

**PENGARUH VARIASI *PRE-TENSION* DUA ARAH PADA *REINFORCEMENT*
FIBER PANEL KOMPOSIT *VINYLESTER* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN
*IMPACT***

SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADI SUCIPTO ROSO
NIM. 105060207111045

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI *PRE-TENSION* DUA ARAH PADA
REINFORCEMENT FIBER PANEL KOMPOSIT VINYLESTER
TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN *IMPACT***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADI SUCIPTO ROZO
NIM. 105060207111045

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 15 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE
NIP. 19670923 199303 1 002

Prof. Dr. Ir. Rudy Seonoko, M. Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Mengetahui
Ketua Program Studi

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

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI *PRE-TENSION* DUA ARAH PADA *REINFORCEMENT FIBER* PANEL KOMPOSIT *VINYLESTER* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN *IMPACT*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ADI SUCIPTO ROSO
NIM. 105060207111045

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 15 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

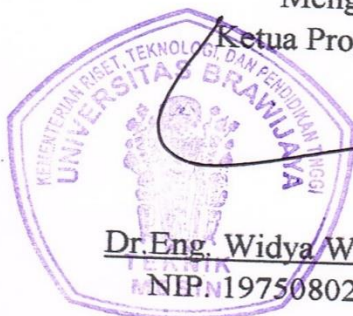
Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE
NIP. 19670923 199303 1 002

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Rudy Seonoko, M. Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Mengetahui

Ketua Program Studi



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

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Juli 2016

Mahasiswa,

Adi Sucipto Roso
NIM. 105060207111045



JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH VARIASI PRE-TENSION DUA ARAH PADA REINFORCEMENT FIBER
PANEL KOMPOSIT VINYLESTER TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN IMPACT

Nama Mahasiswa : Adi Sucipto Roso
NIM : 105060207111045
Program Studi : Teknik Mesin
Konsentrasi : Teknik Produksi

KOMISI PEMBIMBING :

Dosen Pembimbing I : Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE
Dosen Pembimbing II : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Ir. Suharto, MT.
Dosen Penguji 2 : Ir. Erwin Sulisty, MT.
Dosen Penguji 3 : Purnami, ST., MT.

Tanggal Ujian : 21 Juli 2016

SK Penguji : 871/UN10.6/SK/2016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada Orang Tua Tercinta,
Ibu Titik Juwariah dan Bapak Supriyanto*



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan skripsi yang dengan judul **“PENGARUH VARIASI *PRE-TENSION* DUA ARAH PADA *REINFORCEMENT FIBER* PANEL KOMPOSIT *VINYLESTER* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN *IMPACT*”**.

Skripsi merupakan salah satu mata kuliah wajib yang menjadi persyaratan untuk dapat menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya. Diharapkan nantinya dari skripsi ini mahasiswa yang bersangkutan dapat menerapkan hal-hal yang didapat di perkuliahan ke dalam kondisi lapangan yang sebenarnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segenap ketulusan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., Dr.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST.,MT. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Ibu Widya Wijayanti, ST., MT., Dr. Eng. Selaku Kepala Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE. Selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Produksi sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan ilmu yang bermanfaat selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko M. Eng. Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan ilmu yang bermanfaat selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Mesin.
7. Orang tua tercinta Bapak Supriyanto dan Ibu Titik Juwariah, yang telah memberikan dukungan penuh serta memanjatkan do'a kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
8. Keluarga Besar Laboratorium Pengujian Bahan, Ir. Erwin Sulisty, MT. Selaku kepala Laboratorium. Bapak Suhastomo selaku Laboran. Rekan-rekan asisten: Oye,

- Andi, Alfredo, dan asisten yang lain terima kasih atas masukan-masukan yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Bapak Karyadi selaku Laboran Laboratorium Struktur Teknik Sipil UM dan Aziz selaku asisten yang telah membantu pengambilan data untuk menyelesaikan skripsi.
 10. Bapak Djupriadi, Ibu Sunarti, Ir. Hidayat Darminto, drg Nurul Rahmadiati yang tiada henti mendoakan, memberikan dukungan, dan motivasi.
 11. Keluarga kos tirto utomo(Bu Wahab, Joko, Ale, Bulug, Andro, Jal, Samid, Dede, Sinyo, Farhan, Salman, Opick, Be abe, Tole, Teleh, Ahong, Cukris). Keluarga kontrakan candi agung(Abang ndut, Fetra, Hano, Surip, Kome)yang selalu memberikan dukungan dan doa.
 12. KBMM, Keluarga Divisi Otomotif(mas – mas senior, Gendut, Itam, Belut, Kupin, dan adik–adik junior), Keluarga IMMORTAL M’10(Fajar, Bojong, Bote, Kukuh, Tum, Marbot, Basori, Pace, Pepeng, Mbah ginuk, Tejo, Mervin, Adam, Kumis, Cingga, Soni, Jember, Ody, Josep, Nyoman, Lova, Hamid, Raka, Crut, Petrik, Prabu, Gedebus, SIRRUN, Bowek, Pantek, Jamet, Jainal, Amril, Kikil, Darmo, Anong, Kuro, Tunggul, Tile, Basori, Dadang, Ngak, Yamin, Lepo, Usmen, Codet dan lainnya), Keluarga Permata Jingga(Dobil, Drembes, Eweng, Jiban, Lubib, Mamat, Oye, Mbah rid, Ricat), orang tersayang(Bawel, Nabila, Imi, Gina, Nanda, Dewi, Vida, Febi, Jamila, Mia, Inka, Eni, Siska, Ust Ridho, Gepeng, Didik, Agus) yang telah memberikan semangat, dukungan serta bantuan dalam berbagai hal kepada penulis sehingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Kritik dan saran yang bersifat membangun, penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini dan terlepas dari segala kekurangan yang ada, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Malang , Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 Material Komposit	4
2.2.1 Material Penyusun Komposit	5
2.2.2 Kegunaan Bahan Komposit	5
2.2.3 Klasifikasi Komposit	6
2.2.3.1 Klasifikasi berdasarkan matrik	6
2.2.3.2 Klasifikasi berdasarkan penguatnya	7
2.3 Serat Gelas	8
2.4 <i>Vinylester</i> / Ripoxy™ R-802EX	11
2.5 <i>Residual Stress</i> (Tegangan Sisa)	14
2.6 Metode Pembuatan Komposit	15
2.7 <i>Rule Of Mixtures</i>	18
2.8 Pengujian Tarik	19
2.9 Pengujian <i>Impact</i>	21
2.10 Hipotesis	23



BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian	24
3.3 Variabel Penelitian.....	24
3.3.1 Variabel Bebas	24
3.3.2 Variabel Terikat	24
3.3.3 Variabel Terkontrol.....	24
3.4 Alat dan Bahan	25
3.4.1 Peralatan yang digunakan	25
3.4.2 Bahan yang Digunakan.....	30
3.5 Prosedur Pembuatan Spesimen.....	31
3.6 Rancangan Penelitian.....	32
3.7 Pengolahan Data	33
3.7.1 Analisis varian satu arah.....	33
3.7.2 Standar Deviasi	34
3.8 Diagram Alir Penelitian	36
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data Hasil Pengujian	37
4.2 Pengolahan Data	40
4.2.1 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Tarik.....	40
4.2.2 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan <i>Impact</i>	41
4.2.3 Standar Deviasi	42
4.3 Pembahasan	45
4.3.1 Grafik Hubungan Antara <i>Pre Tension</i> Terhadap Kekuatan Tarik.....	45
4.3.2 Grafik Hubungan Antara <i>Pre Tension</i> Terhadap Kekuatan <i>Impact</i>	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat mekanik dari serat E-Glass	10
Tabel 2.2	Sifat-sifat serat gelas.....	10
Tabel 2.3	Perbandingan karakteristik ripoxy™ dengan epoxy resin dan unsaturated polyester resins	11
Tabel 2.4	Grades and Respective characteristics of Ripoxy™ R-802EX	12
Tabel 2.5	Properties of Cured Ripoxy™ R-802EX.....	12
Tabel 2.6	Physical properties of cured resins	13
Tabel 3.1	Rancangan perlakuan percobaan untuk kekuatan tarik	32
Tabel 3.2	Rancangan perlakuan percobaan untuk kekuatan impact.....	33
Tabel 3.3	Analisis varian satu arah.....	34
Tabel 3.4	Rancangan standar deviasi pengukuran jarak patahan	35
Tabel 4.1	Hasil perhitungan tegangan teoritis spesimen uji tarik arah <i>transversal</i>	37
Tabel 4.2	Hasil perhitungan tegangan teoritis spesimen uji tarik arah <i>longitudinal</i>	37
Tabel 4.3	Data kekuatan tarik.....	38
Tabel 4.4	Hasil perhitungan tegangan teoritis arah <i>transversal</i> spesimen uji <i>impact</i>	39
Tabel 4.5	Hasil perhitungan tegangan teoritis arah longitudinal spesimen uji <i>impact</i>	39
Tabel 4.6	Data kekuatan impact	40
Tabel 4.7	Analisis varian satu arah uji tarik	41
Tabel 4.8	Analisis varian satu arah uji impact.....	42
Tabel 4.9	Standar deviasi pengukuran jarak patahan tarik	43
Tabel 4.10	Standar deviasi pengukuran jarak patahan impact	44

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Woven Roving</i>	8
Gambar 2.2	<i>Chop Strand Mat</i>	9
Gambar 2.3	Skema prinsip pemberian prestress pada serat.....	14
Gambar 2.4	Distribusi Tegangan pada Material.....	15
Gambar 2.5	Metode <i>Hand Lay Up</i>	16
Gambar 2.6	Metode <i>Spray Up</i>	17
Gambar 2.7	Metode <i>Injection Molding</i>	18
Gambar 2.8	Pengujian kekuatan tarik.....	19
Gambar 2.9	<i>Tensile stress-strain curves of polymer matrix composite material</i>	21
Gambar 2.10	Ilustrasi skematis pengujian <i>impact</i> dengan benda uji <i>Charpy</i>	22
Gambar 3.1	Instalasi <i>pre tension</i>	25
Gambar 3.2	Cetakan spesimen tarik.....	25
Gambar 3.3	Cetakan spesimen <i>impact</i>	26
Gambar 3.4	Neraca pegas.....	26
Gambar 3.5	Gelas ukur.....	26
Gambar 3.6	Pipet ukur.....	27
Gambar 3.7	Peralatan pendukung pembuatan spesimen.....	27
Gambar 3.8	<i>Universal testing machine</i>	28
Gambar 3.9	<i>Charpy Impact Non – Ferrous (Time Testing Machine XJJ-5)</i>	28
Gambar 3.10	Jangka sorong.....	29
Gambar 3.11	Strain gauge.....	29
Gambar 3.12	Ripoxy™ R-802EX.....	30
Gambar 3.13	Promoter-EX.....	30
Gambar 3.14	MEKPO.....	31
Gambar 3.15	E-glass Taiwan glass <i>woven roving</i> 800gr/m2.....	31
Gambar 3.16	Titik tengah patahan spesimen.....	36
Gambar 4.1	Tahap pengukuran luas penampang serat (a) arah <i>longitudinal</i> (b) arah <i>transversal</i>	38
Gambar 4.2	Hasil spesimen uji tarik.....	38
Gambar 4.3	Hasil spesimen uji <i>impact</i>	39
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara <i>pre tension</i> terhadap kekuatan tarik.....	45

Gambar 4.5 Grafik hubungan antara *pre tension* terhadap kekuatan *impact*..... 46



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Data Pengujian Tarik
Lampiran 2.	Data Pengujian <i>Impact</i>
Lampiran 3.	F tabel



RINGKASAN

Adi Sucipto Roso, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2016, pengaruh variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* terhadap kekuatan tarik dan *impact*, Dosen Pembimbing: Tjuk Oerbandono dan Rudy Soenoko.

Perkembangan teknologi material komposit semakin pesat. Rekayasa material komposit diharapkan meningkatkan sifat mekanik material. Pemberian tegangan mula dua arah pada serat penguat (*reinforcement fiber*) dari bahan komposit untuk mengetahui pengaruh *pre-tension* dua arah komposit *vinylester* terhadap kekuatan tarik dan *impact* bahan komposit tersebut.

Pada penelitian ini dilakukan variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester*. Material komposit disusun oleh serat *E-glass (Woven roving)* dan resin *vinylester*. Dengan variasi *tension* sebesar 0 N, 10 N, 20 N, 30 N, 40 N. Pembuatan bahan komposit menggunakan metode *hand lay-up*. Pengujian tarik menggunakan *universal testing machine* dengan berdasarkan acuan standar ASTM D 3039 dan pengujian *impact* menggunakan *Charpy Impact Non – Ferrous* berdasarkan standar ASTM D 6110-04. Penarikan serat penguat (*reinforcement fiber*) dilakukan dalam batas elastis serat menggunakan neraca pegas. Cetakan spesimen dipasang di instalasi alat *pre-tension*, setelah itu proses penuangan campuran resin dan katalis ke dalam cetakan. Penuangan dilakukan berulang-ulang sampai cetakan penuh pada suhu ruang. Spesimen uji tarik dan *impact* dibedakan berdasarkan bentuk cetakan. Penarikan serat dilepas ketika spesimen kering dilanjutkan inspeksi secara visual untuk memisah spesimen yang cacat dan spesimen yang siap untuk di uji.

Dari hasil pengujian dan analisis data didapatkan bahwa variasi *pre-tension* yang diterapkan pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* mempengaruhi kekuatan tarik dan *impact* komposit. Kekuatan tarik dan *impact* pada panel komposit *vinylester reinforcement fiber* mengalami peningkatan seiring meningkatnya *pre-tension* yang diberikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik komposit maksimum yaitu $142,22 \text{ N/mm}^2$ terdapat pada *tension* 40 N dan kekuatan *impact* tertinggi $3,72 \text{ J/mm}^2$ pada *tension* 40 N.

Kata kunci : komposit, serat *E-glass*, *vinylester*, *pre-tension*, kekuatan tarik, kekuatan *impact*.

SUMMARY

Adi Sucipto Roso, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, August 2016, *The Effect of Two Directions Pre-Tension in Reinforcement Fiber Panel Vinylester Composite to Tensile and Impact Strength*, Academic Supervisor : Tjuk Oerbandono and Rudi Soenoko.

The development of composite materials technology more rapidly. Engineered composite materials are expected to improve the mechanical properties of the material. Giving the starting stress in two directions at reinforcing fibers of the composite materials to determine the effect of two directions pre-tension vinylester composite tensile strength and impact of the composite material.

In this research, pre-tension variations in in two directions at fiber reinforcement vinylester composite panel. The composite material was developed by E-glass fiber (Woven Roving) and vinylester resin. With tension variations at 0 N, 10 N, 20 N, 30 N, 40 N. Manufacture of composite materials using hand lay-up methods. Tensile test using a universal testing machine with a standard reference based on ASTM D 3039 and using Charpy impact test Impact of Non - Ferrous based on standard ASTM D 6110-04. Pulling on reinforcing fibers made within the elastic fibers using a spring balance. Moulds specimen mounted on the installation of pre-tension tool, after which the process of pouring a mixture of resin and catalyst into the mold. Pouring is done repeatedly until the mold is full at room temperature. Tensile and impact test specimens are distinguished based on the shape of the mold. Pulling on fiber removed when dry specimens continued visual inspection to separate defective specimens and specimens that are ready to be tested.

From the results of the testing and data analysis found that the variation of pre-tension applied to the fiber reinforcement vinylester composite panel affect tensile and impact strength composite. The tensile strength and impact on vinylester composite panel reinforcement fiber increased with increasing pre-tension given. The test results showed that the maximum value of the tensile strength composite is 142.22 N / mm² are in tension of 40 N and highest impact strength of 3.72 J / mm² at a tension of 40 N.

Keywords: composites, E-glass fibers, vinyl ester, Pretension, tensile strength, impact strength.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin meningkatnya perkembangan teknologi modern mengakibatkan kebutuhan penelitian dan pengembangan di berbagai bidang semakin meningkat pesat, terutama di bidang material. Hal yang mendasari perkembangan teknologi adalah semakin dibutuhkannya material baru untuk menunjang bidang industri. Pengembangan material difokuskan pada komposit, karena dengan sumberdaya (*resources*) yang terbatas, material komposit diharapkan dapat meningkatkan sifat material.

Industri transportasi di Amerika mengkonsumsi 1,3 milyar pound komposit pada tahun 1995 (Autar, 2006). Sementara di Indonesia masih pada tahap pengembangan material komposit. Sulit untuk menemukan industri apapun yang tidak memanfaatkan bahan komposit. Dalam dekade terakhir, beberapa teknologi manufaktur maju dan sistem material telah dikembangkan untuk memenuhi persyaratan dari berbagai kebutuhan segmen pasar. Penggunaan material komposit dalam jumlah besar dapat dikaitkan dengan penurunan biaya serat, serta pengembangan teknik otomatisasi dan metode produksi dalam jumlah besar.

Saat ini bahan yang banyak menjadi obyek penelitian adalah beberapa jenis plastik seperti *polyetilen*, *polypropylene*, LDPE, PVC dan lainnya. Dengan merekayasa sifat bahan dasar yang mampu menjadikan bahan tersebut menjadi bahan baku yang lebih unggul dari masing-masing elemen penyusun. Dengan kemajuan dibidang komposit ini, maka terbuka peluang untuk membuka bahan-bahan baru, survei mencakup komoditi plastik volume besar, plastik murah dan plastik untuk rekayasa serta plastik modern. Termoplastik yang mendominasi pasaran (misalnya: PE, PVC, dan PP) pengembangan tipe plastik yang sama sekali baru sangat mahal. [Asrori,2000:06].

Berawal dari inspirasi metode pra tegang yang diaplikasikan terhadap material beton, maka diteliti pemberian tegangan mula pada *reinforcement fiber* panel komposit. Dengan memvariasikan kekencangan mula (*pre-tension*) yang diberikan, dapat diketahui apakah penarikan mula pada *reinforcement fiber* panel komposit berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan *impact* material komposit tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah, maka dirumuskan permasalahan yang di teliti adalah "bagaimanakah pengaruh variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* terhadap kekuatan tarik dan *impact*".

1.3. Batasan Masalah

1. Jenis serat yang digunakan adalah *E-glass (Woven roving)* 800gr/m².
2. Jenis *resin vinylester / ripoxy™ R-802EX*
3. Pemberian *tension* arah *transversal* dan *longitudinal* dari bentuk spesimen pada setiap variasi pembebanan.
4. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin menurut standar ASTM D 3039 dan pengujian *impact* menurut standar ASTM D 6110-04.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *pre-tension* saat proses pembentukan *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* terhadap kekuatan tarik dan *impact*.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan teknologi pembuatan material komposit dimasa mendatang
2. Tambahan pengetahuan yang nyata mengenai bahan komposit polimer vinylester bagi peneliti, mahasiswa dan pembaca pada umumnya.
3. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kegunaan untuk pengembangan ilmu pengetahuan teknologi dan kemajuan teknologi di dunia dan khususnya di indonesia sendiri di masa mendatang sebagai wujud aplikasi dari rekayasa teknologi produksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Scherf dan Wagner (1992), dalam risetnya meneliti pengaruh pratarik (*pre-tension*) yang diterapkan pada komposit serat tunggal. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa serat pratarik secara signifikan mempengaruhi jumlah potongan-potongan dan juga antar muka kekuatan geser. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa jumlah potongan-potongan serat dalam uji tarik dari komposit meningkat ketika serat pratarik meningkat. Perhitungan tegangan, antar muka kekuatan geser, juga dilakukan oleh Scherf dan Wagner. Perhitungan mereka menunjukkan bahwa kekuatan geser pada antarmuka meningkat sebagai hasil dari pratarik meningkat pada komposit serat tunggal.

Wijoyo dan Achmad Nurhidayat (2013) dalam penelitian awal mengenai komposit *sandwich* serat aren-polyester dengan core pelepah pohon pisang menunjukkan hasil bahwa semakin banyak jumlah lamina (*layer*) semakin besar kekuatan *impact* komposit *sandwich*. Kekuatan *impact* komposit *sandwich* serat aren 1 layer-pelepah-serat aren 3 layer adalah $0,143 \text{ J/mm}^2$, meningkat sebesar 14,69% dibandingkan dengan komposit *sandwich* serat aren 1 layer-pelepah-serat aren 1 layer sebesar $0,0122 \text{ J/mm}^2$. Semakin banyak jumlah lamina (*layer*) juga mengakibatkan semakin besar energi serap komposit *sandwich*.

Pengujian kekuatan tarik, bending dan *impact* terhadap komposit serat gelas 3 layer dalam bentuk *chopped strand mat* dengan per luasan 300 gram/m^2 dan 450 gram/m^2 secara berurutan dipeoleh kekuatan tarik sebesar 67.26 MPa dan 82.83 MPa, kekuatan bending 208,58 MPa dan 157,06 MPa serta kekuatan *impact*nya $0,0472 \text{ J/mm}^2$ dan $0,0872 \text{ J/mm}^2$. Semakin tebal *layer* komposit yang digunakan semakin tinggi pula sifat tarik dan *impact*nya. Khusus pada uji bending, komposit yang dengan *mat* yang lebih tipis akan menghasilkan tebal komposit yang tipis pula, sehingga sifat lenturnya semakin tinggi. Selain alasan tersebut, jumlah fraksi volume serat pada *mat* yang lebih tipis juga semakin kecil (Yanuar dan Kuncoro Diharjo, 2003).

2.2. Material Komposit

Komposit adalah suatu jenis material baru hasil rekayasa yang terdiri dari kombinasi dua atau lebih bahan, dimana sifat tiap bahan berbeda satu dengan lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya. Adanya perbedaan dari material penyusun komposit, nantinya disusun dengan proporsi tertentu dengan tujuan untuk mendapatkan kombinasi sifat dari bahan penyusunnya.

Umumnya komposit terdiri dari dua fase, yaitu matrik (*matrix*) dan penguat (*reinforcement*). Matrik adalah bahan penyusun dengan fraksi terbesar yang mengelilingi fase lainnya, biasanya disebut *dispersed phase* atau fase yang tersebar. Sedangkan penguat merupakan bahan yang menjadi penahan beban utama pada komposit.

Bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan dibanding bahan konvensional seperti logam. Salah satu kelebihan komposit yaitu mempunyai sifat *strength to weight ratio* atau keunggulan dalam hal kekuatan dengan bobot yang ringan. Adapun kelebihan dari bahan komposit seperti yang diuraikan dibawah ini :

1. Bahan komposit memiliki *density* yang lebih rendah dibanding bahan konvensional. Hal ini memberi implikasi penting dalam konteks penggunaan karena komposit akan memiliki kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi daripada bahan konvensional. Pengurangan berat merupakan salah satu aspek penting di bidang industri pembuatan seperti *automobile* dan angkasa lepas. Hal seperti ini berhubungan dengan penghematan bahan bakar.
2. Di dalam industri angkasa lepas terdapat adanya kecenderungan menggantikan komponen yang dibuat dari material komposit karena telah terbukti komposit memiliki rintangan terhadap *fatigue* yang baik terutama material komposit yang menggunakan serat karbon.
3. Salah satu kelemahan logam yang terlihat jelas yaitu rintangan terhadap kikisan yang lemah terutama produk kebutuhan sehari-hari. Kecenderungan komponen logam untuk mengalami kikisan dapat menyebabkan biaya pembuatan yang tinggi. Bahan komposit sebaiknya memiliki rintangan terhadap kikisan yang lebih baik.

Material komposit juga memiliki kelebihan dalam segi *versatility* (berdaya guna) yaitu produk yang memiliki gabungan dari sifat-sifat menarik yang dapat dihasilkan dengan sedikit perubahan sesuai dengan jenis matrik dan serat yang digunakan. Contohnya dengan melakukan penggabungan lebih dari satu serat terhadap matrik dapat menghasilkan komposit hibrid.

4. Massa jenis lebih rendah (ringan)

2.2.1. Material Penyusun Komposit

Pada umumnya komposit terdiri dari dua jenis material, yaitu:

1. Matrik

Matrik adalah bahan penyusun dengan fraksi terbesar yang mengelilingi fase lainnya.

Matriks mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut :

- a) Mentransfer tegangan ke serat.
- b) Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- c) Melindungi serat.

2. *Reinforcement* atau penguat

Salah satu bagian komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang memiliki fungsi penanggung beban utama pada material komposit. Secara strukturmikro material komposit tidak mengalami perubahan pada material pembentuknya (dalam orde kristalin) namun secara keseluruhan, material komposit terdapat perbedaan dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matrik dan penguat.

2.2.2. Kegunaan Bahan Komposit

Kegunaan bahan komposit sangat luas yaitu untuk :

1. Industri penerbangan dan angkasa luar seperti komponen pada pesawat terbang, komponen helikopter, komponen satelit.
2. Industri *automobile* seperti komponen di mesin mobil, badan kereta api.
3. Alat olah raga seperti sepeda, *stick golf*, raket, sepatu olah raga.
4. Industri pertahanan seperti komponen pesawat jet tempur, peluru, komponen kapal selam.
5. Industri pembangunan infrastruktur seperti jembatan, terowongan, rumah.
6. Alat kesehatan seperti kaki palsu, gigi palsu dan sambungan sendi pada pinggang
7. Industri kelautan seperti kapal layar, kapal transportasi.

2.2.3. Klasifikasi Komposit

2.2.3.1. Klasifikasi Berdasarkan Matrik

A. Komposit Matrik Polimer (KMP)

Komposit Matrik Polimer (KMP) atau *Polimer Matrix Composite* (PMC) merupakan komposit dengan menggunakan suatu polimer berdasar resin sebagai matriknya, dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (Kevlar) sebagai penguatnya. Polimer yang banyak digunakan adalah:

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah polimer yang memiliki sifat tidak tahan panas. Apabila terkena panas akan menjadi lunak dan menjadi kaku kembali setelah didinginkan, kita dapat merubah bentuknya berulang kali dengan proses pemanasan dan pendinginan. Secara sederhana termoplastik adalah jenis plastik yang bisa didaur ulang. Contoh termoplastik diantaranya : *Polyethylene*, *Polypropylene*, *Polyvinylchloride*, *Polycarbonate*, dan *Polystyrene*.

2. *Thermoset*

Thermoset adalah polimer yang bersifat tahan terhadap panas. Proses pembentukan hanya untuk sekali pemanasan kemudian dicetak. Proses pemanasan dengan menaikkan temperatur secara bertahap menimbulkan reaksi kimia, reaksi ini mengakibatkan material menjadi kaku. Setelah dingin tidak dapat dikembalikan dengan cara pemanasan. Bila dipanaskan untuk kedua kali polimer akan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer. Contoh thermosetting diantaranya : Melamin, *Phenolics*, *Epoxy*, dan *Polyester*. Contoh Aplikasi PMC, diantaranya sebagai berikut :

- 1) Matrik polyester yang menggunakan serat gelas
 - a) Alat yang digunakan di rumah tangga
 - b) Panel pada pintu kendaraan
 - c) Lemari perkantoran
- 2) Matrik termoplastik yang menggunakan serat gelas yaitu kotak air radiator
- 3) Matrik termoset dengan serat *carbon*
 - a) Rotor yang ada di helikopter
 - b) Komponen ruang angkasa
 - c) Rantai untuk pesawat terbang

B. Komposit Matrik Logam (KML)

Komposit Matrik Logam (KML) atau *Metal Matrix Composite* (MMC) adalah komposit dengan matrik menggunakan logam. Material KMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *Continous Filamen* MMC yang digunakan dalam aplikasi *aerospace*.

Aplikasi MMC, yaitu sebagai berikut :

- 1) Komponen *automotive* meliputi blok silinder, mesin, pully, poros, garden.
- 2) Peralatan militer meliputi sudu turbin, cakram, kompresor.
- 3) *Aircraft* meliputi rak listrik pada pesawat terbang.

C. Komposit Matrik Keramik (KMK)

Komposit Matrik Keramik (KMK) atau *Ceramic Matrix Composite* (CMC) adalah material 2 fasa dimana 1 fasa memiliki fungsi sebagai *reinforcement* dan 1 fasa berfungsi sebagai matrik, dimana matrik terbuat dari keramik. *Reinforcement* yang paling banyak digunakan pada CMC antara lain oksida, carbide, dan nitrid. Salah satu proses dalam pembuatan CMC yaitu melalui proses DIMOX, yaitu proses pembentukan material komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matrik keramik disekeliling daerah *reinforcement*. 3 contoh aplikasi CMC antara lain sebagai berikut :

- 1) *Chemical processing* = *Filters, membranes, seals, liners, piping, hangers*
- 2) *Power generation* = *Combustorrs, Vanrs, Nozzles, Recuperators, heat exchange tubes, liner*
- 3) Kombinasi dalam rekayasa wisker SiC/alumina polikristalin untuk perkakas potong.

2.2.3.2. Klasifikasi Berdasarkan Penguatnya

Berdasarkan Penguatnya, komposit dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

A. *Particulate Composite*

Particulate Composite, dimana penguatnya berbentuk partikel (serbuk). Keuntungan untuk komposit yang disusun dari *reinforcement* bentuk partikel:

- a) Kekuatan lebih seragam ke segala arah.
- b) Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan material.
- c) Cara penguatan dan pengerasan partikel adalah dengan pergerakan dislokasi.

B. *Fibre Composite*

Fibre composite, yaitu suatu komposit yang hanya terdiri atas satu lapis dan berpenguat fiber. Kayu merupakan jenis komposit alam yang terdiri atas serat hemiselulosa dalam matrik lignin. Fiber yang sering digunakan untuk menguatkan matrik yang memiliki ukuran pendek, panjang, atau kontinyu. Berdasarkan jenis seratnya dapat dibedakan atas:

- a. Serat kontinu, orientasi serat yang beraneka ragam antara lain arah serat searah (unidireksional), dua arah (biaksial), dan tiga arah (triaksial).
- b. Serat diskontinu, orientasi serat menyebar secara acak sehingga sifat mekaniknya tidak baik jika dibandingkan serat kontinu.

C. *Laminated composite*

Laminated composite, yaitu gabungan komposit berlapis-lapis, sedikitnya terdiri atas dua lapis yang digabung, dimana tiap lapisan pembentuk memiliki karakteristik tersendiri. Terdiri minimal dua lapis bahan berbeda dan digabung secara bersamaan. *Laminated composite* dibentuk dari aneka ragam lapisan berbagai macam arah penyusunan serat yang ditentukan dan disebut dengan laminat.

2.3 Serat Gelas

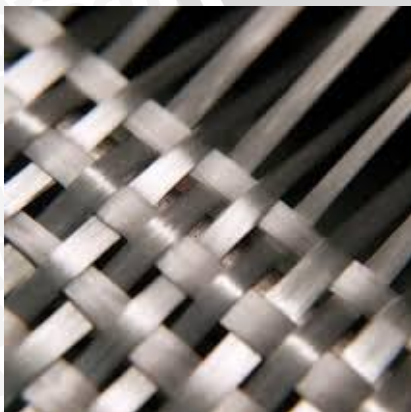
Serat merupakan unsur penting yang terdapat pada komposit berpenguat serat dan memiliki fungsi sebagai pembawa beban. Komposit dengan penguat serat banyak dipakai pada produk yang membutuhkan kekuatan tinggi namun bobot yang rendah, untuk menggantikan logam. Berdasarkan bentuknya serat gelas dibedakan menjadi beberapa macam antara lain sebagai berikut:

a. *Roving*

Memiliki rupa benang panjang yang digulung mengelilingi silinder.

b. *Woven Roving (WR)*

Pada gambar 2.1 ditunjukkan serat gelas jenis anyaman (*woven roving*) berbentuk seperti anyaman tikar, serat gelas anyam dibuat saling bertindih berselang - seling ke arah vertikal dan juga horisontal (0° dan 90°).



Gambar 2.1 Woven Roving (WR)

Sumber : (Faisal,2011)

Kumpulan anyaman yaitu seperti tali, anyaman ini memberikan penguat kearah vertikal dan horisontal. Banyak digunakan dalam konstruksi, terutama pada bagian frame. *Woven roving* ini sedikit kaku, sehingga sedikit sulit dibentuk terutama apabila digunakan di bagian yang memiliki lekuk tajam. Bentuk serat gelas *woven roving* seperti gulungan serat gelas yang bentuknya sangat baik dan juga dipergunakan dalam bidang industri, misalnya: pada pembuatan bak mandi, kapal dan lain – lain.

c. *Chop Strand Mat (CSM)*

Serat gelas acak (*chop strand mat*) memiliki bentuk acak (*random*), serat gelas anyam dibuat bertindihan secara tidak teratur ke segala arah (*undirectional*) ditunjukkan pada gambar 2.2 serat gelas yang teranyam memiliki panjang serat yang relatif pendek dibanding panjang serat WR. Banyak digunakan dalam bidang konstruksi CSM memiliki kelebihan fleksibel, sehingga mudah dibentuk dan mudah digunakan di bagian berlekuk tajam.



Gambar 2.2 *Chop Strand Mat (CSM)*
Sumber : (Faisal, 2011)

d. *Yarn*

Yarn memiliki rupa bentuk benang yang lekat dan dihubungkan pada filamen.

e. *Reinforcing Mat*

Reinforcing mat berupa lembaran *chopped strand* dan *continuous strand* yang tersusun secara acak.

f. *Woven Fabric*

Woven fabric memiliki bentuk rupa serat yang dianyam dan terlihat seperti kain tenun.

Sesuai jenisnya serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain :

a. Serat *E-Glass*

Serat *E-Glass* merupakan suatu jenis serat yang dikembangkan dan memiliki fungsi penyekat atau bahan isolasi. Serat ini memiliki kemampuan bentuk yang baik.

Spesifikasi sifat mekanik dari serat *E-Glass* dijelaskan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1
Sifat mekanik dari serat *E-Glass* (Barthelot, 1999)

	Satuan	Nilai
Densitas Massa	Kg/m ³	2530 s.d 2600
Modulus Elastisitas	GPa	7,3
Kekuatan Tarik	MPa	350
<i>Elongation</i>	%	4,8

b. Serat *C-Glass*

Serat *C-Glass* merupakan salah satu jenis serat yang memiliki sifat ketahanan yang tinggi terhadap korosi.

c. Serat *S-Glass*

Serat *S-Glass* merupakan jenis serat yang memiliki sifat kekakuan yang tinggi.

Tabel 2.2
Sifat-sifat serat gelas (Frida, 1992)

No	Jenis serat		
	E-Glass	C-Glass	S-Glass
1	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari E-Glass	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari E-Glass	Harga lebih mahal dari E-Glass

Serat gelas memiliki banyak keuntungan, digunakan sebagai bahan penguat karena :

1. Mudah didapatkan dan dipabrikasi menjadi plastik yang diperkuat serat gelas
2. Sebagai serat ia memiliki sifat kuat, dan jika disatukan dengan matrik plastik akan menjadikan komposit yang mempunyai kekuatan tinggi.
3. Akan sangat berguna pada lingkungan yang korosi.

2.4 Vinylester / Ripoxy™ R-802EX

Vinylester adalah resin yang dihasilkan oleh esterifikasi suatu resin epoksi dengan asam monokarboksilat jenuh. Produk reaksi kemudian dilarutkan dalam pelarut reaktif, seperti stirena, untuk konten 35-45 persen berat.

Tabel 2.3

Perbandingan karakteristik *ripoxy*™ dengan *epoxy resin* dan *unsaturated polyester resins* (Showa Denko K.K)

		Epoxy resin	Ripoxy™	Unsaturated polyester resin
<i>Workability</i>		Fair	Good to excellent	Excellent
<i>Hardness</i>		Low to high	Low to high	Low to high
<i>Mechanical properties (toughness)</i>		Excellent	Excellent	Good
<i>Electric properties</i>		Excellent	Excellent	Excellent
<i>Heat distortion temp.</i>		<100°C	<150°C	<150°C
Chemical resistance	Acids	Fair to good	Excellent	Excellent
	Alkalis	Excellent	Good to excellent	Poor to good
	Solvents	Fair	Good to excellent	Good
	Oxidizing acids	Poor	Good to excellent	Fair to excellent
<i>Wheater resistance</i>		Fair	Fair to good	Fair to good
<i>Curing Shrinkage percentage (vol.%)</i>		<5	7 – 9	7 – 9
<i>Photocuring properties</i>		Poor to good	Excellent	Good

Pada penelitian kali ini resin yang digunakan adalah vinyl ester ripoxy™ R-802EX produksi Showa Highpolymer Co., Ltd. Dimana ripoxy™ mengkombinasikan *cured properties* dari epoxy resin dan *workability* dari *unsaturated polyester resins*. Karakteristik dari resin ini diantaranya:

Tabel 2.4
Grades and Respective characteristics of Ripoxy™ R-802EX (Showa Denko K. K)

<i>Viscosity (dPa) at 25°C</i>	4.0 – 6.0
<i>Curing Properties – GT (min)</i>	22 – 32
<i>Curing Properties – Temperature</i>	25°C
<i>Cure Recipe</i>	MEKPO 1.5% / promoter-EX 0.5%
<i>Characteristics</i>	<i>A wide range of chemical resistance, toughness, low temperature properties, curing of surface, and fatigue resistance</i>
<i>Majoring molding methods or applications</i>	<i>Hand lay-up molding, FRP lining, FW molding</i>

Tabel. 2.5
Properties of Cured Ripoxy™ R-802EX (Showa Denko K.K)

<i>Cast resins</i>	<i>Specific gravity at 25°C</i>	1.134
	<i>Tensile strength (MPa)</i>	80
	<i>Tensile elongation (%)</i>	6.0
	<i>Flexural strength (MPa)</i>	130
	<i>Flexural Modulus (GPa)</i>	2.8
	<i>Compressive strength / yield point (MPa)</i>	120
	<i>Impact strength (Charpy) (J/mm²)</i>	6.9
	<i>Heat distortion temperature (°C)</i>	100
	<i>Curing shrinkage percentage (%)</i>	7.8
<i>Laminated</i>	<i>Tensile strength (MPa)</i>	93
	<i>Flexural strength (MPa)</i>	130
	<i>Flexural modulus (MPa)</i>	6.1

Post-cure 120°C, 2 hours

Tabel 2.6

Physical properties of cured resins (Showa Denko K.K)

<i>Test Item</i>	<i>Unit</i>	<i>Ripoxy™ R-802EX</i>
Liquid Property		
Viscosity	dPa – s/25°C	4~6
Properties of cast resin*1		
Tensile strength*2	MPa	80
Tensile modulus*2	GPa	3.0
Tensile elongation*2	%	6.0
Flexural strength*2	MPa	130
Flexural modulus*2	GPa	2.8
Impact strength (Izot)	J/mm ²	18
Heat distortion temperature*3	°C	100
Fatigue life*4	Times	500
FRP Properties*5		
Tensile strength*6	MPa	102
Tensile modulus*6	GPa	6.3
Tensile elongation*6	%	2.3
Flexural strength*7	MPa	132
Flexural modulus*7	GPa	6.1

*1: Cured conditions 328E 1.2phr, 6% cobalt naphthenate 0.3phr; post-cure at 120°C for 2 hours after one-day at room temperature

*2: JIS K 6911-1995

*3: ASTM D648

*4: Bending width 0-1.5mm. frequency 5Hz

*5: Laminated constitution : SM+#450CSM 3 ply+SM, glass content 30%.

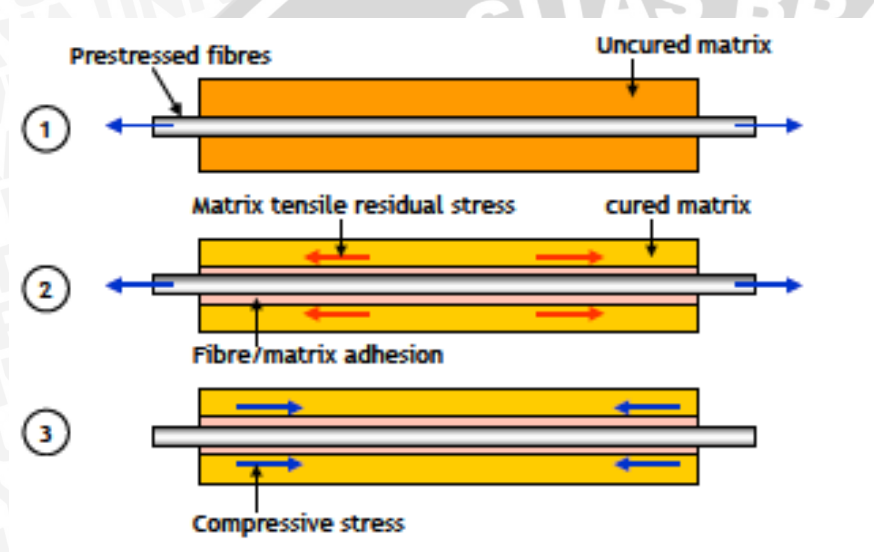
Cured conditions: 55% MEKPO 1.0phr, 6% cobalt naphthenate 0.3phr; post-cure at 120°C for 2 hours after one-day at room temperature.

*6: JIS K 7054-1995

*7: JIS K 7171-1994 (ISO 178-1994)

2.5 Residual Stress (Tegangan Sisa)

Residual Stress (Tegangan Sisa) dikembangkan dalam komposit selama proses pengolahan, kemudian dalam perluasan termal atau suhu secara anisotropik, serta sifat elastis dari komposit itu sendiri. Maksud dari anisotropik adalah penyusutan yang memiliki besaran yang berbeda dalam arah yang berbeda. Anisotropik merupakan penyusutan yang terjadi pada bahan yang sudah diisi karena adanya pembatasan penyusutan sepanjang serat yang cenderung dalam arah aliran (Barthelot, 1999). Selama pengolahan komposit pada suhu tinggi, tegangan sisa dapat berkembang karena adanya induksi penyusutan matriks polimer.



Gambar 2.3 Skema prinsip pemberian prestress pada serat. 1) Serat diberi prestress pada matriks yang belum membeku. 2) Pembekuan matriks dan formasi pembentukan ikatan dari serat dan pengembangan dari tegangan tarik sisa pada matriks. 3) Pelepasan dari pemberian tegangan mula pada suhu ruangan, dimana memberikan tegangan tekan pada matriks.

Sumber: Krishnamurthy, 2006

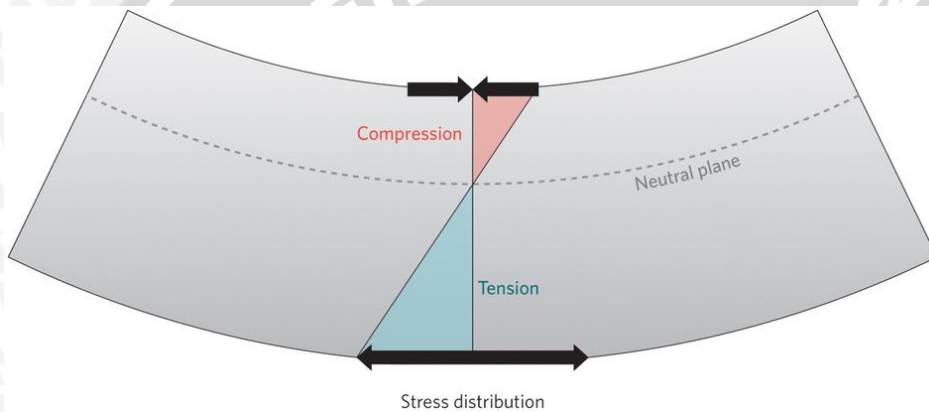
Besarnya tegangan sisa dapat disesuaikan, tegangan sisa yang tidak diinginkan dapat dikurangi. Pengurangan tegangan sisa dapat dilakukan dengan cara *thermal* yaitu *stress relief bake* dan *cryogenic stress relief*. Secara *non-thermal*, pengurangan tegangan sisa menggunakan *shot peening* dan *laser peening*.

Tegangan sisa merupakan tegangan yang terjadi dalam suatu material setelah gaya luar diabaikan. Tegangan sisa terjadi beragam mulai dari struktur logam yang luas hingga atomik. Tegangan sisa merupakan tegangan internal yang tersisa dalam material. Ada berbagai faktor yang mempengaruhi jumlah dan distribusi tegangan sisa, seperti, proses penyusutan, proses pendinginan cepat dan transformasi fasa. Untuk menghitung tegangan

sisa dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pengukuran *destruktrif* dan *non destruktif*.

Pre-tension adalah metode yang umum digunakan untuk meningkatkan *tensile strength* sebuah material. Penelitian belakangan ini mengembangkan gagasan *pre-tension* pada *woven fabric* untuk meningkatkan kualitas dan kekuatan dari komposit serat alam maupun serat sintetis.

Cara kerja *pre-tension* adalah menarik serat hingga menegang dengan besar gaya tertentu sebelum matriks mengering dan menyatu dengan serat. Setelah matriks mengering, tegangan dilepas yang kemudian menjadi tegangan sisa berbentuk *compressive stress* yang memperkuat material.



Gambar 2.4 Distribusi Tegangan pada Material
Sumber: www.nature.com

Material yang telah diberi *pre-tension* menyimpan *compressive stress* yang arahnya berlawanan dengan *tension* sehingga material mampu menahan gaya *tarik* yang lebih besar dibandingkan material tanpa perlakuan *pre-tension*. Konsep dari *pre-tension* adalah menyeimbangkan *tension* dan *compression stress* pada material sehingga besar beban tarik yang diterima material lebih besar.

2.6 Metode Pembuatan Komposit

Dalam pembuatan komposit diperlukan adanya suatu cetakan dimana cetakan tersebut harus bersih dan bebas dari kotoran, selain itu memiliki permukaan yang halus. Cetakan pada umumnya terbuat dari logam, kayu, plastik, dan kaca. Ada 3 metode untuk pembuatan komposit yang sering digunakan, yaitu :

1. Hand Lay Up

Hand lay up adalah metode yang paling sederhana untuk memproduksi plastik yang diperkuat serat. Adapun proses pembuatan menggunakan metode ini adalah dengan cara menuangkan resin kedalam cetakan yang telah berisi susunan serat kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya dengan kuas. Proses ini dilakukan berulang - ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai.

Kelebihan menggunakan metode ini :

- Mudah dilakukan
- Biaya murah
- Alat yang digunakan sederhana

Kekurangan metode ini:

- Pengerjaan lama
- Keseragaman produk kurang



Gambar 2.5 Metode *Hand Lay Up*
Sumber : (Faisal,2011)

2. Spray Up

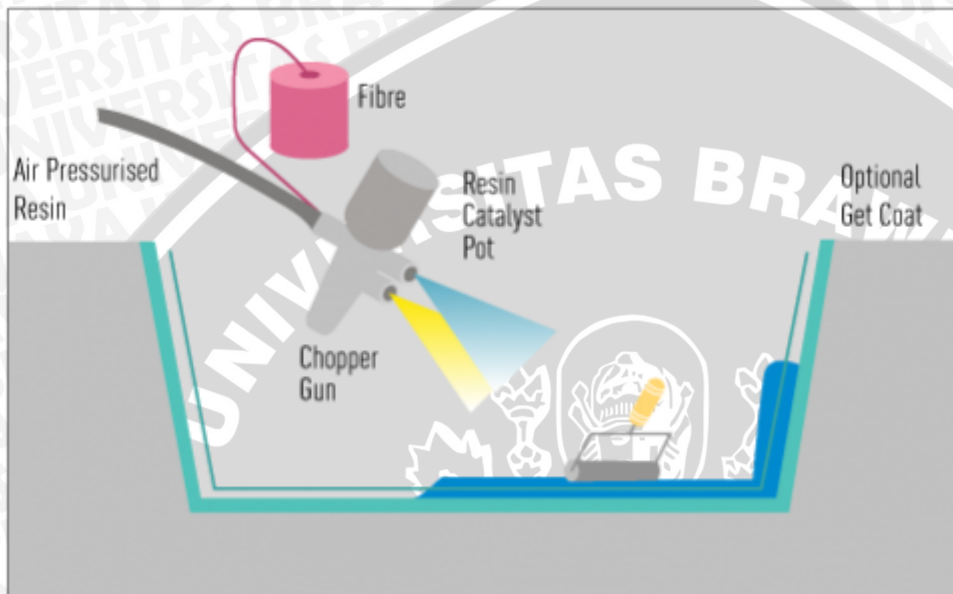
Spray up merupakan salah satu metode cetakan yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks dari *hand lay up*. Proses pembuatan menggunakan metode *spray up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat (*fibre*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara campuran resin dengan katalis disemprotkan dengan cara bersamaan, dengan menyiapkan wadah tempat pencetak *spray up* sebelumnya. Proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada atmosfer standar.

Kelebihan menggunakan metode ini:

- Hemat dalam penggunaan resin dan *filler*
- Peralatan yang dipakai murah

Kekurangan menggunakan metode ini:

- Hanya dapat dipakai untuk *filler* berbentuk partikel dan serat pendek acak;
- Dapat membahayakan kesehatan karena adanya kemungkinan partikel-partikel resin yang terhirup selama proses penyemprotan.



Gambar 2.6 Metode *Spray Up*
Sumber : (Faisal,2011)

3. *Injection Molding*

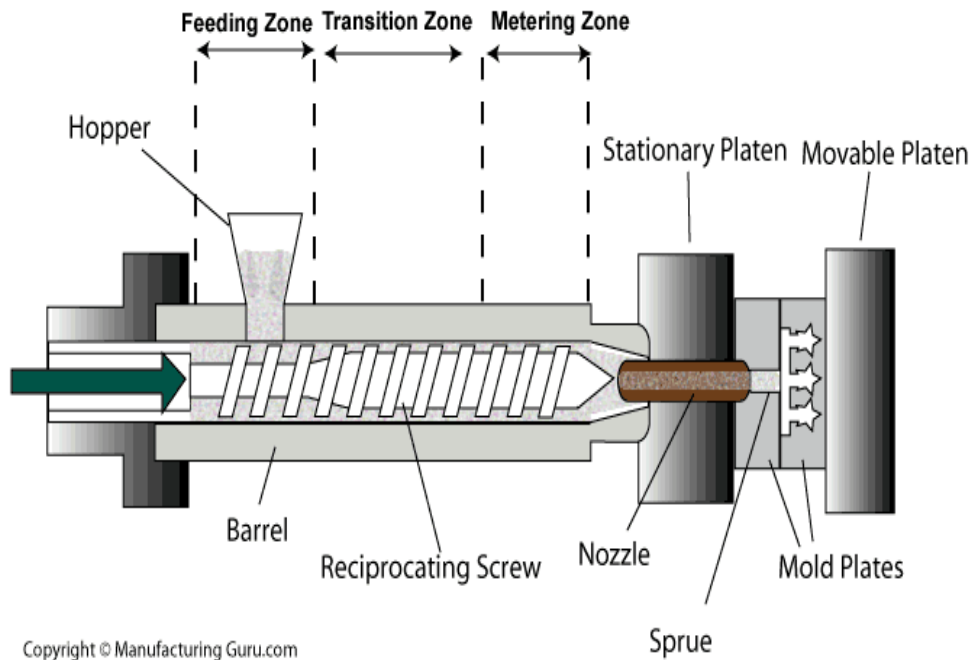
Injection molding juga dikenal sebagai reaksi pencetakan cairan ataupun pelapisan tekanan tinggi. Proses pembuatan dengan metode ini yaitu memasukkan fiber dan resin kedalam rongga cetakan di bagian atas, kondisi temperature harus terus dijaga supaya tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta fiber akan mengalir ke bagian bawah, selanjutnya injeksi diarahkan ke nozel menuju cetakan. Pada proses ini resin polimer reaktif seperti polioliol, poliuretan, dan poliamida menyediakan siklus pencetakan cepat sehingga cocok untuk aplikasi pada otomotif dan furnitur.

Kelebihan menggunakan metode ini:

- Komponen dapat dihasilkan dengan tingkat produksi tinggi
- Dapat mencetak produk yang sama dengan bahan baku yang berbeda tanpa merubah mesin dan cetakan.

Kekurangan menggunakan metode ini:

- Digunakan untuk serat pendek acak dan partikel namun sulit apabila digunakan untuk serat *continour*.
- Apabila resin yang digunakan mempunyai titik leleh tinggi maka energi yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih tinggi maka energi yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih besar sehingga biaya pengerjaan bisa lebih tinggi.



Gambar 2.7 Metode Injection Molding
Sumber : (Faisal, 2011)

2.7 Rule Of Mixtures

Dalam ilmu material aturan secara umum untuk mencampur 2 atau lebih material menjadi komposit disebut dengan *rule of mixtures*, yang digunakan untuk memprediksi secara teoritis dari material *properties* dari komposit yang terdiri dari *filler* dan *matrix*. Hal ini memberikan teori prediksi material *properties* secara maksimum dan minimum yang dapat dicapai material *properties* komposit. Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan tarik dan modulus elastisitas sebagai berikut :

- $\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m$Shackelford (1992) (2-1)

- $E_c = E_f v_f + E_m v_m$Shackelford (1992) (2-2)

Keterangan :

σ_c = Kekuatan tarik komposit (N/mm^2)

σ_f = Kekuatan tarik *fiber* (N/mm^2)

σ_m = Kekuatan tarik matrik (N/mm^2)

E_c = Modulus elastisitas komposit (N/mm^2)

E_f = Modulus elastisitas *fiber* (N/mm^2)

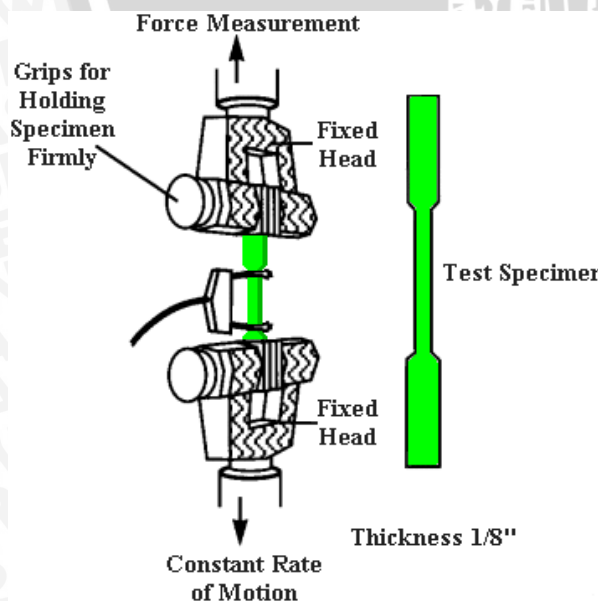
E_m = Modulus elastisitas matrik (N/mm^2)

V_f = Fraksi volume *fiber* (%)

V_m = Fraksi volume matrik (%)

2.8 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh material benda uji sebelum patah atau rusak. Sifat-sifat bahan teknik perlu diketahui secara baik karena bahan tersebut dipergunakan untuk berbagai macam keperluan dalam berbagai keadaan. Sifat-sifat bahan yang diinginkan sangat banyak, diantaranya adalah sifat-sifat mekaniknya yang berkaitan erat dengan kekuatan bahan. Salah satu pengujian dari sifat-sifat mekanik bahan adalah pengujian tarik, karena deformasi bahan yang disebabkan oleh beban tarik adalah dasar pengujian dan kajian mengenai kekuatan bahan. Pengujian tarik dapat dilakukan dengan mesin uji tarik atau dengan *universal testing machine*. (Standar ASTM D 3039).



Gambar 2.8 Pengujian kekuatan tarik
Sumber : (Munasir, 2011)

$$P = \sigma \cdot A \text{ atau } \sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (\text{Surdia, et al., 2003}) (2-3)$$

Keterangan :

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm^2)

σ = Tegangan tarik (MPa)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis. Prosorsional pada grafik tegangan-tegangan hasil uji tarik komposit. (Surdia, 2003).

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (\text{Surdia, et al., 2003})(2-4)$$

Keterangan :

ϵ = Regangan (mm/mm)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L_0 = Panjang mula (mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia, 2003).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (\text{Surdia, et al., 2003}) (2-5)$$

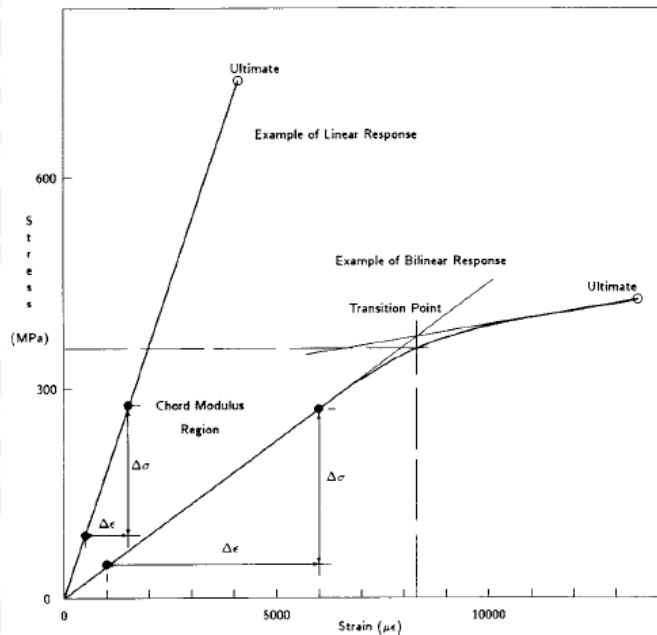
Keterangan :

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ϵ = Regangan tarik (mm/mm)

Pada gambar 2.9 merupakan *Tensile stress-strain curves of polymer matrix composite material* sesuai standar ASTM D 3039.



Gambar 2.9 Tensile stress-strain curves of polymer matrix composite material
Sumber : ASTM International (2010)

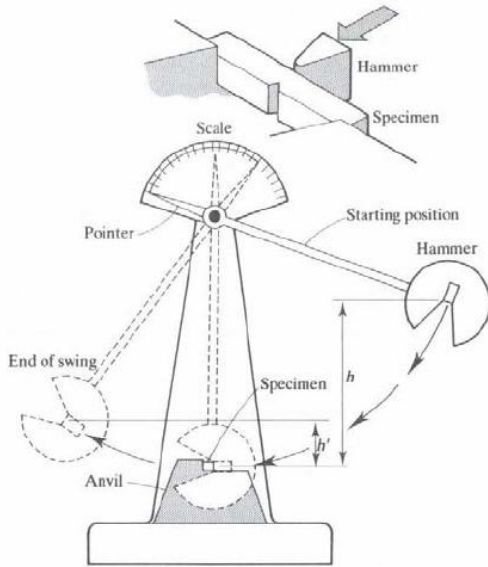
Hubungan tegangan regangan pada tarikan memberi nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, lembaban, dan seterusnya. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban tarik satu sumbu pada batang uji standar yang dijepit kedua ujungnya secara perlahan-lahan sampai patah.

2.9 Pengujian Impact

Kekuatan *impact* adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan beban dinamis atau mendadak yang dapat menyebabkan patah atau rusak. Suatu spesimen dengan standart tertentu baik ukuran notch ataupun ukuran spesimennya diletakkan dengan posisi takiknya berlawanan arah dengan pendulum untuk mematahkan spesimen, pendulum dipasang pada ketinggian tertentu lalu dilepaskan sehingga menghantam spesimen secara tiba-tiba. Energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen adalah *impact* yang berasal dari ketinggian pendulum. Energi ini nantinya akan diserap oleh spesimen untuk mematahkan spesimen.

Pengujian *impact* bertujuan untuk mengukur besarnya energi yang dapat diserap suatu material sampai material patah. Pengujian *impact* merupakan respon terhadap beban yang tiba-tiba dengan tujuan untuk mengetahui ketangguhan suatu material terhadap pembebanan dinamis, sehingga dapat diketahui apakah suatu bahan yang akan diuji rapuh atau kuat. Dasar pengujian *impact* yaitu penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu kemudian menumbuk benda uji sehingga

benda uji mengalami deformasi. Semakin banyak energi yang terserap maka akan semakin besar pula kekuatan *impact* dari suatu beban. Umumnya kekuatan *impact* material komposit lebih kecil daripada kekuatan *impact* bahan logam.



Gambar 2.10 Ilustrasi skematis pengujian *impact* dengan benda uji Charpy
 Sumber: (Munasir, 2011)

Besarnya kekuatan *impact* dari benda uji dengan luas penampang lintang (A) adalah (“Annual Book Of ASTM Standars”):

$$I_s = \frac{E}{A} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$E = E_1 - E_0 \dots\dots\dots(2-7)$$

$$E_1 = W \cdot h_0 = W \cdot L (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$E_0 = W \cdot h_1 = W \cdot L (1 - \cos \beta) \dots\dots\dots(2.9)$$

keterangan:

- I_s = *Impact strenght* (J/mm^2)
- E = energi yang diserap (Nm)
- A = luas penampang benda uji (mm^2)
- W = berat dari pendulum (kgf)
- h_0 = tinggi awal (m)
- h_1 = tinggi akhir (m)
- L = panjang lengan (m)
- α = sudut awal ($^\circ$)
- β = sudut akhir ($^\circ$)



2.10 Hipotesis

Dengan memvariasikan *pre-tension* pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* maka akan dapat diketahui pengaruh pemberian variasi *tension* yang dapat menghasilkan kekuatan tarik dan *impact* yang maksimal dalam batas elastisitas serat. Hipotesis yang dibuat pada penelitian ini adalah pemberian/penerapan variasi *pre-tension* pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik dan *impact*.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental nyata (*True Experimental Research*), yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* terhadap kekuatan tarik dan *impact*. Pemberian tegangan dibantu dengan menggunakan neraca pegas.

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Data yang diambil dalam penyusunan skripsi ini diperoleh dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Malang dan Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi *pre-tension* sebesar 0N, 10N, 20N, 30N, 40N, pada arah transversal dan longitudinal.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah kekuatan tarik dan *impact*.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya dikonstantakan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah

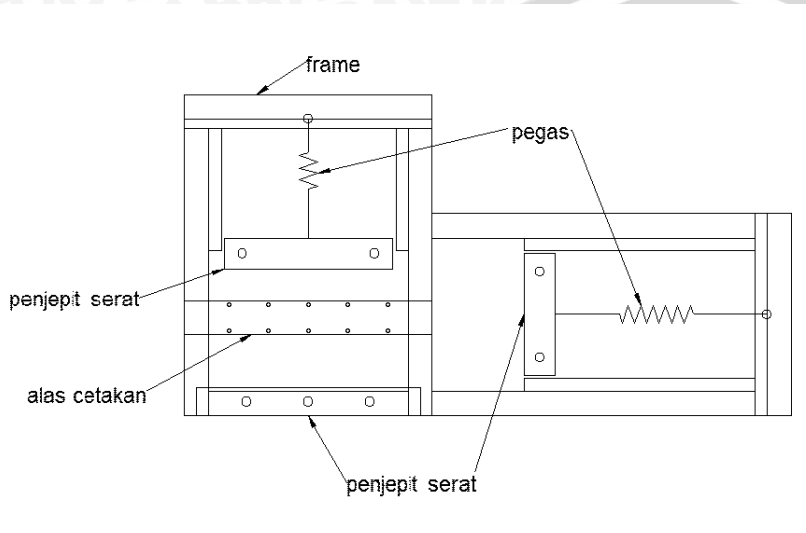
1. Persentase promoter 0.6% dari volume matrik.
2. Prosentasi katalis 2.5% dari volume matrik.
3. Jumlah serat *reinforcement fiber longitudinal* = 4 untuk uji tarik
4. Jumlah serat *reinforcement fiber transversal* = 62
5. Jumlah serat *reinforcement fiber longitudinal* = 3 untuk uji *impact*
6. Jumlah serat *reinforcement fiber transversal* = 29
7. *Curing* menggunakan suhu ruang.

3.4 Alat Dan Bahan

3.4.1 Peralatan yang Digunakan

1. Instalasi *pre-tension*

Merupakan alat yang digunakan untuk memberikan variasi *pre-tension* pada saat pembentukan spesimen.

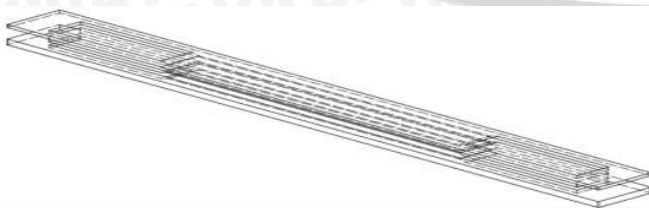
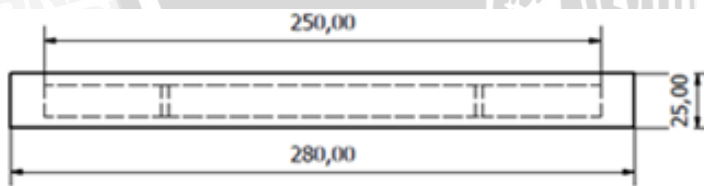


Gambar 3.1 Instalasi *pre-tension*

2. Cetakan spesimen

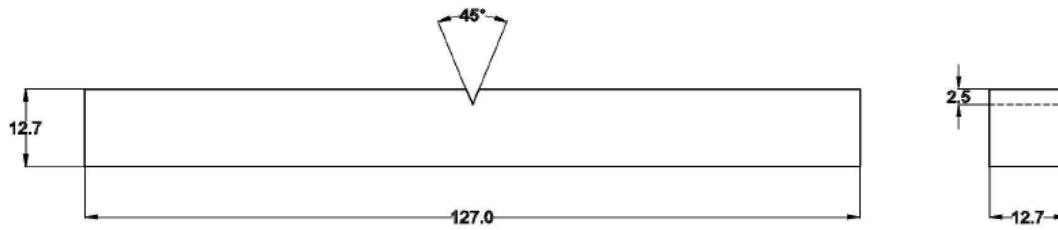
Cetakan spesimen dibuat untuk memudahkan proses pembentukan komposit pada saat *curing* (penuangan).

a. Cetakan spesimen tarik



Gambar 3.2 cetakan spesimen tarik

b. Cetakan spesimen *impact*



Gambar 3.3 cetakan spesimen *impact*

3. Neraca pegas

Neraca pegas diunakan untuk memberikan penarikan pada serat saat proses *curing*.



Gambar 3.4. Neraca pegas

4. Gelas ukur

Digunakan untuk mengukur resin yang akan dicampur dengan katalis.



Gambar 3.5 Gelas ukur

5. Pipet ukur

Dipakai untuk mengukur volume katalis yang akan dicampur dengan resin.



Gambar 3.6 Pipet ukur

6. Peralatan pendukung pembuatan spesimen

Beberapa alat bantu yang digunakan untuk pembuatan spesimen diantaranya, gelas plastik, pengaduk, gunting, lampu, tang, kunci pas, lakban, karet ban, kabel tis.



Gambar 3.7 Peralatan pendukung pembuatan spesimen

7. Mesin Uji tarik dan *impact*

Mesin uji tarik pada gambar 3.8 merupakan jenis *universal tensile testing machine* sebagai alat pengujian kekuatan tarik komposit.

Spesifikasi mesin uji tarik

Nama mesin : *Universal Testing Machine*

- Pembuat : Kai Wei
- Tipe : -
- Nomer seri : 068

- Kapasitas : 1000 kN
- Ketelitian : 0,1 kN



Gambar 3.8 Universal testing machine

Spesifikasi alat *Impact* :

1. Impact velocity : 2,9 m/s
2. Pendulum moment : 2,67949 Nm
3. Sudut awal : 150°
4. Temperatur kerja : 15-35°C
5. Power supply : 220V 50Hz



Gambar 3.9 Charpy Impact Non – Ferrous (Time Testing Machine XJJ-5)

8. Jangka sorong

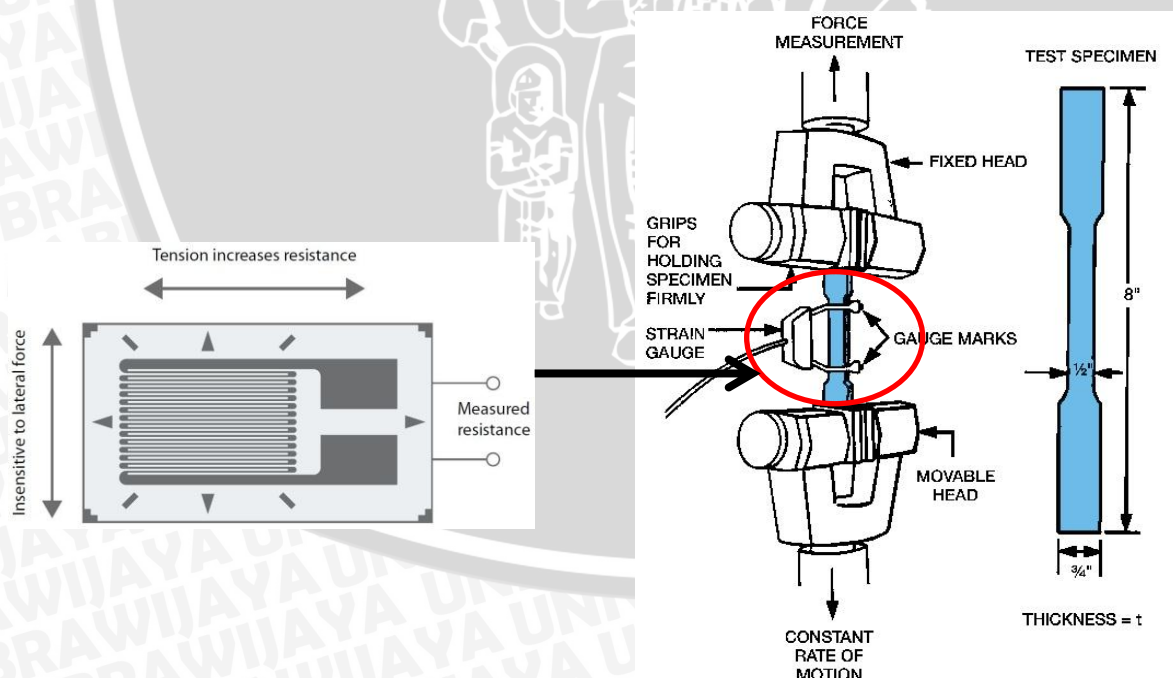
Jangka sorong pada yang digunakan untuk mengukur jarak patahan pada spesimen.



Gambar 3.10 Jangka sorong

9. Strain Gauge

Alat yang digunakan untuk mengukur pertambahan panjang pada spesimen uji tarik.



Gambar 3.11 Strain gauge

3.4.2 Bahan yang Digunakan

1. Resin Vinylester / Ripoxy™ R-802EX



Gambar 3.12 Ripoxy™ R-802EX

2. Promoter-EX



Gambar 3.13 Promoter-EX



3. Katalis MEKPO



Gambar 3.14 MEKPO

4. Serat E-glass woven roving Taiwan glass

Gambar 3.15 E-glass Taiwan glass woven roving 800gr/m²

3.5 Prosedur Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah pembuatan spesimen bahan komposit pada penelitian ini adalah:

1. Persiapkan alat dan bahan.
2. Potong serat sesuai dimensi spesimen dengan toleransi ukuran untuk penarikan.
3. Pasang cetakan spesimen bagian bawah yang telah dilapisi mirror glaze pada alat *pre-tension*.

4. Letakkan serat yang telah dipotong pada cetakan spesimen lalu pasang pada penjepit di kedua ujungnya.
5. Pasang cetakan bagian atas, atur kekencangan dengan baut.
6. Berikan *tension* pada serat dengan menarik neraca pegas sesuai dengan *tension* yang diinginkan.
7. Siapkan lampu penerangan.
8. Siapkan campuran resin, promoter dan katalis sesuai dengan komposisi yang ditentukan.
9. Tuangkan resin yang telah dicampur pada cetakan, ratakan dengan kuas.
10. Tunggu beberapa saat agar campuran resin memenuhi cetakan bawah dan cek menggunakan lampu agar terlihat bagian yang belum terisi.
11. Tuangkan kembali resin pada rongga cetakan atas hingga terisi penuh.
12. Tunggu hingga spesimen mengering, lalu lepaskan spesimen dari cetakan.
13. Potong bagian spesimen yang melebihi cetakan.
14. Beri nomor dari tiap spesimen.
15. Spesimen siap diuji.

3.6 Rancangan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh *pre-tension* terhadap kekuatan Tarik dan *impact* komposit *vinylester*, maka langkah pertama yang dilakukan adalah merencanakan model rancangan penelitian (*experimental design*). Rancangan penelitian ini akan menentukan keberhasilan proses pengujian ini. Sehingga dapat diperoleh analisis dan kesimpulan yang tepat sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan. Rancangan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1.

Rancangan perlakuan percobaan untuk kekuatan tarik

Pengulangan	<i>Tension</i> (N)				
	$F_0 = 0$	$F_1 = 10$	$F_2 = 20$	$F_3 = 30$	$F_4 = 40$
Kekuatan Tarik (N/mm ²)					
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}
Jumlah	$\sum Y_{ij1}$	$\sum Y_{ij2}$	$\sum Y_{ij3}$	$\sum Y_{ij4}$	$\sum Y_{ij5}$
Rata-rata	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5

Ket : $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{15}$ adalah nilai kekuatan tarik

Tabel 3.2
Rancangan perlakuan percobaan untuk kekuatan impact

Pengulangan	Tension (N)				
	F ₀ = 0	F ₁ = 10	F ₂ = 20	F ₃ = 30	F ₄ = 40
Kekuatan Impact (J/mm ²)					
1	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅
2	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅
3	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅
Jumlah	∑Y _{ij1}	∑Y _{ij2}	∑Y _{ij3}	∑Y _{ij4}	∑Y _{ij5}
Rata-rata	μ ₁	μ ₂	μ ₃	μ ₄	μ ₅

3.7 Pengolahan Data

3.7.1 Analisis varian satu arah

Berdasarkan pada tabel 3.1 di atas dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan analisis varian satu arah untuk mengetahui pengaruh variasi pada *reinforcement fiber* panel komposit terhadap kekuatan tarik.

- Jumlah seluruh kuadrat perlakuan

$$= \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y_i^2}{N}$$

- Jumlah kuadrat error (JKE)

$$JKE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = JKT - JKE$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1}$$

- Kuadrat tengah error (KTE)

$$KTE = \frac{JKE}{N-k}$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTE}$$

Rumus analisis varian satu arah (Thomasyunigunarto, 2009)

Hipotesis nol (h_0) adalah hipotesis yang menyatakan tidak adanya hubungan antara variabel independen (x) dan variabel dependen (y). Artinya, dalam rumusan hipotesis, yang diuji adalah ketidakbenaran variabel (x) mempengaruhi (y).

Hipotesis kerja (h_1) adalah hipotesis yang menyatakan adanya hubungan antara variabel independen (x) dan variabel dependen (y) yang diteliti. Hasil perhitungan h_1 tersebut, akan digunakan sebagai dasar pencarian data penelitian.

Tabel 3.3
Analisis varian satu arah

Sumber varian	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	F_{hitung}	$F(\alpha, k, db)$
Galat	k(n-1)	JKE	KTE		
Total	Nk-1	JKT			

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara nilai F_{hitung} dengan nilai F_{tabel} seperti yang telah ditunjukkan pada tabel 3.3 :

1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara kekencangan mula dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit datar terhadap kekuatan tarik.
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima dan H_1 ditolak, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara kekencangan mula dua arah pada *reinforcement fiber panel* komposit datar terhadap kekuatan tarik.

3.7.2 Standar Deviasi

Standar deviasi digunakan untuk mengetahui jarak patahan pada *reinforcement fiber* panel komposit yang diuji.

Tabel 3.4 .

Rancangan standar deviasi pengukuran jarak patahan.

No	Tension(N)	Data Jarak Pengukuran X_i (mm)	\bar{X} (mm)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	P ₁	X ₁	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_1 - \bar{X}$	$(X_1 - \bar{X})^2$
2	P ₂	X ₂	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_2 - \bar{X}$	$(X_2 - \bar{X})^2$
3	P ₃	X ₃	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_3 - \bar{X}$	$(X_3 - \bar{X})^2$
4	P ₄	X ₄	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_4 - \bar{X}$	$(X_4 - \bar{X})^2$
5	P ₅	X ₅	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_5 - \bar{X}$	$(X_5 - \bar{X})^2$
6	P ₆	X ₆	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_6 - \bar{X}$	$(X_6 - \bar{X})^2$
7	P ₇	X ₇	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_7 - \bar{X}$	$(X_7 - \bar{X})^2$
8	P ₈	X ₈	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_8 - \bar{X}$	$(X_8 - \bar{X})^2$
9	P ₉	X ₉	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_9 - \bar{X}$	$(X_9 - \bar{X})^2$
10	P ₁₀	X ₁₀	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_{10} - \bar{X}$	$(X_{10} - \bar{X})^2$
11	P ₁₁	X ₁₁	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_{11} - \bar{X}$	$(X_{11} - \bar{X})^2$
12	P ₁₂	X ₁₂	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_{12} - \bar{X}$	$(X_{12} - \bar{X})^2$
13	P ₁₃	X ₁₃	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_{13} - \bar{X}$	$(X_{13} - \bar{X})^2$
14	P ₁₄	X ₁₄	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_{14} - \bar{X}$	$(X_{14} - \bar{X})^2$
15	P ₁₅	X ₁₅	$\frac{\sum X_i}{n}$	$X_{15} - \bar{X}$	$(X_{15} - \bar{X})^2$
					$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$

Berdasarkan data pada tabel 3.4 dapat dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengetahui jarak patahan pada *reinforcement fiber* panel komposit tersebut.

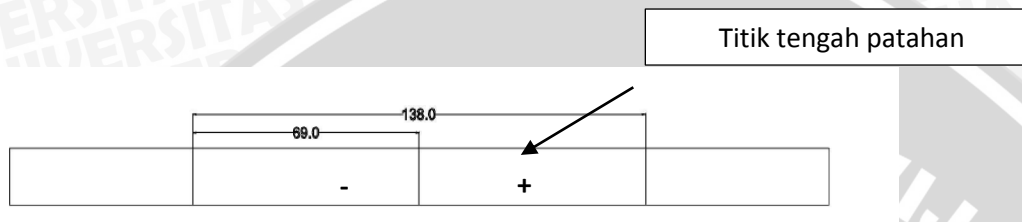
Keterangan : \bar{X} : Rata-rata jarak patahan

X_i : Data jarak pengukuran patahan

Rumus perhitungan standar deviasi

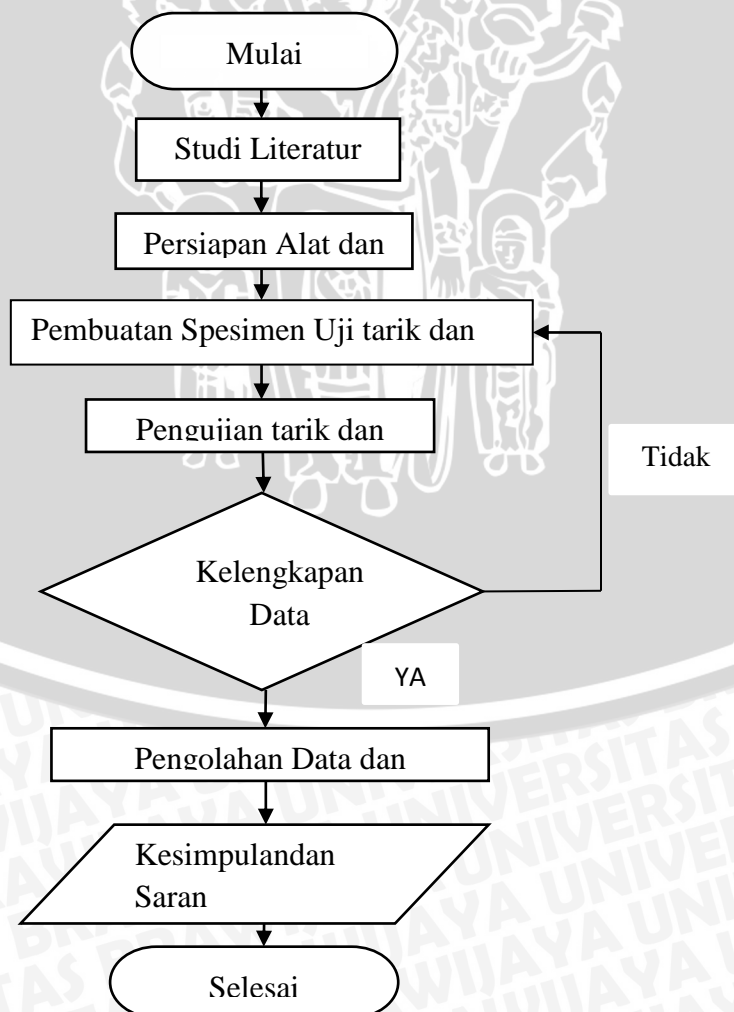
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (Rory, 2009) (3-1)$$

Pada gambar 3.16 dijelaskan titik tengah patahan spesimen



Gambar 3.16 Titik tengah patahan specimen

3.8. Diagram Alir Penelitian



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tarik dari variasi pre tension dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* dengan standar ASTM D 3039 yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Malang dan pengujian kekuatan *impact* dengan standar ASTM D 6110-04. Yang dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya di dapatkan data pada tabel 4.1 untuk data pengujian tarik dan data pada tabel 4.2 untuk data pengujian *impact*.

Dari hasil perhitungan tegangan total teoritis didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.1

Hasil perhitungan tegangan teoritis spesimen uji tarik arah *transversal*

No	Tension (N)	Luas penampang serat <i>fiber</i> (mm ²)	Theoretical Stress (N/mm ²)
1	0	$2,75 \cdot 62 = 170,5$	0
2	10	$2,27 \cdot 62 = 140,7$	0,071
3	20	$2,11 \cdot 62 = 130,8$	0,152
4	30	$1,67 \cdot 62 = 103,5$	0,289
5	40	$1,15 \cdot 62 = 71,3$	0,561

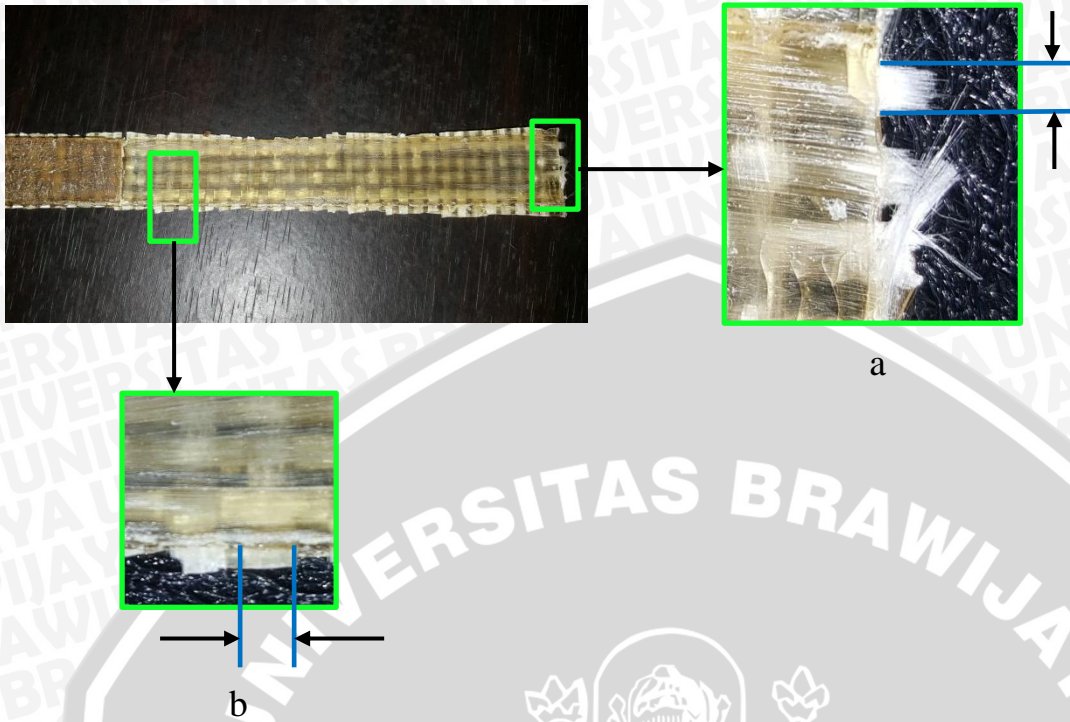
Tabel 4.2

Hasil perhitungan tegangan teoritis spesimen uji tarik arah *longitudinal*

No	Tension (N)	Luas penampang serat <i>fiber</i> (mm ²)	Theoretical Stress (N/mm ²)
1	0	$2,75 \cdot 4 = 11$	0
2	10	$2,44 \cdot 4 = 9,7$	1,03
3	20	$2,13 \cdot 4 = 8,5$	2,35
4	30	$1,89 \cdot 4 = 7,5$	4
5	40	$1,76 \cdot 4 = 7$	5,71



Pada gambar 4.1 merupakan tahap pengukuran luas penampang serat



Gambar 4.1 Tahap pengukuran luas penampang serat (a) arah longitudinal (b) arah transversal

Tabel 4.3
Data kekuatan tarik

Pre-tension(N)	kekuatan tarik(N/mm ²)			Jumlah	Rata-rata
	1	2	3		
0	53,33	53,33	57,78	164,44	54,81
10	62,22	62,22	68,44	192,89	64,30
20	84,00	88,89	97,78	270,67	90,22
30	102,22	100,44	103,11	305,78	101,93
40	104,44	128,44	142,22	375,11	125,04

Pada gambar 4.2 merupakan hasil spesimen uji tarik



Gambar 4.2 Hasil spesimen uji tarik

Pada gambar 4.3 merupakan hasil spesimen uji *impact*



Gambar 4.3 Hasil spesimen uji *impact*

Dari hasil perhitungan tegangan total teoritis didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.4

Hasil perhitungan tegangan teoritis arah *transversal* spesimen uji *impact*

No	Tension (N)	Luas penampang serat <i>fiber</i> (mm ²)	Theoretical Stress (N/mm ²)
1	0	$2,19 \cdot 29 = 63,5$	0
2	10	$1,83 \cdot 29 = 53$	0,188
3	20	$1,58 \cdot 29 = 46$	0,434
4	30	$1,42 \cdot 29 = 41,1$	0,729
5	40	$0,74 \cdot 29 = 21,4$	1,869

Tabel 4.5

Hasil perhitungan tegangan teoritis arah *longitudinal* spesimen uji *impact*

No	Tension (N)	Luas penampang serat <i>fiber</i> (mm ²)	Theoretical Stress (N/mm ²)
1	0	$2,68 \cdot 3 = 8$	0
2	10	$2,24 \cdot 3 = 6,7$	1,492
3	20	$2,05 \cdot 3 = 6,1$	3,278
4	30	$1,75 \cdot 3 = 5,2$	5,769
5	40	$1,51 \cdot 3 = 4,5$	8,888

Tabel 4.6
Data kekuatan *impact*

Pre-tension(N)	Kekuatan <i>impact</i> (J/mm ²)		
	1	2	3
0	3.72	3.70	2.77
10	3.28	2.57	1.62
20	2.21	1.64	0.53
30	2.23	0.36	0.36
40	0.56	0.36	0.56

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Tarik

Berdasarkan tabel 4.1 di atas dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan-persamaan berikut untuk mengetahui pengaruh variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* terhadap kekuatan tarik.

- Jumlah seluruh kuadrat perlakuan

$$= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 = 124776,89$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y_i^2}{N} = 124776,89 - \frac{1308,89^2}{15} = 10564,02$$

- Jumlah kuadrat error (JKE)

$$JKE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} = 124776,89 - \frac{371716,94}{3} = 871,24$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = JKT - JKE = 10564,02 - 871,24 = 9692,78$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{9692,78}{5-1} = 2423,19$$

- Kuadrat tengah error (KTE)

$$KTE = \frac{JKE}{(N-k)} = \frac{871,24}{(15-5)} = 87,12$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTE} = \frac{2423,19}{87,12} = 27,81$$

Tabel 4.7
Analisis varian satu arah uji tarik

Sumber Varian	Jumlah kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat tengah	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	9692,78	4	2423,19	27,81	3,48
Galat	871,24	10	87,12		
Total	10564,02	14			

Berdasarkan tabel 4.3 dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 10 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai – nilai F sebesar 3,48 pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 27,81. Terlihat F_{hitung} > F_{tabel}, berarti H₀ ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti pengaruh variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* meningkatkan kekuatan tarik.

4.2.2 Analisis Varian Satu Arah Kekuatan Impact

Berdasarkan tabel 4.2 di atas dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan-persamaan berikut untuk mengetahui pengaruh variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* terhadap kekuatan *impact*.

- Jumlah seluruh kuadrat perlakuan

$$= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 = 69,03$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y_i^2}{N} = 69,03 - \frac{189,71}{3} = 22,32$$

- Jumlah kuadrat error (JKE)

$$JKE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} = 69,03 - \frac{26,47^2}{15} = 5,79$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = JKT - JKE = 22,32 - 5,79 = 16,53$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{16,53}{5-1} = 4,13$$

- Kuadrat tengah error (KTE)

$$KTE = \frac{JKE}{(N - k)} = \frac{5,79}{(15 - 5)} = 0,58$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTE} = \frac{4,13}{0,58} = 7,13$$

Tabel 4.8
Analisis varian satu arah uji *impact*

Sumber Varian	Jumlah kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	16,53	4	4,13	7,13	3,48
Galat	5,79	10	0,58		
Total	22,32	14			

Berdasarkan tabel 4.4 dengan menggunakan derajat bebas (db) perlakuan dengan nilai 4 dan derajat bebas (db) galat dengan nilai 10 didapatkan harga F teoritik dalam tabel nilai – nilai F sebesar 3,48 pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil perhitungan didapatkan harga untuk F_{hitung} sebesar 7,13. Terlihat $F_{hitung} > F_{tabel}$, berarti H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa hipotesis dapat diterima yang berarti pengaruh variasi *pre-tension* dua arah pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* meningkatkan kekuatan *impact*.

4.2.3 Standar Deviasi

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tarik dimana setiap pengulangan variasi material didapatkan data standar deviasi untuk menetapkan batasan standar pada material *reinforcement fiber* panel komposit yang dijelaskan pada tabel 4.9 dan tabel 4.10 sebagai berikut :

Tabel 4.9
Standar deviasi pengukuran jarak patahan tarik

No	Tension (N)	X_i (mm)	\bar{X} (mm)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	0	67	45	22	484
2	0	79	45	34	1156
3	0	68	45	23	529
4	10	69	45	24	576
5	10	42	45	-3	9
6	10	64	45	19	361
7	20	2	45	-43	1849
8	20	66	45	21	441
9	20	4	45	-41	1681
10	30	3	45	-42	1764
11	30	69	45	24	576
12	30	7	45	-38	1444
13	40	70	45	25	625
14	40	62	45	17	289
15	40	3	45	-42	1764
Jumlah		675			13548

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{13548}{15-1}} = \sqrt{967.71} = 31.11 \text{ mm}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{675}{15} = 45 \text{ mm}$$

Tabel 4.10
Standar deviasi pengukuran jarak patahan *impact*

No	Tension (N)	X_i (mm)	\bar{X} (mm)	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	0	2	1,93	0,07	0,0049
2	0	2	1,93	0,07	0,0049
3	0	3	1,93	1,07	1,1449
4	10	1	1,93	-0,93	0,8649
5	10	2	1,93	0,07	0,0049
6	10	2	1,93	0,07	0,0049
7	20	2	1,93	0,07	0,0049
8	20	1	1,93	-0,93	0,8649
9	20	1	1,93	-0,93	0,8649
10	30	3	1,93	1,07	1,1449
11	30	2	1,93	0,07	0,0049
12	30	2	1,93	0,07	0,0049
13	40	1	1,93	-0,93	0,8649
14	40	2	1,93	0,07	0,0049
15	40	3	1,93	1,07	1,1449
Jumlah		29			6,9335

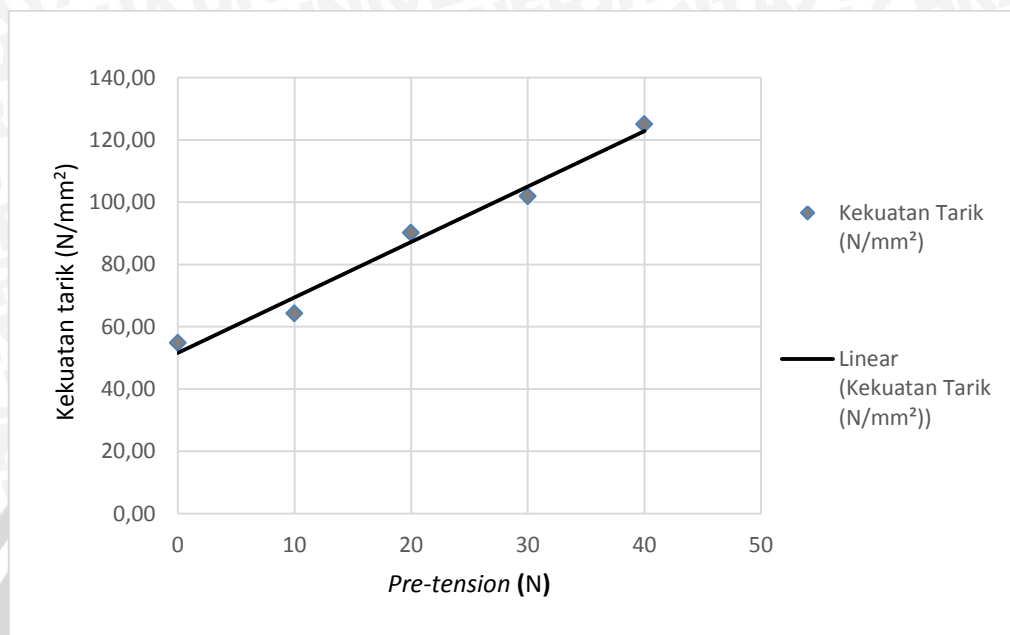
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6,9335}{15-1}} = \sqrt{0,49} = 0,704 \text{ mm}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{29}{15} = 1,93 \text{ mm}$$



4.3 Pembahasan

4.3.1 Grafik Hubungan Antara *Pre-Tension* Terhadap Kekuatan Tarik

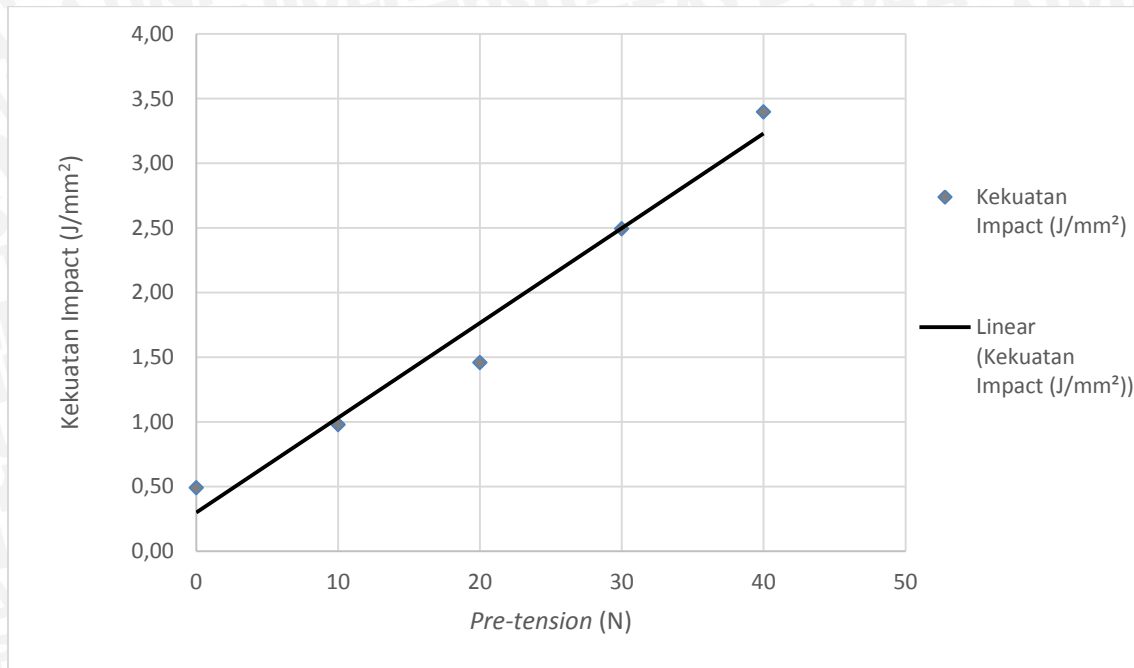


Gambar 4.4 Grafik hubungan antara *pre-tension* terhadap kekuatan tarik

Hubungan antara *pre-tension* dua arah terhadap kekuatan tarik pada *reinforcement fiber* panel komposit *vinylester* ditunjukkan pada gambar grafik 4.4 bahwa dengan memvariasikan *pre-tension* yang diterapkan pada panel komposit *vinylester* dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit. Dapat dilihat pada *pre-tension* 0 N memiliki nilai kekuatan tarik terendah yaitu 53,33 N/mm² sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 142,22 N/mm² terdapat pada *pre-tension* 40 N.

Hasil dari pengujian sesuai dengan hipotesis bahwa kekuatan tarik dari panel komposit *vinylester reinforcement fiber* berpengaruh yaitu mengalami peningkatan seiring meningkatnya variasi *pre-tension* yang diberikan pada serat penguat. Hal ini karena pada saat penarikan serat arah transversal dan longitudinal mengakibatkan tegangan sisa yang disebut *compressive stress* yang arahnya berlawanan dengan gaya tarik saat pengujian. Jadi *compressive stress* bekerja untuk melawan gaya tarik sehingga semakin besar *pre-tension* maka nilai kekuatan tarik semakin meningkat.

4.3.2 Grafik Hubungan Antara *Pre-Tension* Terhadap Kekuatan *Impact*



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara *pre tension* terhadap kekuatan *impact*

Hubungan antara variasi *pre-tension* pada *reinforcement fiber* panel komposit dapat dilihat pada gambar 4.5 grafik hubungan antara *pre-tension* terhadap kekuatan *impact*. Pada *pre-tension* 0N memiliki nilai kekuatan *impact* $0,56 \text{ J/mm}^2$, 10 N memiliki nilai kekuatan *impact* $2,21 \text{ J/mm}^2$, 20 N memiliki nilai kekuatan *impact* $2,23 \text{ J/mm}^2$, 30N memiliki nilai kekuatan *impact* $3,28 \text{ J/mm}^2$, 40N memiliki nilai kekuatan *impact* $3,72 \text{ J/mm}^2$.

Compressive stress dihasilkan dari dilepasnya tegangan pada serat, arah gaya akan berlawanan dengan gaya tarik serat sehingga mampu menahan beban pendulum ketika menghantam spesimen saat pengujian. Sehingga meningkatkan kekuatan *impact* material komposit. Hal ini sesuai dengan hipotesis bahwa *pre-tension* mengakibatkan perubahan pada kekuatan *impact* spesimen, yaitu semakin besar *pre-tension* yang diberikan meningkatkan kekuatan *impact*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian yang dilakukan dan analisis data diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik hasil pengujian mengalami kecenderungan meningkat dari *pre-tension* 0 N sampai 40 N. Pada *pre-tension* 0 N memiliki nilai kekuatan tarik terendah yaitu $53,33 \text{ N/mm}^2$ sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu $142,22 \text{ N/mm}^2$ terdapat pada *pre-tension* 40 N.
2. Kekuatan *impact* pada *reinforcement fiber* panel komposit terendah pada *pre-tension* 0 N dengan nilai kekuatan *impact* $0,56 \text{ J/mm}^2$ dan kekuatan *impact* tertinggi terjadi pada *pre-tension* 40N dengan kekuatan *impact* $3,72 \text{ J/mm}^2$.

5.2 Saran

1. Penyusunan dan penarikan serat harus diperhatikan sehingga tegangan dapat terdistribusi secara merata.
2. Pencampuran resin dan katalis harus sesuai agar spesimen kering merata, dan juga penuangan dilakukan perlahan untuk meminimalisir adanya gelembung udara yang bisa menimbulkan cacat, pengecekan berkala dilakukan agar terlihat jika penyusutan terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adenholics, 2008. *Laminated Composite*. Malang : <http://adenholics.blogspot.com/>.
- ASTM International. 2010. Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Glass Composite. *ASTM D 3039*. 2010.
- Asrori, 2000:06 “Perubahan Kinerja Mekanik Komposit Polietilen Oleh Pembentukan Ikat Silang Serta Adesi Antar Muka Matrik Pengisi”.
- Autar, 2006. *Mechanics of Composite Materials*. New York : Taylor and Francis Inc
- Barthelot. 1999. *Composite Materials*. New York : Maple-Vail Book Manufacturing Group
- Daniel. 2011. KARAKTERISASI KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT BAMBUN DAN SERAT GELAS SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN BAKU INDUSTRI
- Faisal. 2011. Metode pembuatan komposit <http://faisalpupa.blogspot.com/>.
- Frida, 1992. *Beberapa Sifat Mekanis dari Papan Komposit Serat Pendek Ijuk dengan Resin Epoksidan Resin Poliester*. Skripsi. FMIPA. USU: Medan. Hartanto, E. 2004.
- Krishnamurthy, Sriram. 2006. *Prestressed Advanced Fibre Reinforced Composite Fabrication And Mechanical Performance*. United Kingdom: Cranfield University.
- Munasir . 2011. Studi Pengaruh Orientasi Serat Fiber Glass Searah dan Dua Arah Single Layer terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Polypropylene
- Paramita, Pradnya. 2003. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta
- Rory, 2009, Menghitung Varian dan Standar Deviasi Secara Manual
- Sari, Nasmi Herlina . 2013. ANALISIS SIFAT KEKUATAN *IMPACT* KOMPOSIT *SANDWICH* PLASTIK BEKAS DIPERKUAT SERAT SISAL DENGAN *CORE* BONGGOL JAGUNG
- Scherf dan Wagner, 1992, dalam risetnya meneliti pengaruh dari pratarik (pre tension) yang diterapkan pada komposit serat tunggal.
- Shackelford. (1992). *Introduction to Materials Science for Engineer* (3rd ed.). New York: MacMillan Publishing.
- Showa Denko K.K. *Ripoxxy Data Sheet*.
- Sriram, 2006. *Prestressed Advanced Fibre Reinforced Composite : Fabrication And Mechanical Performance*. Inggris :Cranfield University.
- Surdia, Tata dan Shinroku, Saito. 2003. *Pengetahuan Bahan Teknik*.
- Taiwan Glass Ind. Corp. *Glass Fiber Properties Document*.

Thomasyunigunarto, 2009 Analisis Varians = Analysis of Variance = ANOVA

Wijoyo, Achmad Nuhidayat. 2014. PENGARUH JUMLAH LAMINA TERHADAP KEKUATAN *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT AREN-POLYESTER DENGAN *CORE* PELEPAH POHON PISANG

WWW.Nature.Com, 2008. NATURE MATERIALS.

Yanuar D., dan Kuncoro Diharjo, 2003. "Karakteristik Mekanis Komposit *Sandwich* Serat Gelas Serat *Chopped Strand Mat* Dengan Penambahan Lapisan *Gel Coat*", Skripsi, Teknik Mesin FT UNS, Surakarta.

