembungkus teh celup, pembungkus tembakau, kertas tisu, pembalut wanita [8], sedangkan pemanfaatan untuk material stuktural belum dikembangkan secara maksimal. Hasil penelitian tentang serat abaca oleh Satyanarayana [9] menunjukkan kekuatan tarik yang relatif tinggi 54-754 MPa dan densitas 1350 kg/m^3 . **Permasalahan serat abaca adalah ketersediaan melimpah dengan kekuatan tarik tinggi tetapi pemanfaatan masih terbatas pada material nonstruktural, sehingga diperlukan penelitian tentang pemanfaatan serat abaca sebagai reinforcement komposit untuk material struktural.**

3.2 Tujuan Khusus

Tujuan utama penelitian adalah **membuat material komposit berpenguat serat abaca dengan nilai koefisien variasi mendekati ke level komposit berpenguat serat sintetis.**

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan teknologi pembuatan komposit serat alam dengan memiliki sifat mekanik yang tinggi (nilai koefisien variasi yang kecil).
2. Fabrikasi komponen plat komposit berpenguat serat pisang abaca.
3. Mengetahui karakteristik sifat mekanik komposit.

3.3 Urgensi Penelitian

Keberhasilan penelitian ini mempunyai beberapa manfaat penting yang dapat berkontribusi terhadap pemecahan permasalahan nasional maupun internasional :

1. Bahan dasar penguat komposit ini memerlukan penanaman pisang abaca sehingga menghasilkan penghijauan yang berkontribusi pada pemecahan masalah perubahan iklim.
2. Pemanfaatan lahan kurang produktif untuk budidaya tanaman pisang abaca.
3. Penelitian ini berpotensi membuka lapangan kerja untuk penanaman pohon pisang abaca.
4. Penelitian ini juga berpotensi membuka sistem manufaktur baru yang berimplikasi terhadap pembukaan pabrik memproduksi komponen yang terbuat dari komposit ini. Jadi penelitian ini mempunyai dampak lingkungan dan sosial. Dampak positif terhadap lingkungan adalah penghijauan yang dapat menyerap gas CO₂ sehingga mengurangi *global warming* dan tidak menimbulkan masalah sampah karena

3.4 Temuan yang Ditargetkan

Penelitian yang diajukan oleh pengusul ditargetkan untuk mendapatkan prototipe dari komposit plastik berpenguat serat pisang abaca (*AFRP*) generasi baru dengan nilai koefisien variasi mendekati komposit serat sintetis. Komposit ini diharapkan dapat digunakan secara luas menggantikan komposit serat sintetis yang tidak ramah lingkungan.

Tabel 1.1. Rencana target capaian tahunan [10]

No.	Jenis Luaran		Indikator Capaian
1	Publikasi ilmiah	Internasional Bereputasi	<i>submitted</i>
		Nasional Terakreditasi	<i>accepted</i>
2	Pemakalah dalam temu ilmiah	Internasional	Tidak ada
		Nasional	Terdaftar
3	Teknologi Tepat Guna		Produk
4	Model/Purwarupa/Desain/Karya seni/ Rekayasa Sosial		Draft
5	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)		4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

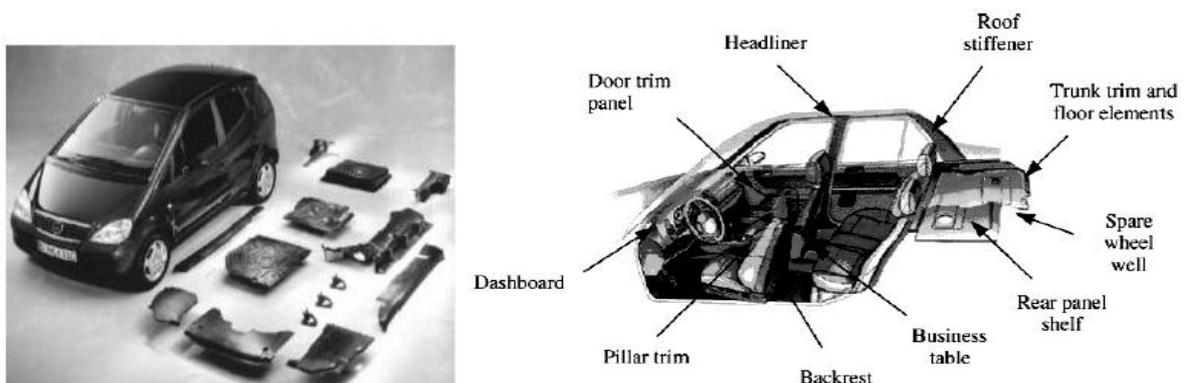
2.1. State of The Art dalam Bidang yang Diteliti

Keaslian penelitian ini adalah **inovasi pembuatan material komposit plastik₃ berpenguat serat pisang abaca (AFRP) dengan nilai koefisien variasi mendekati komposit serat sintetis**. Komposit ini difabrikasi dengan komposisi serat alam pisang abaca dan matrik polyester merupakan upaya pengembangan pemanfaatan serat abaca untuk material struktural.

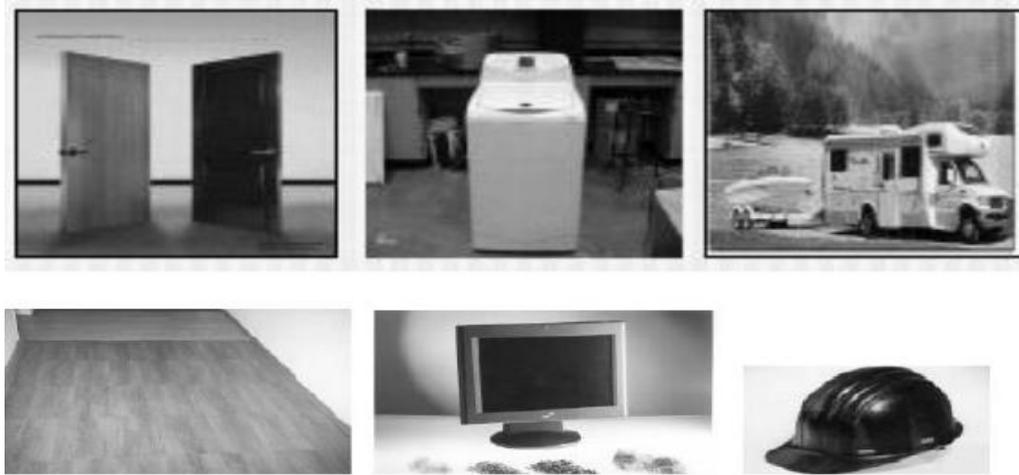
- Biokomposit

Menurut Mohanty dkk [1], Biokomposit adalah jenis komposit yang salah satu penyusunnya, yaitu *reinforcement* atau matriksnya, terbuat dari bahan natural. Komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih yang terbagi menjadi dua kelompok penyusun yaitu matriks sebagai pengikat (*binder*) dan serat atau partikel sebagai penguat (*reinforcement*). Menurut Schwartz [10], beberapa persyaratan matriks adalah mempunyai *elongation break* lebih tinggi dibandingkan dengan serat, harus dapat mentransmisikan beban ke serat melalui perubahan bentuk atau deformasi, dan matriks harus dapat membungkus (*encapsulate*) serat tanpa terjadi *shrinkage* yang dapat menyebabkan regangan internal dari fiber dengan indikatornya adalah mempunyai *wettability*, kompatibilitas dan *bonding* yang baik. Sedangkan persyaratan serat menurut Feldman [11] adalah modulus elastisitas tinggi, *Ultimate strength* lebih tinggi dari matriks, masing-masing serat mempunyai kekuatan setaraf, serat stabil dan tetap kuat selama proses manufaktur dan ciri-ciri kematraan serat misalnya luas dan diameter seragam. Serat alam yang sudah digunakan antara lain serat abaca, hemp, jute, flax, coir, sisal dan kapas.

Beberapa komponen yang terbuat dari komposit serat alam antara lain interior dan eksterior mobil, perahu, panel pintu, lantai, elektronik dan helm seperti terlihat pada gambar 2.1 dan gambar 2.2. Menurut Kavelin [12], komponen yang terbuat dari serat alam lebih ringan 15% dibandingkan dengan fiber glass.



Gambar 2.1. Aplikasi biokomposit untuk interior dan eksterior mobil [13]



Gambar 2.2. Aplikasi biokomposit untuk *non automotive* [13]

- Scatter pada serat alam

Industri serat alam di Indonesia masih kurang pengembangannya dibandingkan dengan negara-negara lain. Serat alam, khususnya Abaca masih sangat terbatas penggunaannya sebagai material struktural. Salah satu alasannya adalah scatter yang besar pada sifat mekaniknya. Kekakuan dan kehandalan dari struktur dan mesin harus cukup kuat untuk mencegah bahaya dari catastrophic failure. Dalam tabel 2.2. terlihat bahwa *scatter* pada sifat mekanik dari serat alam sangat besar. Saat ini, beberapa peneliti sedang melakukan penyelidikan tentang fenomena tersebut [14]. Berdasarkan hasil penelitian didapat bahwa kekuatan serat alam bergantung pada morfologi serat khususnya diameter dan panjang pemegangan (*gauge length*) dari specimen tarik. Biasanya, diameter yang besar dan pemegangan (*gauge length*) yang panjang menghasilkan kekuatan tarik yang kecil.

Tabel 2.1. *Scatter* pada sifat mekanik material [15].

Fibers & Materials	Ultimate strength		Standard deviation 2s	Coefficient of variation
Abaca	750		187	0.25
Flax	500-900	700±200	100	0.14
Hemp	350-800	575±225	112.5	0.20
Jute	200-450	325±125	62.5	0.19
Sisal	100-850	475±375	187.5	0.39
Softwood	98-170	134±36	18	0.13
SS43-50 steel				0.07
SM41-58 steel				0.06
HT60-80 steel				0.06
E Glass	3100-3200	3150±50	25	0.01
Aramid	2900-3400	3150±250	125	0.04

Untuk material baja dan serat sintetis, nilai koefisien variasi kurang dari 0.07, sedangkan serat alam lebih besar sama dengan 0.13. Ini menandakan bahwa *scatter* kekuatan tarik pada serat alam lebih besar dari material logam.

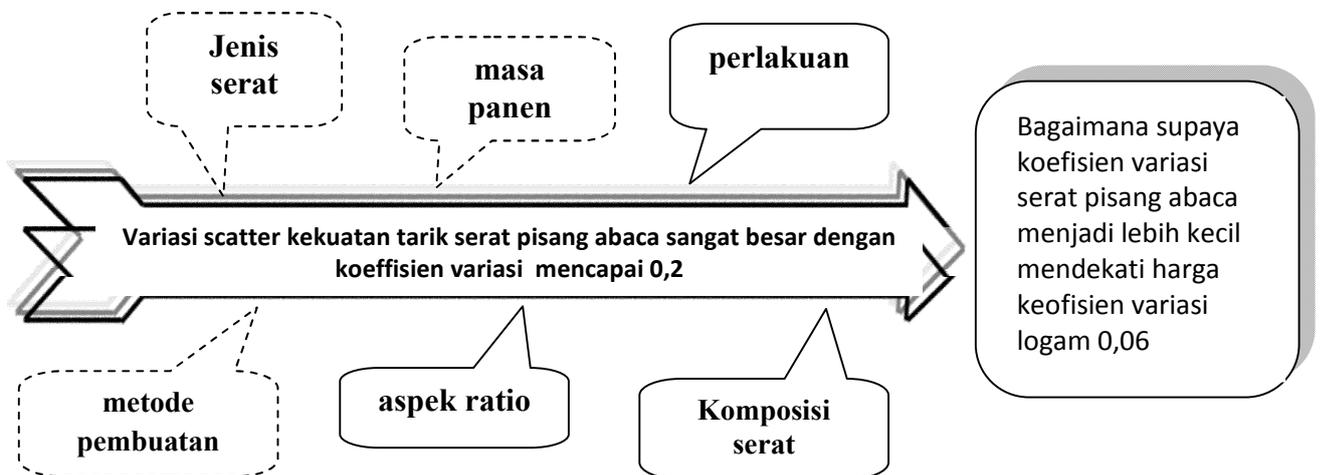
2.2. Road Map Penelitian

Secara garis besar ada dua tahapan penelitian sebagaimana digambarkan pada alur pikir, yaitu : Sub Riset I fokus penelitian **analisis kekuatan tarik serat abaca menggunakan metode *Weakest Linkage***. Sub Riset II fokus **Analisis scatter kekuatan tarik komposit plastik berpenguat serat abaca (*AFRP*)**. Roadmap penelitian yang mencakup penelitian terdahulu dan rencana kedepan dapat dilihat pada gambar berikut :

Tabel 2.2. Roadmap Penelitian

Tahun	2015	2016	2017
Penelitian yang sudah dilakukan penulis	Analisis panjang kritis beberapa serat alam sebagai filler komposit	Analisis kekuatan tarik serat abaca menggunakan metode <i>Weakest Linkage</i> .	Analisis scatter kekuatan tarik komposit plastik berpenguat serat abaca (<i>AFRP</i>)
Produk	Model	Model	Prototype
Variabel	Panjang kritis dan kekuatan tarik komposit	Diameter dan kekuatan tarik serat serta variabel scatter	Kekuatan tarik dan variabel scatter komposit
Hasil	Papan komposit	Papan komposit	Plat komposit struktural
Lokasi	Laboratorium	Laboratorium	Laboratorium

Diagram tulang ikan lingkup penelitian dalam usaha mereduksi faktor scatter serat abaca untuk penguat komposit yang akan dibuat.



Gambar 2.3. Diagram tulang ikan riset

BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Perkembangan Manfaat Penelitian Biokomposit Skala Internasional

Mohanty dkk [1] memberikan informasi bahwa serat alam mulai dikembangkan kembali⁶ pada tahun 1950-an dan berhasil menggantikan serat gelas untuk aplikasi di bidang otomotif. Hal ini disebabkan oleh beberapa keuntungan serat alam dibanding serat sintetis, diantaranya adalah harga lebih murah, densitas rendah, *biodegradable*, mudah diolah, mengurangi CO₂, dan kekuatan spesifik dapat memenuhi syarat aplikasi. Menurut Plackett dan Vazquez [2], biokomposit menjadi topik penelitian penting secara internasional sejak pertengahan tahun 1990 karena berasal dari sumber terbarukan dan aplikasinya semakin luas untuk komponen otomotif dan *housing notebook*.

Perkembangan penelitian di bidang *biobased material* semakin pesat setelah termotivasi oleh isu *global warming* pada tahun 1997. *Global warming* atau pemanasan global merupakan permasalahan lingkungan internasional yang disebabkan oleh gas rumah kaca. PBB sebagai organisasi dunia telah merespon isu *global warming* ini dengan mengeluarkan Protokol Kyoto, yaitu amandemen terhadap Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang perubahan iklim. Protokol Kyoto pertama kali disampaikan pada 11 Desember 1997 dan berkekuatan hukum secara internasional pada 16 Februari 2005. Negara-negara yang meratifikasi protokol ini berkomitmen untuk mengurangi emisi dan pengeluaran gas rumah kaca (GRK) yaitu CO₂, CH₄, N₂O, HFCS, PFCS, dan SF₆. GRK dapat dihasilkan oleh kegiatan pembakaran bahan bakar fosil, mulai dari proses pemasakan sampai pembangkit listrik, termasuk proses produksi plastik sintetis untuk komposit. Isu pemanasan global ini juga direspon oleh negara-negara Uni Eropa (EU) dengan memberikan intruksi (*directives*) di bidang otomotif, persampahan dan pengemasan produk. Hal ini mendorong *research* secara besar-besaran dibidang *green material*. Penggunaan *green composite* dibidang otomotif, pengemasan produk dan kontruksi merupakan salah satu solusi permasalahan pemanasan global karena proses produksi material ini tidak menghasilkan gas rumah kaca. Karus dan Kaup [33] memprediksi peningkatan penggunaan serat alam selulosa di industri otomotif Eropa pada tahun 2010 akan meningkat hingga 350 % dari tahun 2000. Pada tahun 2005, peningkatan perhatian tentang material ramah lingkungan juga dilakukan oleh *Ohio State University* dengan membentuk OBIC (*Ohio BioProducts Innovation Center*) bersama-sama dengan *Ohio Soybean Council*, *PolymerOhio Inc.*, dan *Battelle lab*. OBIC memberikan hibah sebesar \$ 11,5 juta untuk penelitian dan pengembangan material dari *renewable resources* seperti dari hewan dan tanaman.

Dalam dua dekade terakhir, polimer *biodegradable* telah dikembangkan di laboratorium dan dikomersialkan. Tantangan industri dalam pengembangan polimer ini adalah proses

produksi yang mudah, mempunyai sifat yang baik dan harga yang kompetitif dibandingkan dengan polimer konvensional. Pentingnya *biobased material* untuk produk-produk yang ramah lingkungan menjadi topik penelitian yang harus segera dilaksanakan, terutama tentang biokomposit dan *green composite*.

3.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian Skala Nasional

Tujuan utama penelitian adalah **membuat material komposit berpenguat serat abaca dengan nilai koefisien variasi mendekati ke level komposit berpenguat serat sintesis**.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan teknologi pembuatan komposit serat alam dengan memiliki sifat mekanik yang tinggi (nilai koefisien variasi yang kecil).
2. Fabrikasi komponen plat komposit perpenguat serat pisang abaca.
3. Mengetahui karakteristik sifat mekanik komposit.

Fokus Penelitian ini adalah inovasi pembuatan material baru dengan bahan baku 100 % produk lokal, tidak beracun, *biodegradable* dan dari sumber terbarukan. Produk ini dapat diperbarui terus menerus melalui budidaya pohon pisang abaca. Penelitian ini sesuai dengan salah satu isu strategis nasional yaitu perubahan iklim dan keragaman hayati dengan isu strategis kelangkaan biodiversitas dan diversifikasi fungsi. Konsep yang diambil adalah pengembangan material untuk optimalisasi fungsi biodiversitas.

3.3 Manfaat

Keberhasilan penelitian ini mempunyai beberapa manfaat penting yang dapat berkontribusi terhadap pemecahan permasalahan nasional maupun internasional :

1. Bahan dasar penguat komposit ini memerlukan penanaman pisang abaca sehingga menghasilkan penghijauan yang berkontribusi pada pemecahan masalah perubahan iklim.
2. Pemanfaatan lahan kurang produktif untuk budidaya tanaman pisang abaca.
3. Penelitian ini berpotensi membuka lapangan kerja untuk penanaman pohon pisang abaca.
4. Penelitian ini juga berpotensi membuka sistem manufaktur baru yang berimplikasi terhadap pembukaan pabrik memproduksi komponen yang terbuat dari komposit ini. Jadi penelitian ini mempunyai dampak lingkungan dan sosial. Dampak positif terhadap lingkungan adalah penghijauan yang dapat menyerap gas CO₂ sehingga mengurangi *global warming* dan tidak menimbulkan masalah sampah karena bersifat *biodegradable*. Dampak positif terhadap kehidupan sosial adalah pembukaan lapangan kerja untuk penanaman pohon pisang abaca.

BAB 4 METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan, seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Lokasi dan aktifitas penelitian

No.	Aktifitas	Lokasi penelitian	Keterangan
1.	Pembuatan serat Abaca	Laboratorium Agroekoteknologi Fakultas Pertanian – Unimal	Menggunakan metode water retting
2.	Pembuatan cetakan kaca	Laboratorium Teknik Mesin Fak. Teknik – Unimal	Menggunakan kaca ketebalan 5 mm
3.	Pembuatan mesin Cetak vakum	Laboratorium Teknik Mesin Fak. Teknik – Unimal	Menggunakan pompa vakum
4.	Pembuatan mesin Uji tarik	Laboratorium Teknik Mesin Fak. Teknik – USU	Kapasitas 750 kg

Waktu pelaksanaan penelitian direncanakan bulan April sampai dengan November 2017.

4.2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan untuk membuat material komposit adalah serat pisang Abaca sebagai penguat dan matriks polyester sebagai pengikat. Serat pisang Abaca berasal dari tiga lokasi di Propinsi Aceh yaitu : Kabupaten Aceh Timur, Aceh Utara dan Aceh Jeumpa. Matriks polyester diperoleh dari Toko Justus Kimia Raya Medan. Dasar pemilihan serat Abaca sebagai bahan penelitian di samping mempunyai kekuatan mekanis yang relatif tinggi dan ketersediaan melimpah, juga berdasarkan pada hasil penelitian dan paten fabrikasi Daimler yang berhasil membuat komponen-komponen interior mobil.

4.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah alat *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy* (FT-IR) merk *Shimadzu type 8400S*, di Laboratorium Fisika Terapan Universitas Negeri Medan, *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan *Differential Thermal Analysis* (DTA) merk *Perkin Elmer* di Laboratorium Fisika Terapan Universitas Negeri Medan. SEM di laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Mesin uji tarik dan timbangan digital merk *Sartorius* serta alat-alat lain untuk preparasi dan fabrikasi biokomposit.

4.4. Proses Penelitian

4.4.1. Persiapan Serat Abaca

Serat Abaca diambil dari lokasi Desa Alue Papan Kabupaten Aceh Utara Propinsi Aceh. Batang pohon pisang Abaca setelah 8 sampai 10 bulan (sudah keluar daun bendera) dan diproses dengan tahapan sebagai berikut :

1. Batang Pisang Abaca diambil (dipotong) dari kebun (hutan) dengan ukuran panjang 50 cm kemudian dipisahkan kulit (pelepahnya).
2. Kulit (pelelah) kemudian direndam dalam air berlumpur (*metode water retting*) selama 15 hari.
3. Ketika serat sudah terbentuk, dibersihkan menggunakan air dan di keringkan di bawah sinar matahari sampai kandungan kadar airnya mencapai kurang dari 10%.
4. Selanjutnya serat disiapkan dalam kelompok :
 - Kolompok I** : Pada kelompok ini serat dibagi dalam tiga bagian dan masing-masing direndam dalam larutan Alkali 3%, 5% dan 7% selama 2 jam.
 - Kolompok II** : Pada kelompok ini serat dibagi dalam tiga bagian dan masing-masing direndam dalam larutan Alkali 3%, 5% dan 7% selama 4 jam.
 - Kolompok III** : Pada kelompok ini serat dibagi dalam tiga bagian dan masing-masing direndam dalam larutan Alkali 3%, 5% dan 7% selama 6 jam.
5. Setelah proses perendaman selesai, serat dikeringkan kembali di bawah sinar matahari. Untuk memeriksa kandungan air maka digunakan Grain Moisture Meter.
6. Untuk menjaga persentase kandungan air minimum, serat dikeringkan menggunakan pengering digital.
7. Setelah itu dilakukan pengukuran massa jenis serat (ρ) menggunakan metode penimbangan serat dalam air menggunakan neraca digital dan wadah tempat air.

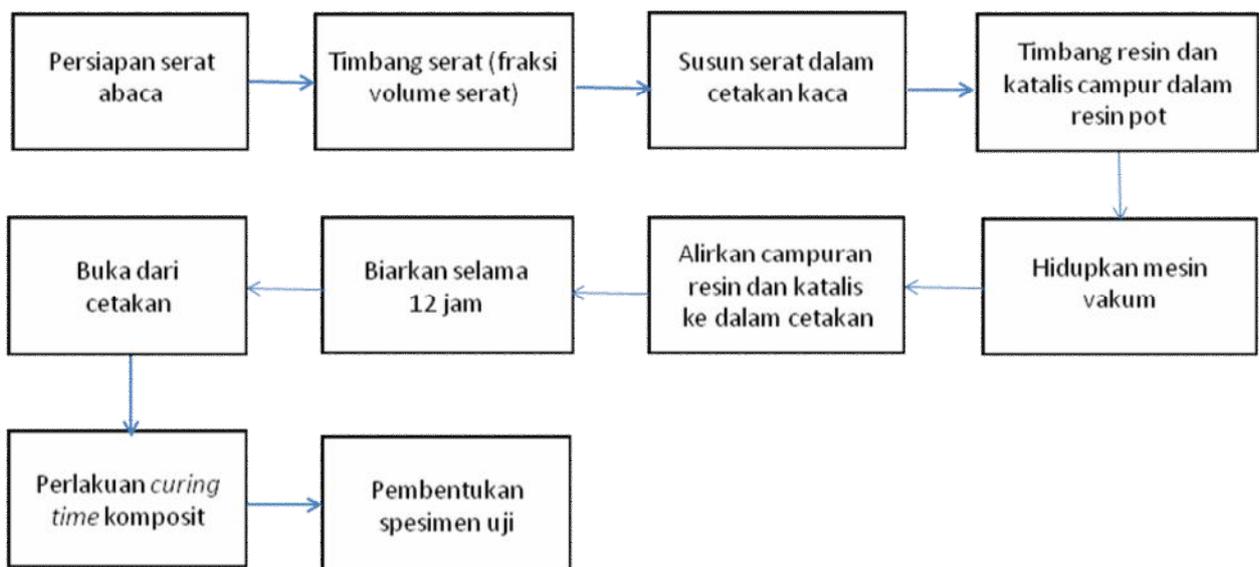
4.4.2. Tahap Pembuatan Komposit

Pembuatan komposit menggunakan metode cetakan vacum (*vacum assested resin infusion*). Proses fabrikasi ini dilakukan untuk menghasilkan komposit (*green composite*) dengan cara mencampurkan resin polyester BTQN 157-EQ, serat Abaca dan Katalis MEKPO dalam cetakan kaca vakum. Ukuran serat abaca yang digunakan berkisar antara 0,1 s.d 0,2 mikron dan arah serat adalah lurus (0^0) dengan lapisan (*layer*) acak/random kontinyu.



Gambar 4.1. Serat Abaca

Urutan proses pembuatan komposit secara skematik ditunjukkan pada Gambar 4.2.

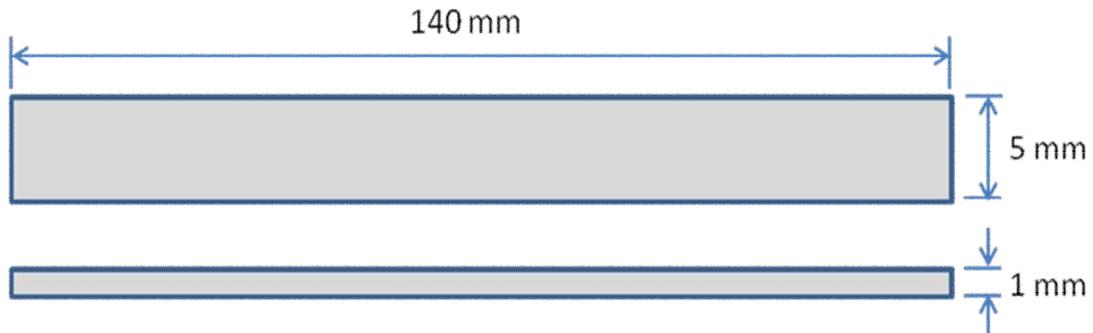


Gambar 4.2. Skematik proses pembuatan komposit

Variabel-variabel penting yang harus diformulasikan untuk menghasilkan material komposit yang optimal antara lain fraksi berat serat (V_f) serat, persentase larutan alkali dan lama perendaman. Pengujian tarik komposit menghasilkan data konstanta teknik berupa tegangan tarik (σ) dan modulus Young (E).

4.4.3. Pengujian komposit

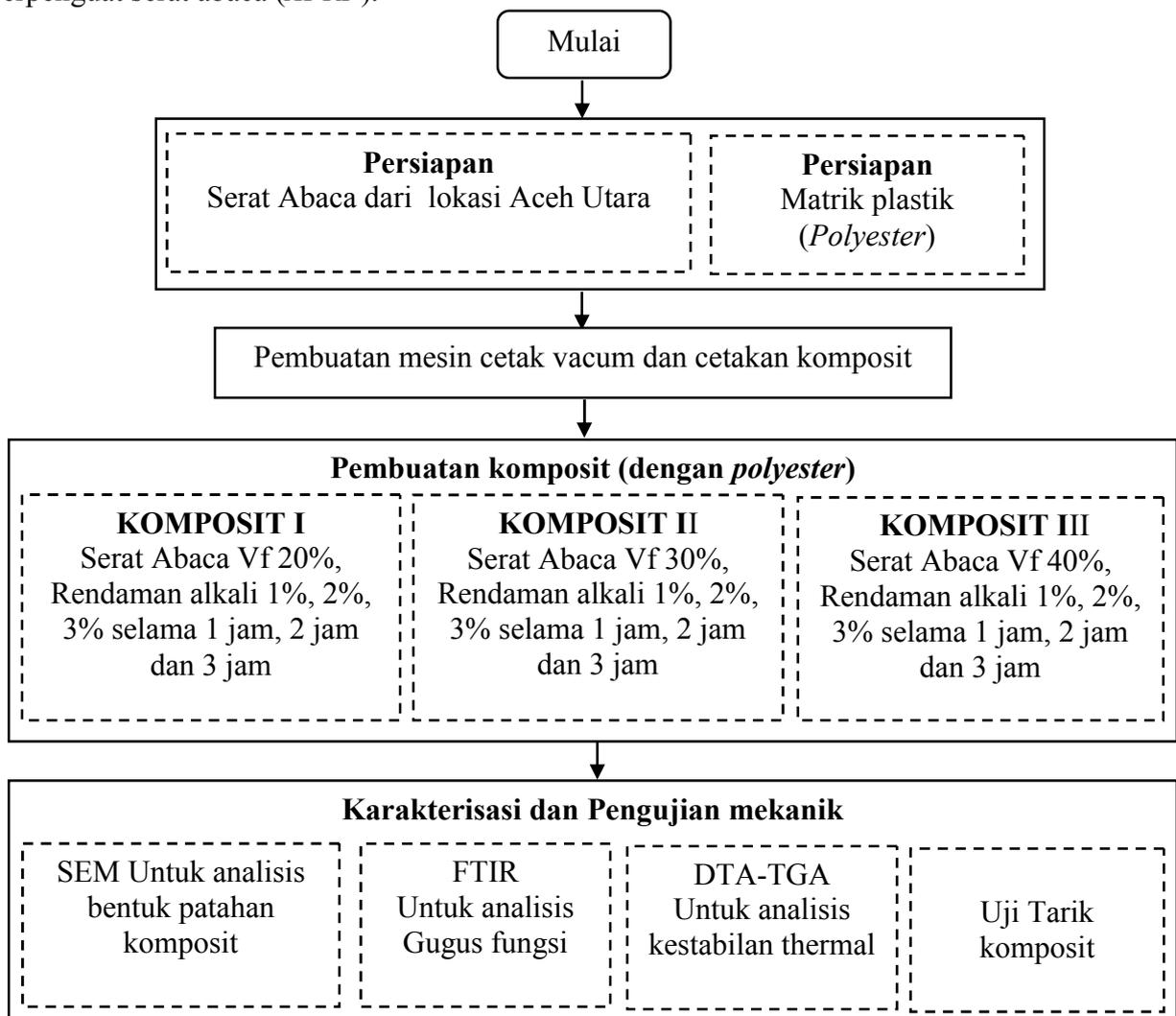
Pengujian komposit dilakukan dengan cara pengujian tarik yang dilakukan dengan dimensi spesimen gambar 4.3. Hasil pengujian tarik adalah kekuatan tarik (σ), modulus Young (E), dan regangan patah (τ) yang nantinya dianalisis untuk memperoleh karakteristik bahan.

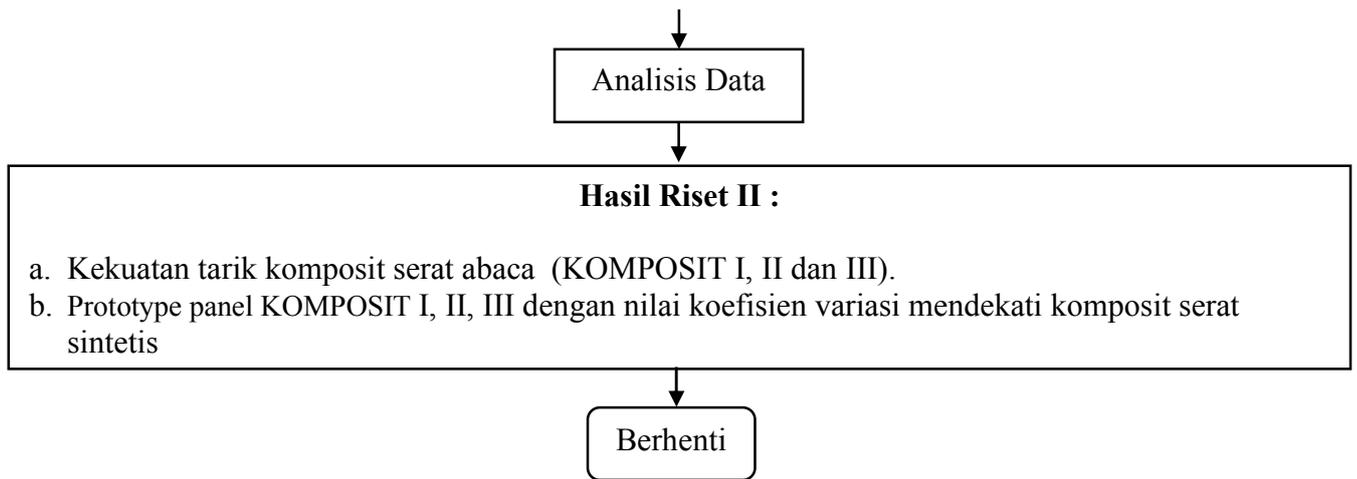


Gambar 4.3. Spesimen uji tarik komposit

4.4.4. Bagan alir penelitian

Penelitian ini difokuskan pada analisis scatter kekuatan tarik komposit plastik berpenguat serat abaca (*AFRP*).





Gambar 4.4. Bagan alir penelitian

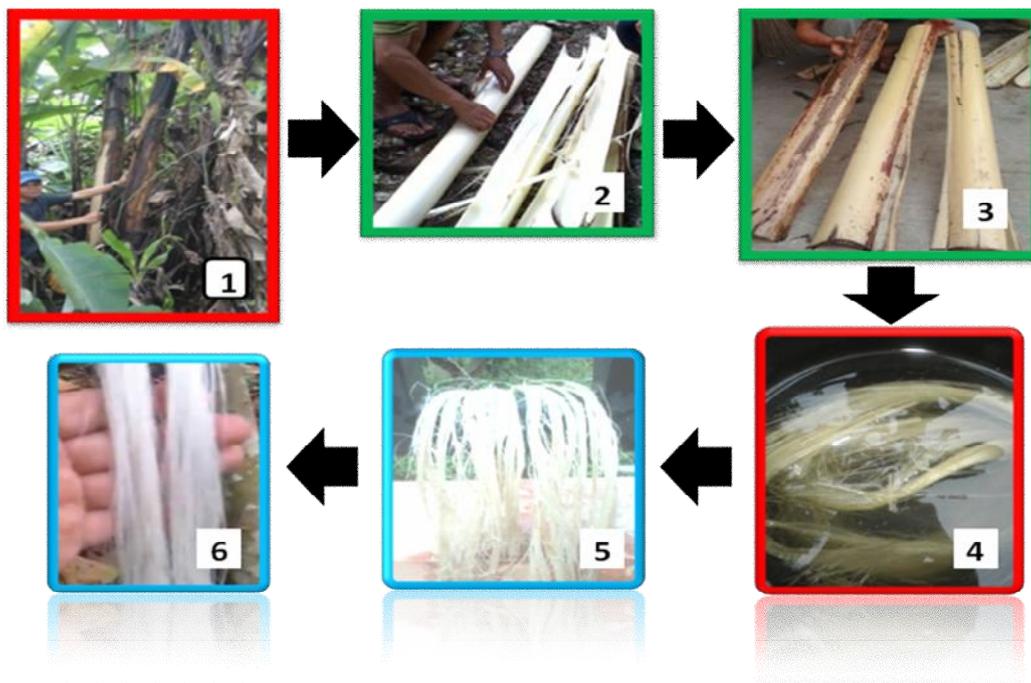
BAB 5 HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Penelitian ini dikhususkan untuk mengembangkan material baru *green material*, mencari komposisi yang tepat dan mendapatkan perilaku mekanik, yang diperoleh dari beberapa pengujian diantaranya : uji statik tarik, uji FTIR, uji DTA-TGA dan uji SEM (mikrostruktur).

Pengujian statik tarik dilakukan dengan *Tensile Testing Machine*. Fokus utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tarik (S_t) komposit dengan bentuk spesimen uji plat. Pengujian mikrostruktur (SEM) bertujuan untuk mendapatkan sebaran matrik dan serat yang terdapat di dalam komposit (*inter locking*).

5.1. Proses Pembuatan Serat Abaca.

Proses pembuatan serat abaca seperti yang di tunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1. Proses pembuatan Serat Abaca

Keterangan :

Batang Pisang Abaca yang terdapat di hutan (1) dipotong dengan ukuran panjang 1 meter. Potongan batang pisang kemudian dikupas kulit luarnya (2) beberapa lapis dan lapisan yang terdalam tidak diambil karena rapuh. Kemudian lapisan kulit terpilih (3) direndam dalam air berlimpur sekitar 2 minggu (4). Setelah terbentuk serat dibersihkan dengan air (5) dan dijemur di bawah sinar matahari sampai kering (6).

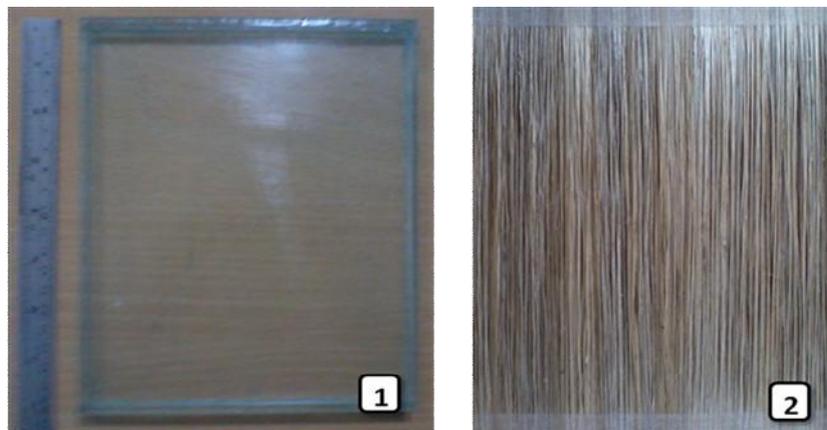
5.2. Proses Pembuatan Komposit.

Pembuatan komposit dilakukan dengan teknik vakum (*vacum assisted resin infusion*). Teknik ini menggunakan cetakan yang telah mengalami proses vakum. Sebelumnya cetakan kaca diisi dengan pre pegrasi kering dari serat abaca dengan orientasi arah sejajar (0°) dengan sisi panjang dari cetakan. Cetakan yang masing-masing berukuran $200 \times 150 \times 1$ (mm), cetakan terbuat dari plat kaca dengan ketebalan 5 mm dengan tujuan untuk mendapatkan hasil dari pengecoran yang berukuran tetap dan mudah untuk dibuka.



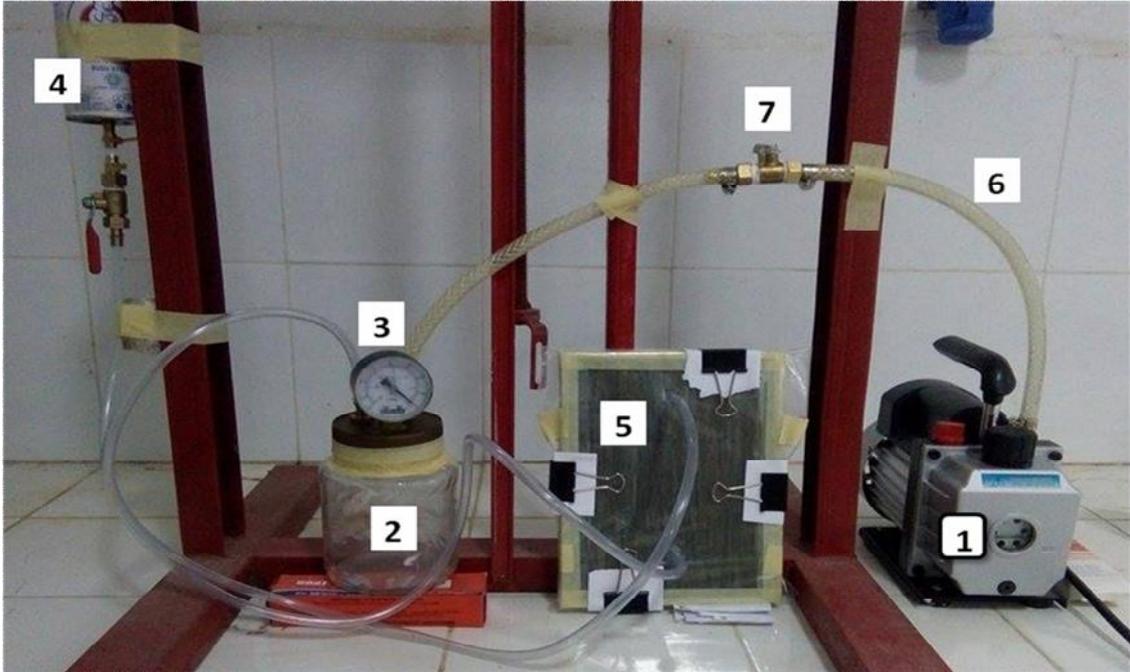
Gambar 5.2. Proses alkalisasi (1) dan Pemeriksaan kadar air (2).

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2, proses pembuatan komposit dimulai dari menimbang bahan sampai kepada pengecoran dalam cetakan vakum. Serat abaca yang akan digunakan sudah melalui perlakuan alkali dan pemeriksaan kandungan kadar air $<10\%$.



Gambar 5.3. Cetakan Kaca (1) dan Pre-preg serat abaca (2)

Proses pencampuran resin polyester dan katalis MEKPO dalam wadah resin pot yang diberi selang plastik terhubung ke cetakan kaca. Selanjutnya proses fabrikasi komposit dimulai dengan menghidupkan pompa vakum. Setelah cetakan mengalami vakum keran resin pot dibuka sehingga resin dapat mengalir ke dalam cetakan sampai merata, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.4.

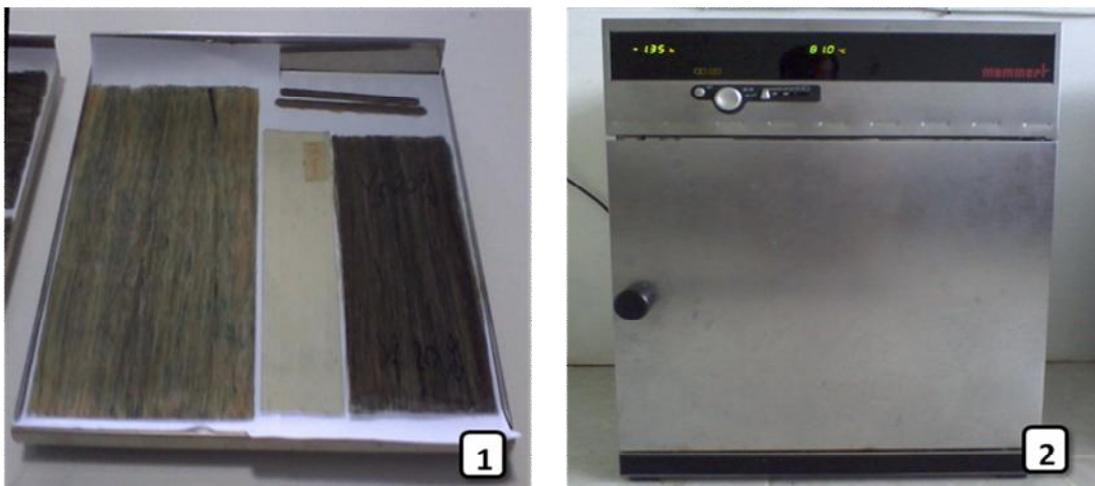


Gambar 5.4. Set up cetakan vakum

Keterangan :

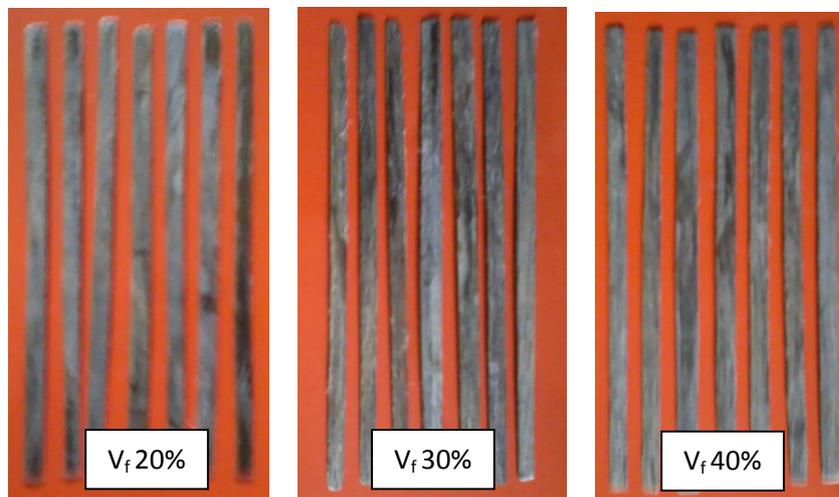
1. Pompa vakum (*vacuum pump*).
2. Perangkat resin (*resin cath pot*).
3. Meteran vakum (*vacuum gauge*).
4. Wadah resin (*resin pot*).
5. Cetakan kaca berisi serat.
6. Selang plastik (*hose*).
7. Klep (*valve*).

Setelah proses fabrikasi selesai dibiarkan selama 12 jam dan setelah itu cetakan dibuka untuk selanjutnya dilakukan pemanasan lanjut (*post curing*) komposit.



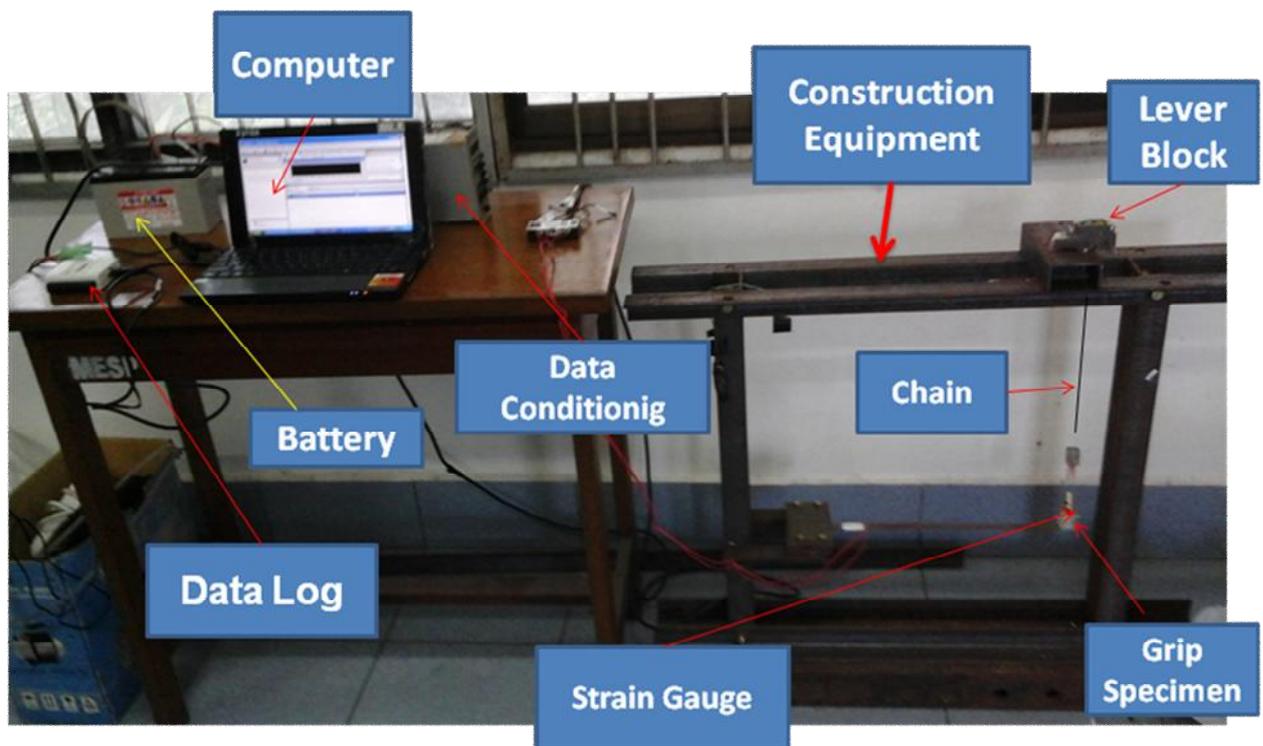
Gambar 5.5. Proses post curing

Post curing dilakukan dengan menggunakan oven pengering digital selama 2 jam pada suhu konstan 80°C. Kegunaan *post curing* untuk menghilangkan void yang terperangkap dalam komposit sehingga strukturnya lebih baik. Kemudian dibentuk spesimen-spesimen uji dari pelat komposit dengan ukuran : 140 mm x 5 mm x 1 mm.



Gambar 5.6. Spesimen uji tarik

5.3. Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Tarik



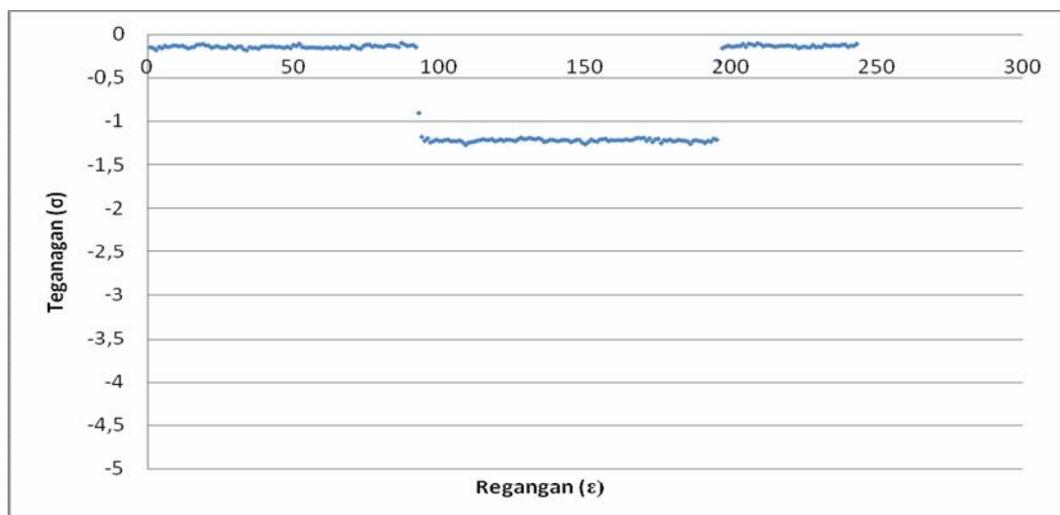
Gambar 5.7. Lay-out Alat uji tarik

Alat uji tarik komposit yang digunakan pada penelitian ini berkapasitas 750 kg dirancang dan diproduksi sendiri. Hal ini mengingat tidak tersedianya mesin uji tarik ditempat melakukan penelitian. Alat uji tarik ini terdiri dari rangka utama sebagai tempat peletakan peralatan pendukung. Penarik spesimen menggunakan lever block manual dengan kapasitas kerja 750 kg. Pemegang spesimen uji (Grip) dirancang menggunakan metode U-Link yang dapat berfungsi secara fleksibel untuk mereduksi pengaruh momen bengkok. Pemegang spesimen (grip) dilengkapi dengan sensor tegangan (*Strain gauge*). Sensor tegangan (*Strain gauge*) terhubung dengan sinyal conditioning yang berfungsi untuk menterjemahkan besaran tegangan menjadi data elektornik. Unit Sinyal conditioning selanjutnya terkoneksi dengan unit data logger. Pada fase ini data yang ada pada Unit Sinyal conditioning ditransfer oleh data logger ke komputer menggunakan software National Express. Dari layar komputer dapat terlihat dan diplot data uji tarik beserta grafiknya.

5.4. Kalibrasi Alat Uji Tarik

Kalibrasi alat uji tarik perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja dari komponen-komponen alat uji, seperti besar tahanan yang digunakan, *gauge factor* dan kondisi unit Sinyal conditioning. Data kalibrasi diambil pada saat unit Sinyal conditioning dan unit data logger terhubung dengan komputer.

Kalibrasi respon gelombang pada input dilakukan dari jarak terkecil sampai tertinggi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui respon gelombang pada input yang diterima oleh *strain gauge* adalah konstan seiring dengan bertambahnya beban tarik. Pada proses kalibrasi akan dilakukan pengumpanan pada unit Sinyal conditioning sebesar 1000 μ strain yang setara dengan 1,2 Volt tegangan.



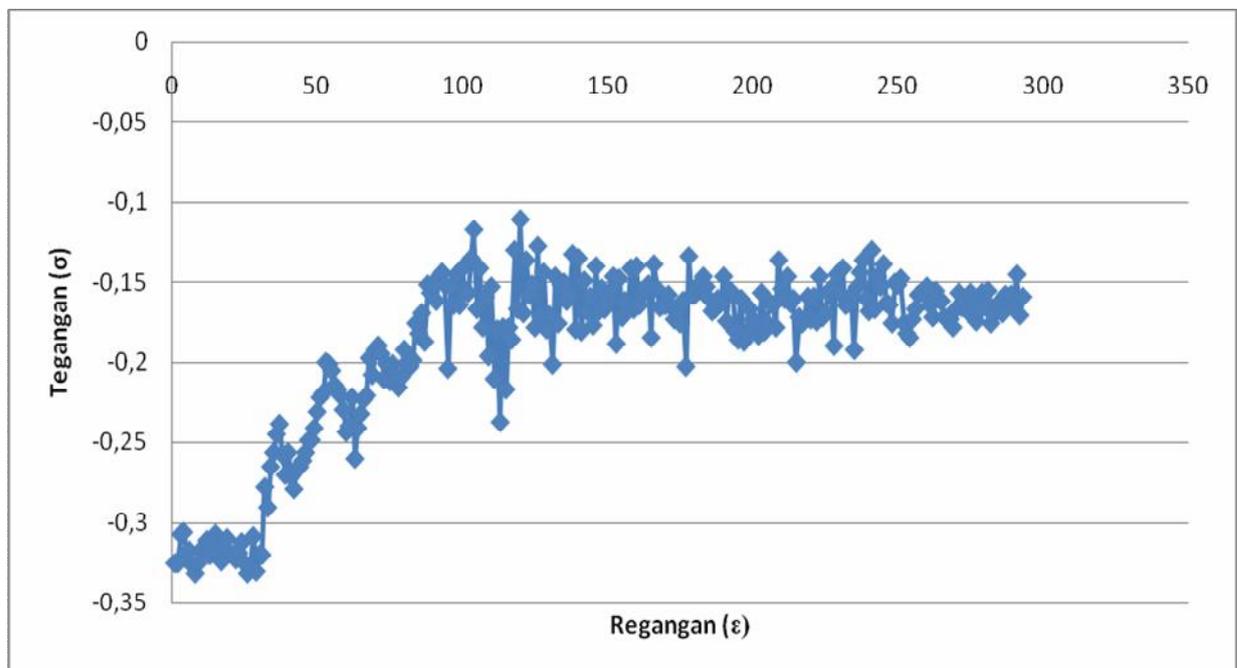
Gambar 5.8. Kurva kalibrasi Alat uji tarik

5.5. Pengujian Statik Tarik

Karakteristik mekanik komposit adalah kemampuan material dalam menerima beban sampai material tersebut mengalami kegagalan. Kekuatan material terhadap beban statik diperoleh dengan pengujian statik tarik. Hasil pengujian tarik adalah kekuatan statik tarik (S_t) dan nilai Modulus Elastisitas (E). Kuat statik tarik merupakan nilai tegangan maksimum yang diterima oleh spesimen sampai spesimen terjadi kegagalan. Sedangkan modulus elastisitas adalah hasil bagi antara tegangan dan regangan. *Set-up* pengujian tarik dan hasil uji spesimen diperlihatkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.9. *Setup* pengujian tarik dan hasil uji



Gambar 5.10. Kurva tegangan (σ) regangan (ϵ) uji tarik komposit

Spesimen uji tarik yang dilakukan diambil dari kelompok spesimen I katagori 20% Vf mengalami perendaman dalam larutan alkali 5% selama 2 jam sebanyak 1 spesimen. Dari data

hasil uji tarik dapat diketahui bahwa regangan yang terjadi adalah sebesar 166,7 mikro strain setara dengan 0,2 Voltage.

Luas penampang batang tembaga (*load cell*) pada grip spesimen adalah 11 mm x 2 mm sama dengan 22 mm² (22 x 10⁻⁶ m²). Besarnya gaya (F) yang terjadi pada load cell tembaga adalah :

$$F_{cu} = \varepsilon \times E_{cu} \times A_{cu}$$

$$F_{cu} = (166,7 \times 10^{-6}) \times (110 \times 10^9 \text{ Pa}) \times (22 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

$$F_{cu} = 403,41 \text{ N}$$

Sehingga besarnya tegangan tarik yang terjadi pada spesimen kelompok I katagori 20% Vf mengalami perendaman dalam larutan alkali 5% selama 2 jam adalah :

$$\sigma_s = F_{cu}/A_s$$

$$\sigma_s = 403,41 \text{ N}/(5 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

$$\sigma_s = 80,68 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = 80,68 \text{ Mpa}$$

5.6. Hasil dan Diskusi

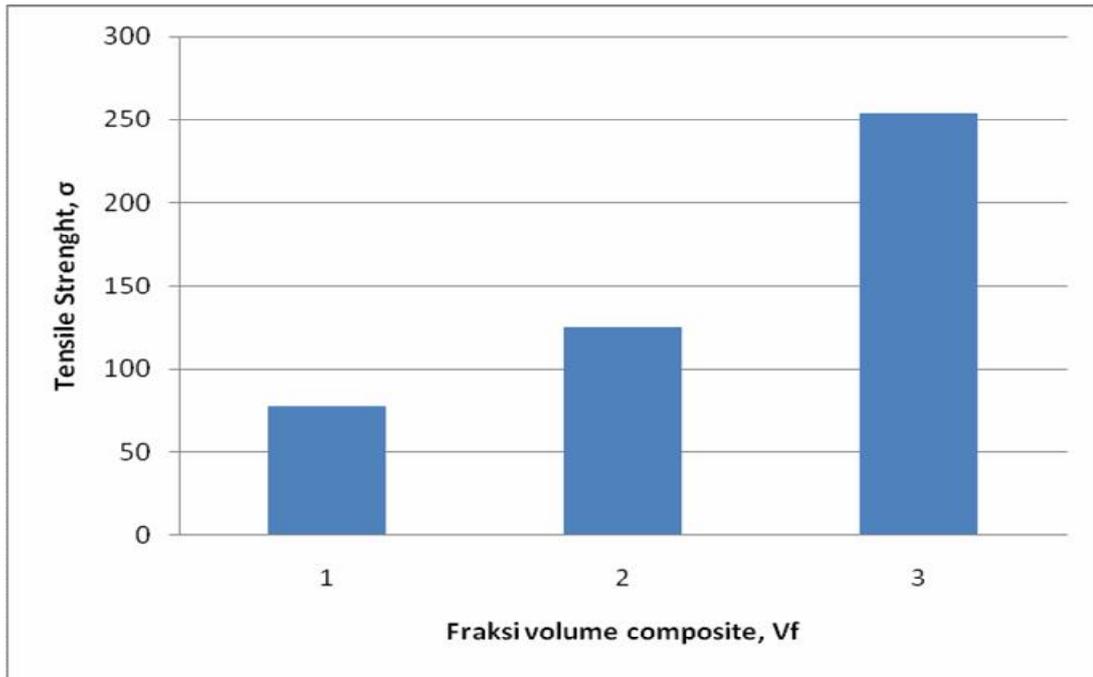
5.6.1. Sifat Tarik Komposit AFRP

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 1, kekuatan dan regangan tarik yang paling optimum dimiliki oleh bahan komposit AFRP dengan fraksi volume 40%. Modulus elastisitas komposit semakin meningkat seiring dengan penambahan fraksi serat.

Tabel 5.1. Sifat tarik komposit AFRP.

Fraksi Volume (V _f)	Tegangan Tarik (Mpa)
20%	78
30%	125
40%	254

Komposit AFRP memiliki kekuatan tarik tertinggi pada komposisi 40% V_f perlakuan 5% NaOH serat selama 2 jam, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi 40% V_f tersebut merupakan nilai kekuatan tarik yang paling tinggi (270 Mpa). Gambar 7. Histogram tensile strenght vs fraksi volume komposit.



Gambar 5.11. Histogram tensile strenght vs fraksi volume komposit.

5.6.2. Penampang Patahan

Mengacu pada standar ASTM D-3039 tentang jenis-jenis patahan, maka patahan komposit AFRP tanpa perlakuan dan dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam, dapat diklasifikasikan sebagai jenis patahan banyak (*splitting in multiple area*), seperti pada Gambar 8, 9 dan 10. Kegagalan terjadi pada area yang luas di permukaan spesimen. Umumnya, komposit yang memiliki patahan jenis ini memiliki kekuatan tarik tinggi. Berdasarkan analisis dari fotomakro maka dapat dikatakan bahwa kompatibilitas ikatan antara serat abaca dan matrik *unsaturated polyester* memiliki ikatan yang baik.



Gambar 5.12. Patahan Komposit AFRP V_f 20%.



Gambar 5.13. Patahan Komposit AFRP V_f 30%.



Gambar 5.14. Patahan Komposit AFRP V_f 40%.

5.6.3. Komparasi dengan Riset Sebelumnya

Analisis komparasi hasil eksperimen dengan hasil riset sebelumnya yang dihasilkan oleh (Bledzki dkk , 2007) menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit serat abaca V_f 50% menggunakan metode *hand lay up* sebesar 50 Mpa. Perbedaan nilai kekuatan tarik ini dapat dikatakan signifikan. Faktor-faktor lain yang menjadikan ketidakakuratan kekuatan komposit serat kontinyu adalah kesulitan mengatur serat kontinyu tetap lurus selama proses pencetakan. Berdasarkan hasil analisis tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan serat abaca sebagai penguat bahan komposit memiliki potensi yang cukup besar untuk diaplikasikan sebagai material struktural.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Metode fabrikasi komposit menggunakan VARI menghasilkan kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Hand lay-up* dan *Press Molding*. Metode VARI dapat mereduksi kandungan rongga udara (*air bubble*) dalam komposit.
2. Komposit yang diperkuat serat abaca dengan V_f 40% memiliki kekuatan tarik dan regangan terbesar, yaitu $\sigma = 254,8$ MPa dan $\varepsilon = 0.32\%$.
3. Patahan komposit AFRP dapat diklasifikasikan sebagai jenis patah banyak (*splitting in multiple area*) dan mengindikasikan tanpa adanya *fiber pull out*.

6.2. Saran

Hasil penelitian ini masih perlu perbaikan dan penyempurnaan serta beberapa saran penulis sampaikan :

1. Perlu dikembangkan metode untuk mengatasi kesulitan dalam mengatur serat kontinyu tetap lurus selama proses pencetakan VARI.
2. Serat yang digunakan sebagai penguat komposit masih bercampur antara yang kuat (kualitas baik) dengan yang lemah (kualitas buruk). Untuk mengatasi masalah ini perlu dikembangkan teknik pemisahan serat yang kualitas baik (*development of screening test*) sehingga menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mueller, D. H. and 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, 2003.
- [2]. Mohanty, A.K. et.al., 2005, *Natural Fibers, Biopolymers And Biocomposite : An Introduction*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, USA.
- [3]. M. E. A. Fidelis, et.al., 2013, *The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers*, Journal of Materials Research and Technology 2-2 pp.149-157.
- [4]. R. Joffe, et.al., 2009, *Applicability of weibull strength distribution for cellulose fibers with highly non-linear behavior*, Proceedings of 17th International Conference on Composite Materials ; 27 Jul 2009 - 31 Jul 2009, Edinburgh, UK
- [5]. Y. Fukumoto, 1987, *Guidelines for stability design of steel structure*, Subcommittee on stability design committee on steel structures, Japan society of civil engineers, Tokyo Japan, October, pp.37-76.
- [6]. F. Wang and J. Shao, 2014, *Modified Weibull distribution for analyzing the tensile strength of bamboo fibers*, Journal of Polymers, 6, pp.3005-3018.
- [7]. Antonio R. & Elizabeth P. Sievert, 2009, *The Story of Abaca*, Ateneo de Manila University Press.
- [8]. K. Vijayalakshmi, et.al., 2014, *Abaca Fiber*, Journal of Transactions on Engineering and Sciences, Vol.2, Issue : 9 September 2014.
- [9]. Satyanarayana, K. G., et.al., 1990, *Natural Fiber-polymer Composites*, Journal of Cement and Concrete Composites, 12: 117_136.
- [10] Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat, 2016, *Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat di Perguruan Tinggi*, Edisi X, Kemenristek Dikti, Jakarta.
- [11] Schwartz, M.M., 1984, *Composite Materials Handbook*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- [12] Feldman, D., 1989., *Polymeric Building Materials*, Published :Routledge; 1st edition, ISBN-13: 978-1851662692, Taylor & Francis Group.
- [13] Kavelin, K.G., 2005. *Investigation of Natural Fiber Composites heterogeneity with respect to automotive structure*. Thesis for degree of doctor at Delfi University of Technology, Netherland.
- [14] Mueller, D.H., Krobjilowski, A., 2003. *New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fibers*. Journal of Industrial Textiles, Vol. 33, No. 2 October 2003 1111528-0837/03/02 0111-20 \$10.00/0 DOI : 10.1177/ 152808303039248_2003 Sage Publications.
- [15] R. Joffe, J. Andersons and E. Spārniņš, *Applicability of weibull strength distribution for cellulose fibers with highly non-linear behavior*, Proceedings of 17th International Conference on Composite Materials ; 27 Jul 2009 - 31 Jul 2009, Edinburgh, UK.

- [16] F. E. Gunawan, H. Homma, S. S. Brodjonegoro, A. B, B. Hudin, and A. B. Zainuddin, Mechanical properties of oil palm empty fruit bunch fiber, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, 3-7, pp.943-951 2009
- [17] H. Lilholt, and J. M. Lawther, Natural Organic Fibers, *Comprehensive Composite Materials*, Vol. 1, PP.303-325, 2000.
- [18] Pfaller . R., et.al., 2012, *Investigation on Scatter of Composite in Comparison with Metallic Materials*, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, DocumentID: 281342.
- [19] Ulrich Andreas Mortensen and BoMadsen, 2014, *Protocol for Quantification of Defects in Natural Fibres for Composites*, *Journal of Textiles*, Volume 2014, Article ID 929875, 9 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/929875>, Hindawi Publishing Corporation.
- [20] Prasanna Kumar Ilankeeran, et.al., 21012, Axial Tensile Testing of Single Fibres, *Modern Mechanical Engineering*, 2012, 2, 151-156, (<http://www.SciRP.org/journal/mme>).
- [21] Omar Faruk, et.al., 2012, *Biocomposites reinforced with natural fibers : 2000-2010*, *Journal of Progress in Polymer Science*, SciVerse ScienceDirect.
- [22] Ke Liu, et.al., 2013, *Dependence of tensile properties of abaca fiber fragments and its unidirectional composites on the fragment height in the fiber stem*, *Journal of Composites: Part A*, SciVerse ScienceDirect.
- [23] Sevgi Hoyur and Kerim Cetinkaya, 2012, *Production of banana/glass fiber bio-composite profile and its bending strength*, *Usak University Journal of Material Sciences* (2012) 43-49.
- [24] Samson Rwawiire, et.al., 2015, *Development of a biocomposite based on green epoxy polymer and natural cellulose fabric (bark cloth) for automotive instrument panel application*, *Journal of Composites: Part B*, SciVerse ScienceDirect.
- [25] Arthanarieswaran, et.al., 2014, *Evaluation of mechanical properties of banana and sisal fiber reinforced epoxy composites : Influence of glass fiber hybridization*, *Journal of Materials and Design*, ScienceDirect.