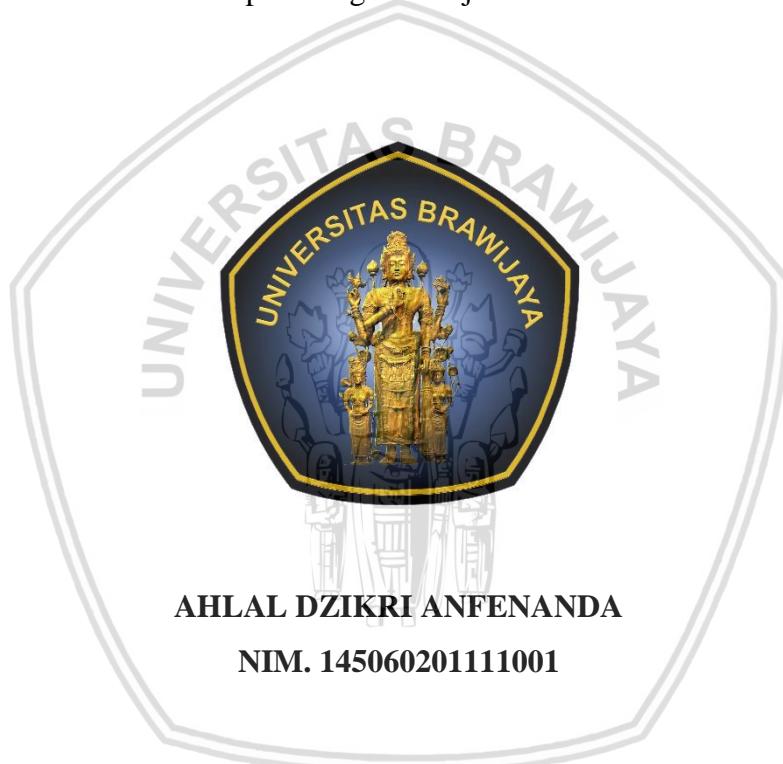


**PENGARUH PERLAKUAN LARUTAN NaOH TERHADAP
KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT BATANG SERAI WANGI
(*Cymbopogon nardus*) BERMATRIX EPOXY**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PERLAKUAN LARUTAN NaOH TERHADAP
KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT BATANG SERAI WANGI
(Cymbopogon nardus) BERMATRIX EPOXY

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

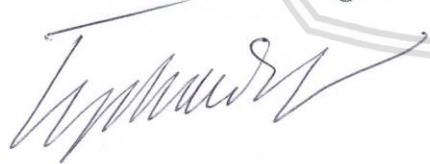
Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AHLAL DZIKRI ANFENANDA
NIM. 145060201111001

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 11 Desember 2018

Dosen Pembimbing I



Teguh Dwi Widodo, ST., M. Eng., Ph.D.
NIP. 201411 841123 1 001

Dosen Pembimbing II



Rudianto Raharjo, ST., MT.
NIP. 19820225 201212 1 002

Mengetahui,



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH PERLAKUAN LARUTAN NaOH TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT BATANG SERAI WANGI (*Cymbopogon nardus*) BERMATRIKS EPOXY

Nama Mahasiswa : Ahlal Dzikri Anfenanda

NIM : 145060201111001

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Manufaktur

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D.

Pembimbing II : Rudianto Raharjo, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

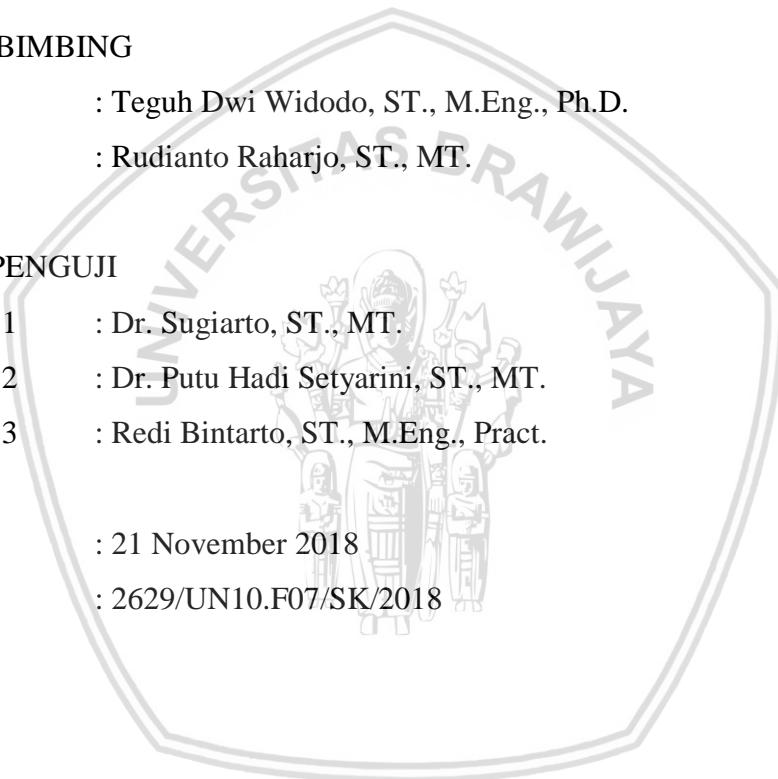
Dosen Penguji 1 : Dr. Sugiarto, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Redi Bintarto, ST., M.Eng., Pract.

Tanggal Ujian : 21 November 2018

SK Penguji : 2629/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah 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, 11 Desember 2018

Mahasiswa,



Ahmad Dzikri Anfenanda
NIM. 145060201111001





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 148/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

AHILAL DZIKRI ANFENANDA

Dengan Judul Skripsi :

PENGARUH PERLAKUAN LARUTAN NaOH TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SERAT BATANG SERAI WANGI (CYMBOPOGON NARDUS) BERMATRIKS EPOXY

Telah dideteksi tingkat plagiiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **11 DEC 2018**

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT
NIP. 19740930 200012 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Penulisan skripsi tersebut dimaksudkan sebagai persyaratan kelulusan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik. Adapun judul yang saya ajukan ialah : “**Pengaruh Perlakuan Larutan NaOH terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi (*Cymbopogon nardus*) Bermatriks Epoxy**”. Di dalam pengerajan skripsi ini tak luput pula dukungan, bantuan serta bimbingan dari berbagai macam pihak yang dimana pada kesempatan kali ini, saya menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberi bimbingan serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini
2. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberi saran dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini
3. Papa Anton Meinarijanto dan Mama Fenti Widayati sebagai orang tua penulis yang selalu ada dan mendukung penulis; Mbak Dita, Mas Dimas, dan Mas Ayus sebagai saudara yang selalu menjadi panutan penulis; serta Adek Ayra yang selalu memberikan senyuman sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberi ilmu selama perkuliahan
5. Keluarga Laboratorium Pengecoran Logam FT UB. Bapak Gatot Siswanto selaku Laboran. Partner asisten Metal Casting Fathur, Fahri, Tiara, Mas Fajar, Mas Reddy, Mas Sudiro, Mas Rofi, Mas Yepy, Mas Hisyam, Azimul, Surya, Farhan, Pudya, dan Eka yang selalu membantu dan memberi semangat kepada penulis.
6. Harish Indra Tanarko dan Ari Indrayanto selaku partner dalam skripsi yang selalu membantu dalam proses penelitian.
7. Aong, Rohfi, Fathur, Harish, Dhio, Ari, dan Viki yang selalu ada menghibur dikala apapun selama ini.
8. Teman-teman MESIN UB 2014 yang menjadi keluarga dari awal kuliah hingga kapanpun.

Besar harapan saya agar dikemudian hari skripsi ini dapat bermanfaat untuk saya dan semua para pembaca, baik di dalam bahan penunjang ataupun referensi dalam penelitian di bidang yang serupa. Saya sangat menyadari bahwa skripsi tersebut sangat jauh dari kata sempurna. Hal ini disebabkan masih sangat terbatasnya pengetahuan dan

kemampuan yang saya miliki. Oleh karena itu, saran serta kritik yang bersifat sangatlah saya harapkan guna mencapai hasil yang terbaik.

Akhir kata, saya ucapkan banyak terima kasih kepada para pembaca yang sudah menyempatkan membaca skripsi ini.

Malang, Desember 2018

Penulis



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | ix |
| RINGKASAN..... | x |
| SUMMARY | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya | 5 |
| 2.2 Alkalisasi Serat..... | 5 |
| 2.3 Kekuatan Tarik | 6 |
| 2.3.1 Uji Tarik | 6 |
| 2.3.2 Tegangan dan Regangan | 6 |
| 2.4 Komposit | 8 |
| 2.4.1 Pengertian Komposit | 8 |
| 2.4.2 Klasifikasi Komposit..... | 8 |
| 2.5 Serat..... | 10 |
| 2.5.1 Serai Wangi | 11 |
| 2.6 Matrik | 12 |
| 2.6.1 Komposit Matrik Polimer..... | 13 |
| 2.6.2 <i>Epoxy</i> | 15 |
| 2.7 Teori Ikatan Matrik dan Serat Penguat..... | 16 |
| 2.8 Metode Manufaktur Komposit | 18 |
| 2.9 <i>Wettability</i> | 19 |
| 2.10 <i>Fourier Transform-Infrared (FTIR) Spectroscopy</i> | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 2.10 Cacat pada Komposit..... | 20 |
| 2.10 Hipotesis | 21 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 23 |
| 3.1 Metode Penelitian..... | 23 |
| 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian Pengujian | 23 |
| 3.3 Variabel Penelitian | 23 |
| 3.3.1 Variabel Bebas | 24 |
| 3.3.2 Variabel Terikat..... | 24 |
| 3.3.3 Variabel Terkontrol | 24 |
| 3.4 Bahan dan Peralatan yang Digunakan..... | 24 |
| 3.4.1 Bahan | 24 |
| 3.4.2 Alat | 27 |
| 3.5 Uji Tarik Komposit | 33 |
| 3.6 Uji <i>Wettability</i> | 34 |
| 3.6 Proses Pelaksanaan..... | 34 |
| 3.6.1 Proses Pembuatan Serat Tunggal | 34 |
| 3.6.2 Proses Perendaman Alkali..... | 35 |
| 3.6.3 Proses <i>Vacuum Infusion Resin</i> | 35 |
| 3.7 Diagram Alir Penelitian..... | 37 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 39 |
| 4.1 Data Hasil Pengujian | 39 |
| 4.1.1 Kekuatan Tarik Serat Batang Serai Wangi..... | 39 |
| 4.1.2 Kekuatan Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi | 40 |
| 4.1.3 Regangan – Tegangan | 41 |
| 4.2 Analisis Patahan | 43 |
| 4.3 Hasil Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) | 46 |
| 4.3.1 SEM Serat Batang Serai Wangi | 46 |
| 4.3.2 SEM Patahan Komposit Serat Batang Serai Wangi | 49 |
| 4.4 <i>Wettability</i> | 51 |
| BAB V PENUTUP | 55 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 55 |
| 5.2 Saran..... | 55 |

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Tabel 2.1 | <i>Typical Unfilled Thermosetting Resin Properties</i> | 14 |
| Tabel 2.2 | <i>Typical Unfilled Thermoplastic Resin Properties</i> | 15 |
| Tabel 2.3 | Spesifikasi Resin Epoksi (<i>Eposchon</i>) | 16 |
| Tabel 2.4 | Spesifikasi Hardener Epoksi (<i>Eposchon</i>) | 16 |
| Tabel 3.1 | Spesifikasi <i>Liquid Standart Epoxy Resin</i> | 25 |
| Tabel 3.2 | Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-03, T = 3.2 mm (0.12)..... | 33 |



DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|--|---------|
| Gambar 2.1 | Proses alkalisasi NaOH pada lignin | 6 |
| Gambar 2.2 | Grafik tegangan-regangan polimer | 7 |
| Gambar 2.3 | Klasifikasi komposit | 9 |
| Gambar 2.4 | (a) Serat panjang (b) Serat pendek orientasi searah (c) Serat pendek orientasi acak..... | 9 |
| Gambar 2.5 | Komposit laminer dan <i>sandwich panels</i> | 10 |
| Gambar 2.6 | Struktur selulosa..... | 11 |
| Gambar 2.7 | Struktur lignin | 11 |
| Gambar 2.8 | Tanaman serai wangi | 12 |
| Gambar 2.9 | Klasifikasi komposit berdasarkan matrik..... | 13 |
| Gambar 2.10 | Tampak penampang samping ikatan molekul <i>thermoset</i> resin saat pengawetan..... | 13 |
| Gambar 2.11 | Bentuk molekular (a) <i>amorphous</i> dan (b) <i>semi-crystalline</i> polimer | 15 |
| Gambar 2.12 | Struktur kimia resin epoksi A dan B | 16 |
| Gambar 2.13 | Ikatan mekanik..... | 17 |
| Gambar 2.14 | Ikatan elektrostatik | 17 |
| Gambar 2.15 | Ikatan reaksi | 18 |
| Gambar 2.16 | (a) <i>Hand lay up</i> (b) <i>Vacuum bag</i> | 18 |
| Gambar 2.17 | <i>Resin transfer molding</i> | 19 |
| Gambar 3.1 | Resin dan katalis | 25 |
| Gambar 3.2 | Serat serai wangi | 26 |
| Gambar 3.3 | Larutan alkali | 26 |
| Gambar 3.4 | Mesin uji tarik serat tunggal | 27 |
| Gambar 3.5 | Sikat kawat..... | 27 |
| Gambar 3.6 | Mesin uji tarik | 28 |
| Gambar 3.7 | Jangka sorong digital | 29 |
| Gambar 3.8 | Cetakan | 29 |
| Gambar 3.9 | Timbangan digital | 30 |
| Gambar 3.10 | <i>Sealent tape</i> | 30 |
| Gambar 3.11 | <i>Mirror glaze</i> | 31 |
| Gambar 3.12 | <i>Mesh</i> | 31 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.13 <i>Plastic bag</i> | 31 |
| Gambar 3.14 <i>Vacuum compressor</i> | 32 |
| Gambar 3.15 <i>Resin trap</i> | 32 |
| Gambar 3.16 Dimensi spesimen tarik berdasarkan ASTM D638-03 | 33 |
| Gambar 3.17 Proses Uji <i>Wettability</i> | 34 |
| Gambar 3.18 Proses <i>vacuum infusion resin</i> | 35 |
| Gambar 3.19 Diagram alir penelitian..... | 37 |
| Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Serat Batang Serai Wangi..... | 39 |
| Gambar 4.2 Proses alkalisasi NaOH pada lignin | 40 |
| Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi | 40 |
| Gambar 4.4 Grafik Tegangan Regangan Komposit Serat Batang Serai Wangi | 41 |
| Gambar 4.5 Permukaan Patahan Komposit Serat Tanpa Perlakuan NaOH (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping..... | 43 |
| Gambar 4.6 Permukaan Patahan Komposit Serat Perendaman NaOH 3% (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping..... | 44 |
| Gambar 4.7 Permukaan Patahan Komposit Serat Perendaman NaOH 5% (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping..... | 45 |
| Gambar 4.8 Permukaan Patahan Komposit Serat Perendaman NaOH 7% (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping..... | 46 |
| Gambar 4.9 SEM Serat Batang Serai Wangi Tanpa Perlakuan (a) 500x (b) 1000x..... | 47 |
| Gambar 4.10 SEM Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 3% (a) 500x (b) 1000x..... | 47 |
| Gambar 4.11 SEM Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 5% (a) 500x (b) 1000x..... | 48 |
| Gambar 4.12 SEM Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 7% (a) 500x (b) 1000x..... | 48 |
| Gambar 4.13 SEM Patahan Komposit Serat Batang Serai Wangi Tanpa Perlakuan (a) 250x (b) 1000x | 49 |
| Gambar 4.14 SEM Patahan Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 3% (a) 250x (b) 1000x | 50 |
| Gambar 4.15 SEM Patahan Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 5% (a) 250x (b) 1000x | 50 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.16 SEM Patahan Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 7% (a) 250x (b) 1000x | 51 |
| Gambar 4.17 Sudut Kontak <i>Droplet</i> Serat Batang Serai Wangi (a) Tanpa Perendaman NaOH (b) Perendaman NaOH 3% (c) Perendaman NaOH 5% (d) Perendaman NaOH 7% | 52 |



DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul |
|-------------|--|
| Lampiran 1 | Uji Tarik Serat Batang Serai Wangi Tanpa Perendaman |
| Lampiran 2 | Uji Tarik Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 3% |
| Lampiran 3 | Uji Tarik Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 5% |
| Lampiran 4 | Uji Tarik Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 7% |
| Lampiran 5 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Tanpa Perendaman (1) |
| Lampiran 6 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Tanpa Perendaman (2) |
| Lampiran 7 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Tanpa Perendaman (3) |
| Lampiran 8 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 3% (1) |
| Lampiran 9 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 3% (2) |
| Lampiran 10 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 3% (3) |
| Lampiran 11 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 5% (1) |
| Lampiran 12 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 5% (2) |
| Lampiran 13 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 5% (3) |
| Lampiran 14 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 7% (1) |
| Lampiran 15 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 7% (2) |
| Lampiran 16 | Uji Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi Perendaman NaOH 7% (3) |
| Lampiran 17 | Perhitungan Fraksi Volume |
| Lampiran 18 | Uji FTIR Serat Tanpa Perlakuan |
| Lampiran 19 | Uji FTIR Serat Perendaman NaOH |

RINGKASAN

Ahlal Dzikri Anfenanda, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2018, *Pengaruh Perlakuan Larutan NaOH terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi (*Cymbopogon nardus*) Bermatriks Epoxy*, Dosen Pembimbing: Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D. dan Rudianto Raharjo, ST., MT.

Perkembangan teknologi saat ini begitu menanjak, terutama komposit yang demikian pesat telah menjadi tren baru dalam teknologi bahan. Pengembangan serat alam sebagai bahan penguat komposit telah banyak dilakukan. Guna meningkatkan sifat mekaniknya, serat alam telah diolah dengan berbagai macam perlakuan. Satu serat alam yang tersedia banyak di sekitar kita adalah serai wangi. Modifikasi kimia pada serat menggunakan larutan NaOH secara langsung mempengaruhi struktur serat dan meningkatkan kekuatan dari serat alam sebagai penguat komposit. Kekuatan dan kekakuan dari suatu serat alam tergantung pada kandungan selulosanya. Perlakuan NaOH meningkatkan kandungan selulosa melalui penghilangan hemiselulosa dan lignin pada serat, yang secara tidak langsung memberikan pengaruh terhadap kekuatan pada komposit serat alam Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan larutan NaOH terhadap kekuatan tarik komposit serat batang serai wangi (*Cymbopogon nardus*) bermatriks *epoxy*.

Konsentrasi larutan NaOH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3%, 5%, dan 7%. Serat batang serai wangi direndam selama 1 jam pada larutan NaOH. Metode *vacuum infusion* dengan tekanan -23 atm digunakan untuk membuat spesimen tarik dengan menyesuaikan standar ASTM D368-03. Dengan menggunakan fraksi volume, berat serat yang digunakan seberat 2,7 gram. Pengujian tarik serat tunggal menggunakan mesin uji tarik IMADA dengan kapasitas 50-60 N, dan pengujian tarik komposit menggunakan mesin uji tarik dengan kapasitas 20 KN.

Pada hasil penelitian didapatkan kekuatan tarik komposit terbesar pada komposit serat batang serai wangi dengan perendaman NaOH 7% yaitu 50,30 MPa, diikuti oleh komposit serat batang serai wangi dengan perendaman NaOH 5% sebesar 41,99 MPa, komposit serat batang serai wangi perendaman NaOH 3% dengan nilai 30,60 MPa, dan komposit serat batang serai wangi tampa perlakuan dengan nilai 25,04 MPa. Nilai kekuatan tarik yang semakin tinggi didapatkan karena kandungan kimia berupa lignin dan pektin terdegradasi, permukaan menjadi kasar, dan membuat ikatan antara matrik *epoxy* dan serat semakin meningkat. Morfologi serat dan ikatan antara matrik dengan serat dilihat menggunakan metode *Scanning Electronics Microscope*. Gaya ikat serat dapat dilihat menggunakan metode *wettability*, dan pada serat tanpa perlakuan, NaOH 3%, NaOH 5%, dan NaOH 7% didapatkan sudut kontak (θ) sebesar $49,76^\circ$; $45,57^\circ$; $40,07^\circ$; $32,41^\circ$. Nilai sudut kontak yang semakin kecil, menandakan semakin tinggi tegangan permukaan ($\cos \theta$) antara serat dan matrik.

Kata Kunci: Komposit, Serat Batang Serai Wangi, *Epoxy*, Kekuatan Tarik.

SUMMARY

Ahlal Dzikri Anfenanda, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2018, *The Effect of Treatment of NaOH Solution on the Tensile Strength of Fiber Composite of Lemongrass Stem (*Cymbopogon nardus*) with Epoxy Matrix*, Academic Supervisor: Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D. and Rudianto Raharjo, ST., MT.

*Current technological developments are so uphill. Especially composites which have rapidly become a new trend in materials technology. The development of natural fibers as a composite reinforcing material has been carried out. In order to improve its mechanical properties, natural fibers have been treated with a variety of treatments. One of the many natural fibers available around us is lemongrass fragrant. Chemical modification of fibers using a NaOH solution directly affects the structure of the fiber and increases the strength of natural fibers as the composite reinforcement. The strength and stiffness of a natural fiber depend on the cellulose content. The treatment of NaOH increases cellulose content through a removal of hemicellulose and lignin on fiber, which indirectly influences the strength of natural fiber composites. This study was conducted to determine the effect of treatment of NaOH solution on the composite strength of epoxy matrix citronella fiber (*Cymbopogon nardus*).*

The concentration of NaOH solution used in this study was 3%, 5%, and 7%. Fragrant lemongrass fiber is soaked for 1 hour in NaOH solution. The vacuum infusion method with a pressure of -23 atm is used to make tensile specimens by adjusting the ASTM D368-03 standard. By using a volume fraction, the weight of the fiber used is 2.7 grams. Single fiber tensile testing using IMADA tensile testing machine with a capacity of 50-60 N, and composite tensile testing using tensile testing machines with a capacity of 20 KN.

The results showed that the largest composite tensile strength on citronella scented fiber composites with 7% NaOH immersion was 50.30 MPa, followed by fragrant lemongrass fiber composites with 5% NaOH immersion of 41.99 MPa, citronella scented fiber soaking NaOH fibers. 3% with a value of 30.60 MPa, and lemongrass scented fiber composite without treatment with a value of 25.04 MPa. The higher the value of tensile strength is obtained because the chemical content of lignin and pectin is degraded, the surface becomes rough, and the bond between the epoxy and fiber matrix increases. The fiber morphology and the bond between the matrix and fiber are seen using the Scanning Electronics Microscope method. Fiber binding styles can be seen using the wettability method, and on untreated fibers, 3% NaOH, 5% NaOH, and 7% NaOH obtained the contact angle (θ) of 49.76° ; 45.57° ; 40.07° ; 32.41° . The value of the contact angle is getting smaller, indicating the higher surface tension ($\cos \sigma_{\text{rat}}$) between fiber and matrix.

Keywords: Composite, Fragrant Lemongrass Fiber, Epoxy, Tensile Strength.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman saat ini, teknologi berkembang begitu menanjak. Perindustrian secara terus menerus mengembangkan inovasi-inovasi terbaru yang belum pernah ada. Adanya keterbatasan sumber daya alam yang terus menipis, inovasi yang dikembangkan mulai menjamah lingkup ramah lingkungan untuk menggantikan energi yang tidak dapat diperbarui. Salah satu contohnya pengembangan pada bidang material.

Perkembangan teknologi material, terutama komposit yang demikian pesat telah menjadi tren baru dalam teknologi bahan. Kata komposit dalam istilah material komposit merupakan dua atau lebih material yang mempunyai sifat berbeda yang digabungkan pada skala makroskopik untuk membentuk materi baru yang memiliki sifat yang lebih baik (Jones, 1999). Material komposit memiliki sifat khas yang utama yaitu ringan. Umumnya dalam komposit terdapat bahan yang disebut sebagai “matriks” dan bahan “penguat”. Bahan penguat dalam komposit berperan untuk menahan beban yang diterima oleh material komposit. Bahan penguat yang umum digunakan selama ini adalah serat karbon, serat gelas, keramik. Akan tetapi, bahan penguat seperti serat karbon dan serat fiber masih dinilai kurang ramah lingkungan. Sehingga mulai munculah serat pengganti, seperti serat alam (ASM, 2001).

Pengembangan serat alam sebagai bahan penguat komposit telah banyak dilakukan. Serat alam sebagai jenis serat yang memiliki kelebihan-kelebihan mulai diaplikasikan sebagai bahan penguat dalam komposit polimer. Kelebihan yang didapatkan seperti jumlahnya yang melimpah, bahan yang dapat didaur ulang, tidak mengganggu kesehatan, serta tidak mencemari lingkungan (Joshi, 2004). Guna meningkatkan sifat mekaniknya, serat alam telah diolah dengan berbagai macam perlakuan.

Satu serat alam yang tersedia banyak di sekitar kita adalah serai. Serai (*Cymbopogon*), merupakan salah satu tumbuhan yang sering kita temui di Indonesia. Serai termasuk tanaman yang paling banyak dibudidayakan. Dalam kehidupan masyarakat pedesaan di Indonesia, serai mempunyai peranan penting. Selain digunakan sebagai bahan bumbu dapur untuk menyedapkan masakan keseharian masyarakat Indonesia, serai jenis Serai Wangi (*Cymbopogon nardus*) juga diolah untuk menghasilkan minyak atsiri dengan cara disuling. Luas area tanam serai wangi di Indonesia sebesar 18.989 Ha (Kementerian

Pertanian, 2014). Kandungan minyak atsiri serai wangi sekitar 0,5% - 1,5% dan sisanya merupakan limbah padat (ampas bahan baku) maupun air bekas penyulingan, selama ini limbah padat penyulingan digunakan sebagai bahan bakar penyulingan atau sebagai pupuk organik (Usmiati, 2016). Serat yang terkandung pada serai wangi sekitar 25,73%, dengan kandungan lignin sebesar 27,38%. Sedangkan kandungan selulosa pada serai wangi sebesar 35,0% (Ververis, 2004). Alhasil, serat batang serai wangi yang sudah diolah tidak digunakan sama sekali. Dengan dijadikan komposit, maka kekuatan dan ketahanan material akan meningkat sehingga memiliki kegunaan yang lebih banyak.

Kekuatan dan kekakuan dari suatu serat alam tergantung pada kandungan selulosanya. Perlakuan NaOH meningkatkan kandungan selulosa melalui penghilangan hemiselulosa dan lignin pada serat, yang secara tidak langsung memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *bending* pada komposit serat alam (Witono, 2013).

Pembuatan material komposit dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti *hand lay-up*, *injection moulding*, *lamination*, *filament winding*, dan masih banyak lagi. Pada penelitian ini digunakan proses RTM (*Resin Transfer Moulding*), atau bisa disebut sebagai *resin infusion*, dimana menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk menyalurkan resin secara laminar menuju cetakan yang terdapat material penguat dalam pembuatan komposit. RTM memberikan *curing time* yang lebih cepat dan komposit yang lebih padat dibandingkan metode lain (Kakani, 2004).

Diambil dari pertimbangan-pertimbangan yang sudah dijelaskan diatas, peneliti mencoba untuk menjelaskan pengaruh perlakuan serat alkali (NaOH) bahan penguat komposit dengan memanfaatkan batang serai wangi sebagai bahan penguat komposit dengan matriks *epoxy*. Dalam penelitian ini komposit serat batang serai yang bermatriks *epoxy* diuji dengan metode pengujian tarik dan dilakukan dengan metode *vacuum infusion*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan, didapatkan rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh perlakuan larutan NaOH terhadap kekuatan tarik komposit serat batang Serai Wangi (*Cymbopogon nardus*) bermatriks *epoxy*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Temperatur ruang pada saat pembuatan komposit serat serai wangi yang dianggap konstan.

2. Kecepatan aliran resin pada metode *vacuum infusion* yang dianggap konstan, (bergantung pada *vacuum pump*).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perlakuan larutan NaOH terhadap kekuatan tarik komposit serat batang Serai Wangi (*Cymbopogon nardus*) bermatriks *epoxy*.

1.5 Manfaat Penelitian

- Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.
1. Menghasilkan produk hasil komposit bermatriks *epoxy*. berpenguat serat batang Serai Wangi (*Cymbopogon nardus*) yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
 2. Menjadi perantara dan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan komposit bermatriks *epoxy*. berpenguat serat batang Serai Wangi (*Cymbopogon nardus*).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Cai dkk (2016) telah melakukan penelitian tentang “Pengaruh alkalisasi pada ikatan antar permukaan komposit berpenguat serat abaka”. Penelitian tersebut menjelaskan perlakuan perendaman NaOH 5% - 15% selama 2 jam mensolubilisasi hemiselulosa dan lignin dari serat abaka, serta mengubah struktur internal dan morfologi permukaan serat. Perendaman NaOH 5% menunjukkan kristalisasi selulosa yang tinggi dan menimbulkan sifat adhesi antar permukaan yang baik dengan resin *epoxy*.

Betan dkk (2014), meneliti “Pengaruh persentase alkali pada serat pangkal pelelah daun pinang (*Areca Catechu*) terhadap sifat mekanis komposit polimer”. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan suatu kesimpulan bahwa: perlakuan perendaman alkali NaOH (4%, 5%, dan 6%) selama 60 menit pada serat berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit yang dihasilkan. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan alkali NaOH 5% sebesar 195 MPa, sedangkan terendah terjadi pada serat tanpa perlakuan (murni) sebesar 84 MPa.

Yudhanto dkk (2016), meneliti tentang Pengaruh perlakuan alkali 5% dengan waktu perendaman 0, 2, 4, 6, dan 8 jam terhadap kekuatan tarik dan wettability serat alam *Agave Sisalana Perrine*. Bentuk droplet pada serat dengan perendaman 4 jam memiliki sudut kontak terkecil yaitu $10^\circ < \theta < 29^\circ$. Hal ini menunjukkan terjadi tegangan permukaan yang baik antara serat dan matriks.

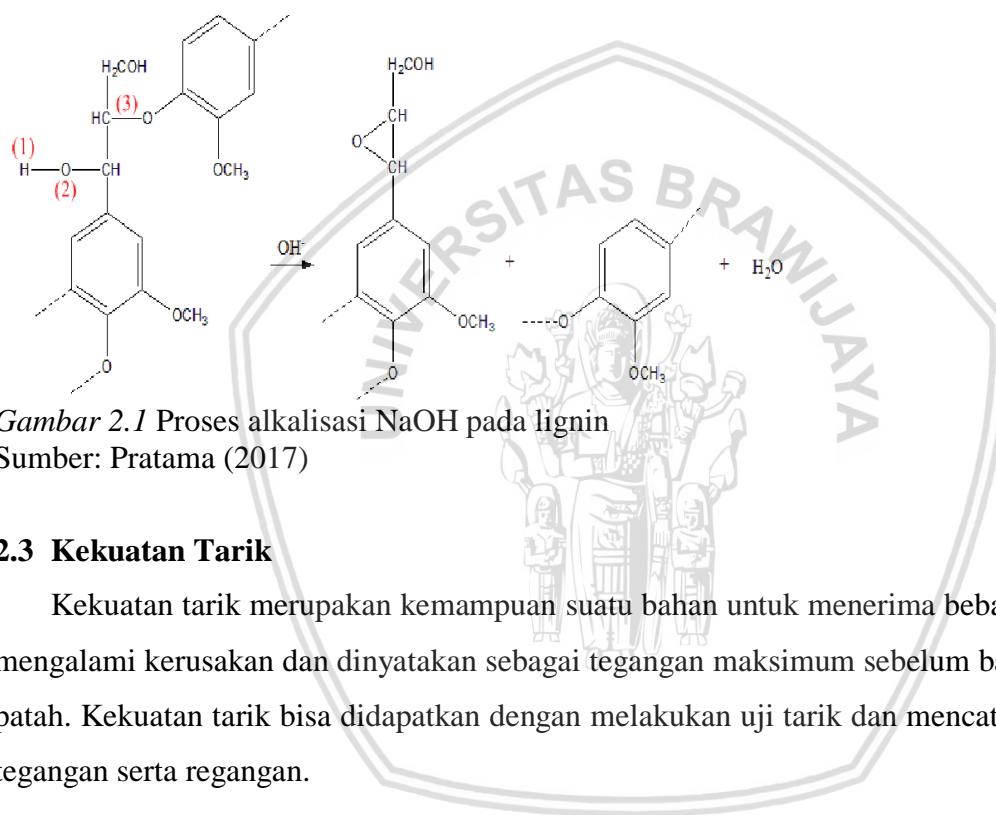
Rochmawati dkk (2017), telah meneliti “Karakterisasi sifat mekanik bahan komposit ramah lingkungan hasil sintesis dari serat lidah mertua (*Sansevieria Trifasciata*) dan selulosa bakteri”. Berdasarkan hasil penelitian, kekuatan tarik dan modulus elastisitas maksimum diperoleh pada bahan komposit hasil sintesis dengan arah penguat longitudinal yakni $7,91 \pm 1,46$ N/mm² dan $4,00 \pm 1,32$ N/mm² sedangkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas bahan komposit dengan arah penguat acak yakni $2,64 \pm 0,26$ N/mm² dan $1,19 \pm 0,24$ N/mm².

2.2 Alkalisasi Serat

Alkalisasi pada serat merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan serat berkualitas tinggi dengan cara merendamkan serat ke dalam larutan basa alkali. Tujuan

alkalisasi pada serat untuk memperoleh ikatan yang baik antara permukaan serat dengan matriks. Alkali memiliki tiga jenis larutan, yaitu KOH, NaOH, dan LiOH. NaOH merupakan larutan yang sering digunakan untuk memodifikasi serat alam.

Proses alkalisasi akan menghilangkan komponen penyusun serat yang tidak mendukung ikatan yang kuat antara serat dan matriks, yaitu hemiselulosa, lignin, atau pektin. Dengan berkurangnya komponen serat tersebut, maka kekuatan serat akan semakin baik. Dikarenakan kekasaran permukaan serat akan semakin meningkat, sehingga menghasilkan ikatan mekanik yang baik antara serat dan matriks.



2.3 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik bisa didapatkan dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan tegangan serta regangan.

2.3.1 Uji Tarik

Uji tarik digunakan untuk memperoleh informasi dari kekuatan bahan dan sebagai uji spesifikasi bahan. Pada uji tarik spesimen dibebani gaya tarik searah sumbu secara kontinyu.

2.3.2 Tegangan dan Regangan

Untuk hampir semua bahan material tahap uji tarik hubungan antara beban atau gaya yang diberikan pada bahan percobaan berbanding lurus terhadap perubahan panjang bahan tersebut, ini disebut daerah linier. “Rasio tegangan dan regangan adalah konstan”. Sehingga hubungan antara tegangan dan regangan di rumuskan:

Dimana:

E = Modulus elastisitas (GPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan (%)

Tegangan tarik merupakan distribusi gaya tarik persatuan luas bahan, dirumuskan:

Dimana:

σ_T = Tegangan tarik (MPa)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal, dirumuskan:

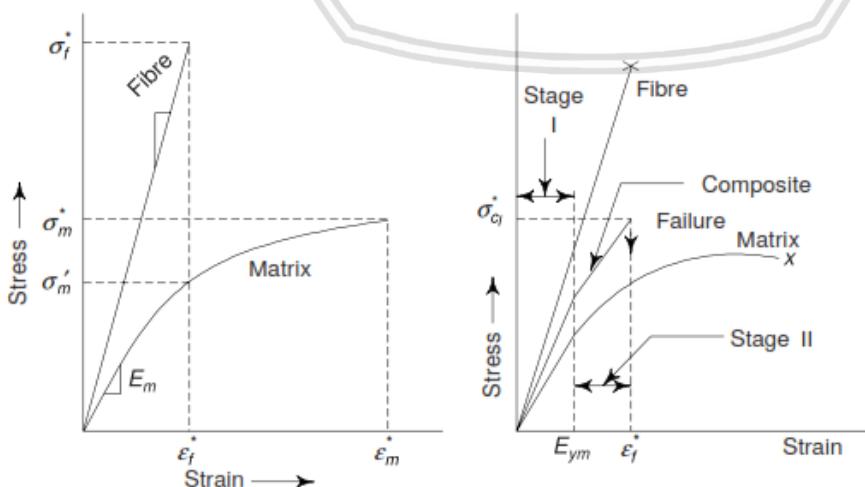
Dimana:

E = Regangan (%)

l_0 = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Hubungan antara regangan dan tegangan juga dapat diketahui dengan jelas dari grafik tegangan-regangan yang berdasarkan hasil uji tarik sebagai berikut.



Gambar 2.2 Grafik tegangan-regangan polimer
Sumber: Kakani (2004)

Dalam buku *Material Science*, Kakani (2004) menuliskan tentang kurva tegangan regangan yang dimiliki oleh komposit. Pada dasarnya komposit merupakan gabungan dari dua material yang bersifat *brittle (fiber)* dan bersifat *ductile (matrix)*. Pada grafik tersebut terlihat bahwa kurva tegangan regangan komposit berada ditengah tengah antara kurva tegangan regangan *fiber* dan *matrix*. ini terjadi dikarenakan komposit merupakan gabungan dari *fiber* dan *matrix* yang saling melengkapi sehingga membentuk suatu material baru yang lebih tepat guna.

2.4 Komposit

2.4.1 Pengertian Komposit

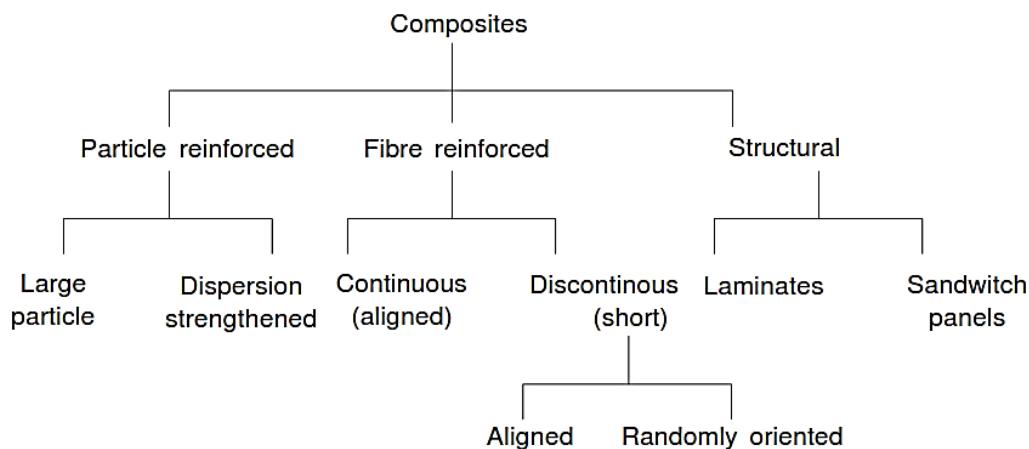
Kata komposit dalam istilah material komposit menandakan dua atau lebih material yang digabungkan dalam skala makroskopik untuk membentuk material baru yang lebih baik. Yang perlu digaris bawahi adalah pemeriksaan makroskopik pada bahan dimana komponen dapat dilihat dengan mata telanjang. Material-material lainnya dapat digabungkan dalam skala mikroskopik, seperti paduan logam. Tetapi material yang dihasilkan, tidak dapat dibedakan dengan mata telanjang (Gibson, 1994). Pengertian lain dari komposit adalah dua atau lebih material baru yang memiliki sifat dan properti yang berbeda, dikombinasikan secara makroskopik dengan batasan yang terlihat jelas (ASM Handbook, 2001).

Komposit mempunyai keuntungan yaitu sifat dari komposit diinginkan dapat diatur tergantung dari material penyusunnya. Material penyusun komposit terdiri dari dua jenis material yang berbeda, yaitu reinforcement (penguat) yang memiliki kekakuan yang tinggi tetapi kurang *ductile*, dan matrik yang umumnya lebih *ductile* akan tetapi memiliki kekakuan dan kekuatan yang kurang.

2.4.2 Klasifikasi Komposit

Komposit secara sederhana diklasifikasikan menurut material komposit dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:





Gambar 2.3 Klasifikasi komposit

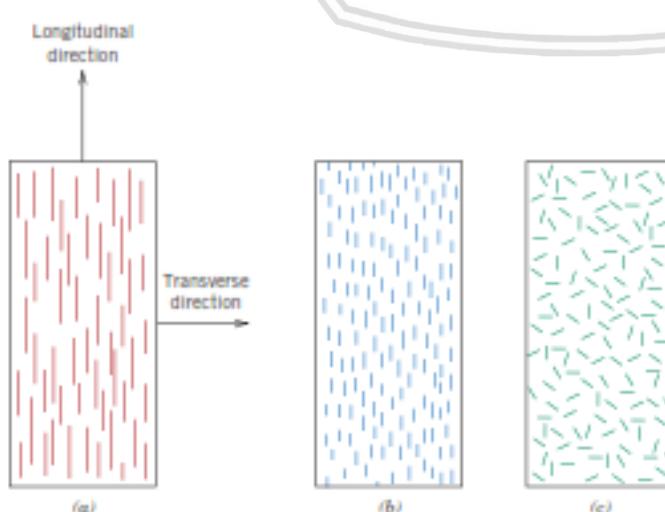
Sumber: Kakani (2004)

1. *Particle-reinforced*

Particle-reinforced adalah jenis komposit yang memanfaatkan partikel sebagai pengisi (*filler*). *Filler* dapat menggunakan partikel berupa logam maupun non-logam. *Particle-reinforced* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu partikel besar (*large-particle*) dan penyebaran partikel kecil (*dispersion-strengthened*).

2. *Fiber-reinforced*

Fiber-reinforced merupakan komposit yang tersusun dari matrik dan berpenguat serat. Komposit berpenguat serat dibagi menurut panjang serat, yaitu serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*discontinuous fiber*). Untuk serat pendek dapat dibedakan lagi berdasarkan arah orientasinya, searah (*aligned*) ataupun acak (*randomly oriented*).

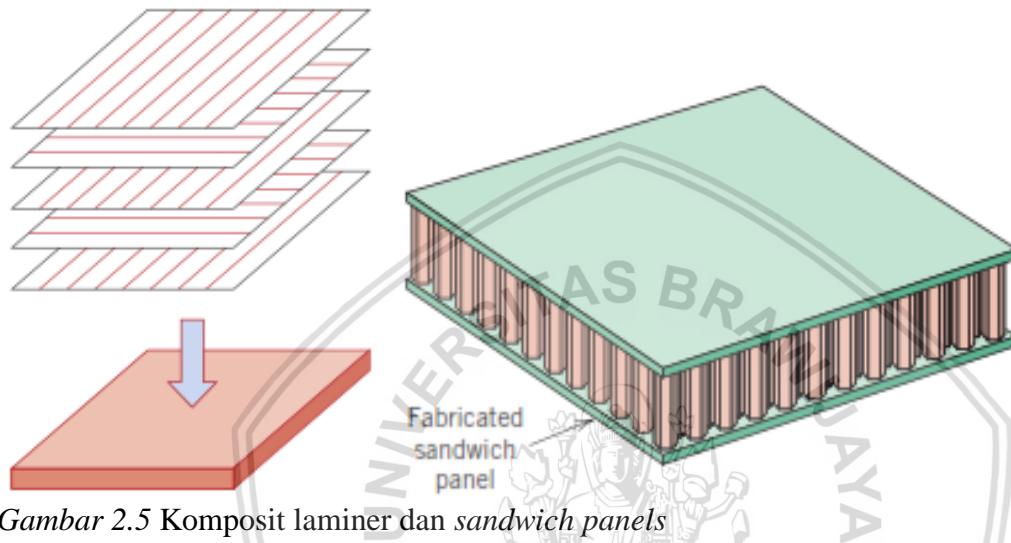


Gambar 2.4 (a) Serat panjang (b) Serat pendek (orientasi searah) (c) Serat pendek (orientasi acak)

Sumber: Callister (2007)

3. Structural

Structural merupakan salah satu komposit yang terdiri dari dua atau lebih material berbeda, lalu direkatkan bersama-sama dengan menggabungkan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk mendapatkan material yang memiliki sifat yang lebih baik. Komposit laminer dan *sandwich panels* merupakan dua dari komposit struktural yang paling umum.



Gambar 2.5 Komposit laminer dan *sandwich panels*
Sumber: Callister (2007)

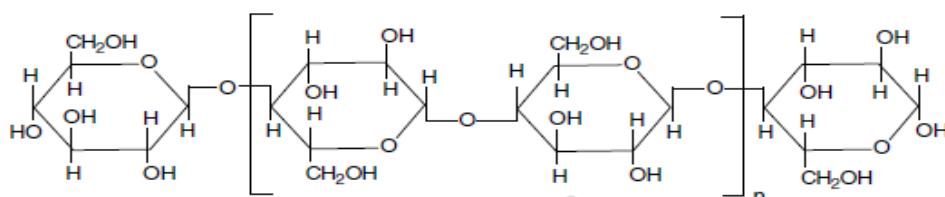
2.5 Serat

Serat adalah salah satu jenis komponen penguat (*reinforcement*) yang akan berikatan pada komponen pengikat (*matrix*). Komponen ini berfungsi sebagai penentu kekuatan dan kekakuan dari suatu material komposit. Hal ini dikarenakan fungsi utama dari komponen penguat adalah sebagai penahan beban dari suatu material. Pada material komposit, serat menahan beban sekitar 70%-90% dari total beban yang diterima oleh komposit (Mazumdar, 2002). Ada dua hal yang membuat serat dapat menahan gaya yaitu:

1. Perekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (*interfacial bonding*) yang baik dan kuat sehingga tidak mudah terjadi pelepasan antara matrik dan serat (*debonding*).
2. Kelangsungan (*aspect ratio*) yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat cukup besar.

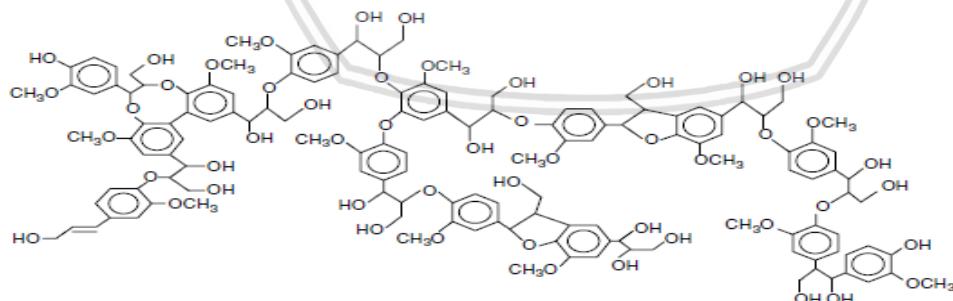
Berdasarkan asalnya, serat dibedakan menjadi dua macam, yaitu serat alam (*natural fiber*) dan serat buatan (*synthetic fiber*). Serat alam yang tergolong dalam kayu atau non kayu jenis memiliki komposisi utama selulosa dan lignin. Jumlah selulosa dalam sistem lignoselulosa dapat bervariasi, hal tersebut tergantung pada spesies dan umur tanaman.

Selulosa adalah *hydrophilic glucan polymer* yang terdiri dari rantai linear unit 1,4- β -anhydroglucose, yang mengandung gugus *alcoholic hydroxyl*. Kelompok hidroksil akan membentuk ikatan hidrogen antar molekul dan intramolekul dengan makromolekul atau dengan makromolekul selulosa atau molekul polar. Secara kimia, maka struktur dari selulosa dapat dijelaskan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.6 Struktur selulosa
Sumber: Mohanty (2005)

Komposisi lignin atau zat kayu pada setiap jenis tumbuhan memiliki jumlah yang berbeda-beda tergantung pada jenis tumbuhannya. Lignin memiliki fungsi sebagai pengikat komponen lainnya dalam tumbuhan terutama pada bagian batang, sehingga menyebabkan batang sebuah pohon dapat berdiri tegak. Struktur kimia pada lignin memiliki pola yang tidak sama dan sangat kompleks. Lignin termasuk kedalam gugus aromatik, hal ini yang saling menghubungkan dengan rantai alifatik dan terdiri dari 2-3 karbon. Hasil dari proses priolisis pada lignin menghasilkan senyawa berupa fenol dan kresol yang termasuk kedalam senyawa kimia aromatis.



Gambar 2.7 Struktur lignin
Sumber: Mohanty (2005)

2.5.1 Serai Wangi

Pada umumnya di Indonesia, serai dibagi menjadi dua macam, yaitu serai dapur yang biasa digunakan sebagai bahan pelengkap masakan dan serai wangi. Serai wangi yang bernama latin *Cymbopogon nardus* ini merupakan tanaman yang masuk dalam golongan

tanaman rerumputan yang salah satunya menghasilkan minyak atsiri, dan sudah banyak dikembangkan. Serai wangi mempunyai potensi yang sangat besar sebagai sumber devisa dan pendapatan para petani serta lapangan kerja. Nangroe Aceh Darussalam, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Sulawesi Selatan merupakan komoditas serai wangi yang cukup berkembang di Indonesia dengan luas area tanam sebesar 18.989 Ha (Direktorat Jendral Perkebunan, 2013).



Gambar 2.8 Tanaman serai wangi

Sumber: Dacosta (2017)

Tanaman serai mampu tumbuh sampai 1-1,5m. Panjang daunnya mencapai 70-80cm dan lebarnya 2-5cm, berwarna hijau muda, kasar dan mempunyai aroma yang kuat. *Cymbopogon nardus* memiliki kandungan lignin yang sedikit tinggi (27,38%). Sedangkan kandungan selulosa pada serai wangi sebesar 35,0%. Nilai α -Selulosa ini berada dalam kisaran yang sama dengan sebagian besar tanaman non-kayu (Ververis, 2004).

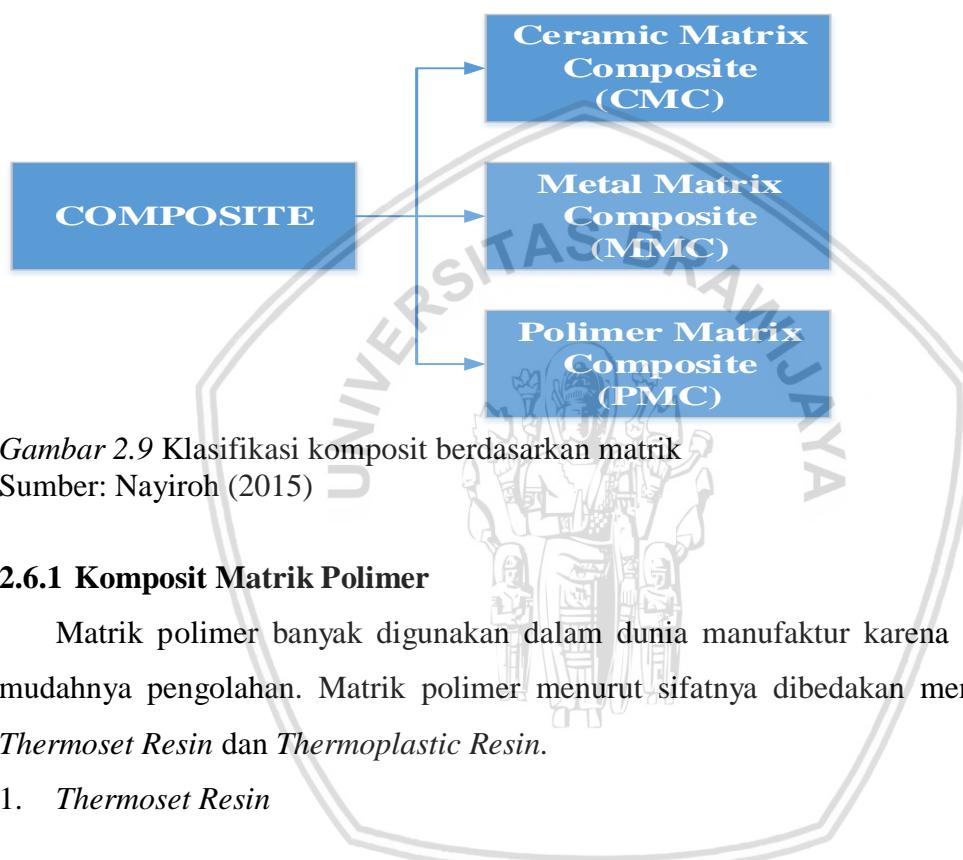
2.6 Matrik

Jones (1999:5) dalam bukunya yang berjudul *Mechanic of Composite Materials* menjelaskan fungsi utama dari matrik pada komposit adalah:

1. Mempengaruhi karakteristik material komposit secara keseluruhan, seperti keuletan, ketangguhan, dan kekuatan tariknya.
2. Mencegah atau memperlambat terjadinya *crack* dengan cara mengisolasi serat-serat, sehingga masing-masing serat dapat bekerja secara terpisah dalam menahan gaya.
3. Merekatkan serat-serat pada komponen komposit dan menyampaikan gaya yang diterima oleh material menuju serat, sehingga matrik merupakan salah satu komponen pendukung dalam penentuan bentuk dankekakuan material komposit.

- Melindungi serat terhadap gangguan kimiawi dan mekanis (*wear resistance*).

Matriks biasanya memiliki karakteristik densitas, kekakuan, dan kekuatan yang lebih rendah dari serat penguat. Dengan adanya penggabungan antara serat dan matriks akan didapatkan kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi, namun masih mempunyai densitas yang rendah. Matriks yang dapat digunakan dalam pembuatan komposit dapat berupa polimer (*Polymer Matrix Composite*), logam (*Metal Matrix Composite*), dan keramik (*Ceramic Matrix Composite*).



Gambar 2.9 Klasifikasi komposit berdasarkan matriks

Sumber: Nayiroh (2015)

2.6.1 Komposit Matrik Polimer

Matrik polimer banyak digunakan dalam dunia manufaktur karena fleksibilitas dan mudahnya pengolahan. Matrik polimer menurut sifatnya dibedakan menjadi dua, yaitu *Thermoset Resin* dan *Thermoplastic Resin*.

1. Thermoset Resin



Gambar 2.10 Tampak penampang samping ikatan molekul thermoset resin saat pengawetan

Sumber: Mazumdar (2002)

Resin *thermoset* memiliki karakteristik apabila telah diawetkan maka *matrix* tidak dapat dicairkan ataupun dibentuk kembali. Ketika proses pengawetan *thermoset* resin akan membentuk ikatan molekul seperti pada gambar diatas. Ikatan molekul inilah yang menyebabkan material komposit menjadi tidak elastis, tidak dapat dicairkan ataupun

dilakukan pembentukan kembali. Semakin banyak ikatan molekul yang terbentuk, maka material komposit yang dihasilkan akan memiliki sifat kestabilan thermal dan kekakuan yang semakin baik. Walaupun memiliki sifat yang tidak fleksibel, namun dalam penggunaannya *thermoset resin* dapat dibentuk dengan cara dilakukan pemanasan terlebih dahulu. Pemanasan *thermoset resin* ini biasanya digunakan pada struktur yang berbentuk melengkung.

Thermoset resin juga memiliki beberapa keunggulan, diantaranya sifatnya yang baik untuk proses *impregnasi* pada serat. Hal ini disebabkan oleh *thermoset resin* dapat bersifat cair pada temperatur ruangan. Keunggulan lain yang dimiliki *thermoset resin* diantaranya adalah kestabilan bentuk dan *thermal* yang baik, kekakuan yang baik, ketahanan terhadap lingkungan sekitar yang lebih baik.

Thermoset resin yang paling umum digunakan adalah *epoxy*, *polyester*, *vinylester*, *phenolics*, *cyanate esters*, *bismaleimids*, dan *polymides*.

Tabel 2.1
Typical Unfilled Thermosetting Resin Properties

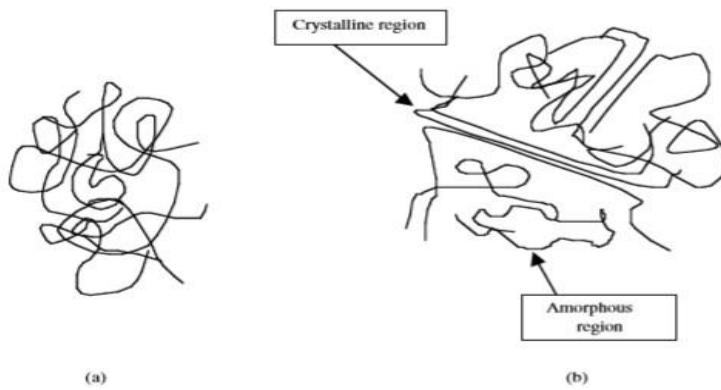
| Resin Material | Density (g/cm³) | Tensile Modulus GPa (10⁶ psi) | Tensile Strength MPa (10³ psi) |
|-----------------------|-----------------------------------|---|--|
| Epoxy | 1.2-1.4 | 2.3-5.0 (0.36-0.72) | 50-110 (7.2-16) |
| Phenolic | 1.2-1.4 | 2.7-4.1 (0.4-0.6) | 35-60 (5-9) |
| Polyester | 1.1-1.4 | 1.6-4.1 (0.23-0.6) | 35-95 (5.0-13.8) |

Sumber: Mazumdar (2002)

2. *Thermoplastic Resin*

Secara umum resin *thermoplastic* bersifat ulet dan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan resin *thermostat*. Resin *thermoplastic* biasanya digunakan pada pembuatan material tanpa menggunakan *filler* dan penguat. Resin *thermoplastic* dapat dicairkan pada suhu tinggi dan kembali membeku ketika dinginkan.

Pada proses pengawetan, resin *thermoplastic* tidak membentuk ikatan molekuler seperti yang terjadi pada resin *thermostat*. Resin *thermoplastic* dapat berbentuk *amorphous* maupun *semi-crystalline* seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.11 Bentuk molekular (a) *amorphous* dan (b) *semi-crystalline* polimer
Sumber: Mazumdar (2002)

Jika dibandingkan dengan resin *thermostat*, resin *thermoplastic* memiliki sifat mekanik lebih mudah terjadinya mulur pada suhu tinggi. Pada proses pembuatannya, resin *thermoplastic* membutuhkan suhu yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan resin *thermostat*. Berikut adalah beberapa jenis resin *thermoplastic* beserta sifatnya.

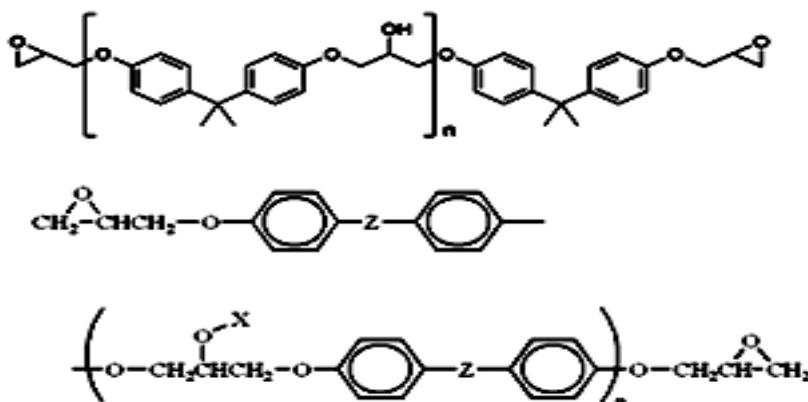
Tabel 2.2
Typical Unfilled Thermoplastic Resin Properties

| Resin Material | Density (g/cm³) | Tensile Modulus GPa (10⁶ psi) | Tensile Strength MPa (10³ psi) |
|-----------------------|-----------------------------------|---|--|
| Nylon | 1.1 | 1.3-3.5 (0.2-0.5) | 55-90 (8-13) |
| PEEK | 1.3-1.35 | 3.5-4.4 (0.5-0.6) | 100 (14.5) |
| PPS | 1.3-1.4 | 3.4 (0.49) | 80 (11.6) |
| Polyester | 1.3-1.4 | 2.1-2.8 (0.3-0.4) | 55-60 (8-8.7) |
| Polycarbonate | 1.2 | 2.1-3.5 (0.3-0.5) | 55-70 (8-10) |
| Acetal | 1.4 | 3.5 (0.5) | 70 (10) |
| Polyethylene | 0.9-1.0 | 0.7-1.4 (0.1-0.2) | 20-35 (2.9-5) |
| Teflon | 2.1-2.3 | - | 10-35 (1.5-5.0) |

Sumber: Mazumdar (2002)

2.6.2 Epoxy

Resin Epoksi terdiri dari 2 bagian penyusun, diantaranya: Epoksi A resin dan Epoksi B *hardener*. Resin epoksi ini memiliki bentuk berupa cairan yang sangat kental serta padat. Penggunaan dari resin ini dengan cara menggabungkan atau mencampurkan antara resin dan hardener yang akan menghasilkan reaksi antara resin dan hardener yang bertujuan untuk membentuk polimer *crosslink*, sehingga akan terjadi pengerasan resin epoksi. *Curing time* yang terjadi pada resin ini tergantung dari penggunaan hardener. Struktur kimia serta spesifikasi dari resin epoksi A dan B dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Tabel 2.3 - 2.4



Gambar 2.12 Struktur kimia resin epoksi A dan B

Sumber: Clayton (1987)

Tabel 2.3
Spesifikasi Resin Epoksi (*Eposchon*)

| Sifat Mekanik | Besaran | Satuan |
|---------------------------------------|---------------|---------|
| Viskositas (at 25°C) | 16000 - 20000 | mPa.s |
| Epolsi equivalent | 184 - 204 | g-equiv |
| Hydrolyzable chlorine content | < 0,05 | % |
| Colour according to the Gardner scale | 12-15 | |

Sumber: PT. Justus Kimia Raya (2003)

Tabel 2.4
Spesifikasi Hardener Epoksi (*Eposchon*)

| Sifat Mekanik | Besaran | Satuan |
|-----------------------|---------|---------------------|
| Kekuatan tarik | 410 | kgf/cm ² |
| Kekuatan fleksural | 810 | kgf/cm ² |
| Kekuatan tekan | 740 | kgf/cm ² |
| Kekuatan geser adesif | 160 | kgf/cm ² |

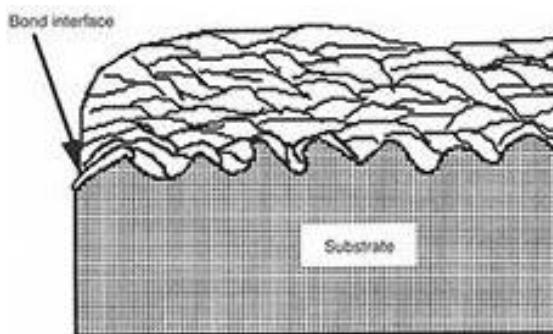
Sumber: PT. Justus Kimia Raya (2003)

2.7 Teori Ikatan Matrik dan Serat Penguat

Ketika matriks melapisi dan melekat pada serat penguat. terjadi ikatan antar serat dengan matriks. ada beberapa macam ikatan yang terbentuk antara lain:

1. Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*)

Matriks cair akan menyebar ke seluruh permukaan serat penguat dan mengisi setiap lekuk dan permukaan serat. serat penguat yang kasar akan saling mengunci dan semakin kasar permukaan serat maka ikatan yang terjadi akan semakin kuat.

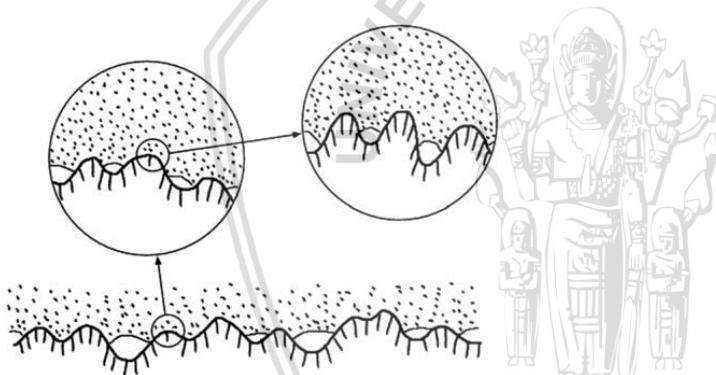


Gambar 2.13 Ikatan mekanik

Sumber: Matthew and Rawling (1994)

2. Ikatan elektrostatik (*electrostatic bonding*)

Ikatan elektrostatik seperti yang di tunjukkan terjadi antara matriks dan serat penguat ketika salah satu permukaan yang mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, sehingga terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.

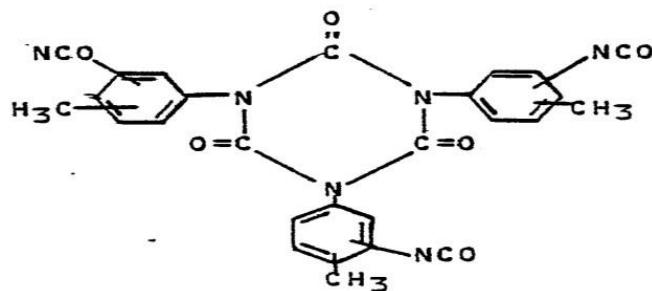


Gambar 2.14 Ikatan elektrostatik

Sumber: Matthew and Rawling (1994)

3. Ikatan reaksi (*Reaction bonding*)

Atom atau molekul dari dua komponen dalam komposit dapat bereaksi pada permukaan sehingga terjadi ikatan reaksi. Ikatan ini membentuk lapisan permukaan yang mempunyai sifat yang berbeda dari kedua komponen tersebut. Ikatan ini dapat terjadi karena adanya difusi atom-atom permukaan dari komponen komposit

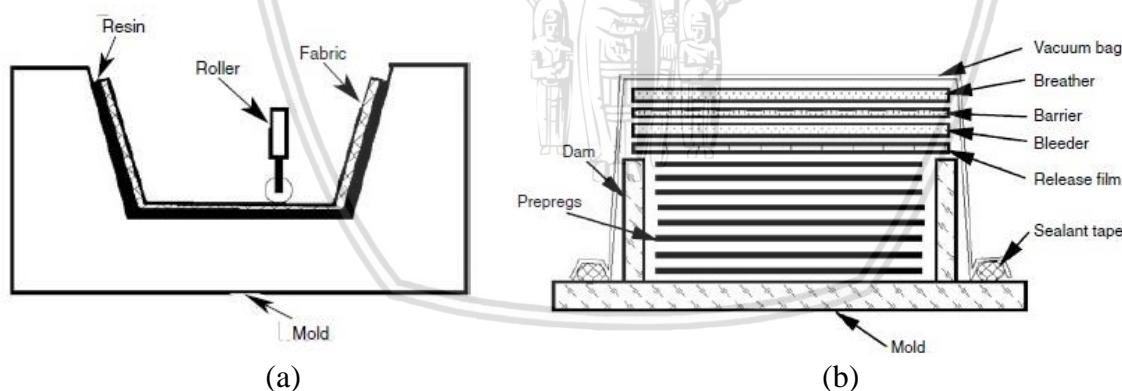


Gambar 2.15 Ikatan reaksi

Sumber: Matthew and Rawling (1994)

2.8 Metode Manufaktur Komposit

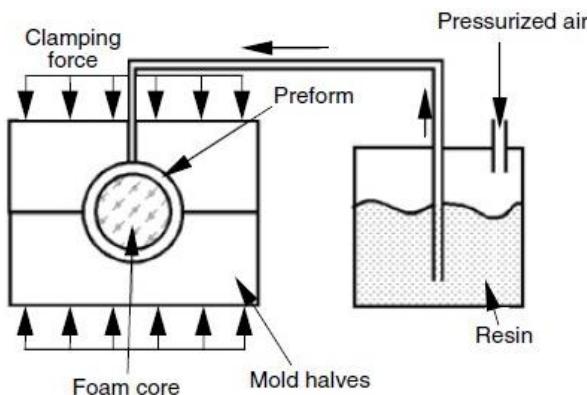
Pada zaman yang semakin maju dan modern ini, kemajuan teknologi juga mempengaruhi berkembangnya metode manufaktur komposit. Pada dasarnya metode manufaktur komposit terbagi menjadi dua proses, cetakan terbuka (*open-mold process*) dan cetakan tertutup (*close-mold process*). *Hand lay-up* adalah metode yang paling sederhana dan merupakan salah satu proses dengan metode cetakan terbuka dari proses fabrikasi komposit. Proses *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari *hand lay-up*, penggunaan dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin.



Gambar 2.16 (a) Hand lay up (b) Vacuum bag

Sumber: Mazumdar (2002)

Resin Transfer Molding (RTM) atau biasa disebut *resin infusion* adalah salah satu metode pembuatan komposit cetakan tertutup dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Setelah lembaran-lembaran antara resin dan matrik sudah terbentuk, *vacuum* akan menghisap sisa-sisa resin yang tertinggal sehingga lembaran komposit yang terbentuk memiliki ketebalan yang sama.



Gambar 2.17 Resin transfer molding

Sumber: Mazumdar (2002)

2.9 Wettability

Kemampuan matriks membasahin permukaan serat disebut *wettability*. Dalam material komposit, sifat adhesi antara serat penguat dan matriks sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik material. Pengukuran terhadap energi permukaan memudahkan untuk memprediksi kecocokan dari material. Seringkali *interface* di didapatkan dengan memodifikasi sifat kimia permukaan serat untuk mengoptimalkan sifat adhesi antara serat dan matriks. Hal ini juga dapat dikontrol dengan analisis energi permukaan. Cara pengukuran kuantitatif yang melibatkan sudut kontak (θ) antara permukaan serat-matriks, yakni memberikan cairan yang ditempatkan di atas permukaan padat. Sudut kontak antara permukaan serat-matriks terbentuk oleh gaya normal dari permukaan padat (*solid*) dengan permukaan cairan (*liquid*). Hal ini menghasilkan sudut yang dibentuk oleh permukaan padat (*solid*) dan garis singgung terhadap permukaan cairan-gas (tergambar dalam *liquid*) sudut antara garis *solid-liquid* dan *liquid-vapor*. Semakin kecil sudut kontak wettability semakin baik, sehingga matriks sebagai media perekat serat harus memiliki kemampuan melapisi luasan permukaan serat secara optimal. (Aminur, 2011)

2.10 Fourier Transform-Infrared (FTIR) Spectroscopy

Fourier transform infrared (FTIR) merupakan metode bebas reagen, tanpa penggunaan radioaktif dan dapat mengukur kadar hormon secara kualitatif dan kuantitatif dengan mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan (Sankari, 2010).

Prinsip kerja spektroskopi FTIR adalah adanya interaksi energi dengan materi. Misalkan dalam suatu percobaan berupa molekul senyawa kompleks yang ditembak dengan energi

dari sumber sinar yang akan menyebabkan molekul tersebut mengalami vibrasi. Sumber sinar yang digunakan adalah keramik, yang apabila dialiri arus listrik maka keramik ini dapat memancarkan *infrared*. Vibrasi dapat terjadi karena energi yang berasal dari sinar *infrared* tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak dimana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuensi yang berbeda pula. FTIR interferogramnya menggunakan *mecrosem* dan letak cerminnya (*fixed mirror* dan *moving mirror*) paralel. Spektroskopi inframerah berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi 400-4000 cm⁻¹ di mana cm⁻¹ disebut sebagai *wavenumber* (1/wavelength) yakni suatu ukuran unit untuk frekuensi. Daerah panjang gelombang yang digunakan pada percobaan ini adalah daerah inframerah pertengahan (4.000-200 cm⁻¹).

2.11 Cacat pada Komposit

1. Cacat material merupakan cacat yang terjadi sebelum material penyusun komposit mengalami proses manufaktur dan merupakan cacat material penyusun komposit.
 - a. Cacat serat: kualitas serat yang kurang baik, tersobek, terlipat, dan berlubang sehingga mempengaruhi kualitas dari produk komposit yang dihasilkan
 - b. Cacat matrik: komposisi campuran matrik yang tidak sesuai sehingga matrik memasuki *gelling time* sebelum tersebar secara merata.
2. Cacat produk merupakan cacat yang terjadi pada produk komposit setelah mengalami proses pembuatan dan manufaktur komposit.
 - a. *Porosity/Void*: gelembung udara yang terperangkap pada produk komposit pada saat proses *curing* akibat kurang meratanya resin yang dicampurkan pada permukaan *fiber*.
 - b. *Resin Rich*: terlalu berlebihannya resin yang diberikan sehingga melewati batas idealnya.
 - c. *Resin Starved*: kurangnya resin yang diberikan pada serat sehingga terjadi kekurangan resin pada komposit.
 - d. *Delaminasi*: terpisahnya lamina satu dengan lainnya sehingga menurunkan sifat mekanisnya.
 - e. *Fiber ringkle*: serat pada produk komposit mengalami pengertalan di dalam komposit.
 - f. *Exess resin*: terdapat penumpukan matrik pada salah satu bagian komposit.



- g. *Improper pressure*: tekanan yang diberikan pada komposit pada saat proses *curing* tidak sesuai dengan yang dibutuhkan.
- h. *Debonding*: kurang kuatnya ikatan antara matrik dan serat sehingga kekuatan komposit akan menurun.
- i. *Srinkage*: penyusutan dimensi komposit sehingga tidak sesuai dengan dimensi awal.

2.12 Hipotesis

Serat alam memiliki komposisi utama selulosa dan lignin, dimana selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tanaman, dan lignin memiliki fungsi sebagai pengikat komponen lainnya dalam tumbuhan terutama pada bagian batang, sehingga menyebabkan batang sebuah pohon dapat berdiri tegak. Kekuatan serat alam sebagai penguat komposit bergantung pada ikatan antara matrik dan serat. Lignin yang berperan sebagai matrik alami serat menghalangi ikatan antara matrik *epoxy* dengan serat, sehingga perlu adanya proses alkalisasi untuk mendegradasi lignin. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH, menyebabkan lignin semakin banyak terdegradasi. Sehingga diduga, adhesivitas serat dengan matrik akan semakin efektif seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan NaOH, yang mengakibatkan kekuatan tarik komposit akan semakin meningkat.





BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan untuk membuat spesimen komposit yaitu metode *experimental research* untuk mengetahui pengaruh perlakuan larutan NaOH terhadap kekuatan komposit serat alam yang digunakan, yaitu serat serai wangi sebagai bahan dasar pembuatan komposit berserat alam bermatriks *epoxy*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Februari 2018 sampai September 2018. Tempat yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

1. Pembuatan komposit : Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
2. Uji tarik serat tunggal : Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang
3. Uji tarik : Laboratorium Riset Material Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Uji SEM : Laboratorium Sentral Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
5. Uji *wettability* : Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
6. Uji FTIR : Laboratorium Analisis Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel pada penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya dapat diubah sehingga variabel ini mempengaruhi hasil penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi larutan NaOH: 0%, 3%, 5%, dan 7%.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini merupakan nilai kekuatan tarik maksimum rataratanya.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya harus dijaga konstan supaya tidak mempengaruhi hasil dari variabel terikat. Variabel pada penelitian ini yakni:

1. Material yang digunakan sebagai matriks adalah *epoxy* dengan 30 gram *hardener* per 60 gram resin
2. Material serat yang digunakan adalah 2,7 gram
3. Waktu yang digunakan untuk merendam serat dengan NaOH selama 60 menit
4. NaOH yang digunakan sebagai larutan alkali memiliki kadar kemurnian NaOH sebesar 98%
5. Uji tarik menggunakan standar ASTM D638-003
6. Serat yang digunakan adalah serat serai wangi
7. Resin yang dipakai adalah resin *epoxy*
8. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *vacuum infusion*
9. Orientasi serat yang digunakan adalah searah

3.4 Bahan dan Peralatan yang Digunakan

3.4.1 Bahan

1. Resin dan Katalis (*Yukalac Unsaturated Polyester Resin 157 BQN-EX-VI*)

Resin ini berbentuk cairan kental yang digunakan untuk penguat pada komposit atau serat. Sedangkan katalis adalah cairan yang berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan pada resin atau yang sering disebut dengan *hardener* atau pengeras.



Gambar 3.1 Resin dan katalis

Tabel 3.1
Spesifikasi Liquid Standart Epoxy Resin

| Properties | Unit | Value |
|--|-------------|----------------|
| Viscosity at 25°C | mPa.s | 13.000 ± 2.000 |
| Epoxy Number | % | 22,7 ± 0,6 |
| Epoxy Equivalent | g/equiv. | 189 ± 5 |
| Epoxy value | equiv./100g | 0,53 ± 0,01 |
| Total Chlorine Content | % | < 0,2 |
| Hydrolyzable Chlroine Content | % | < 0,05 |
| Colour According to the Gardener Scale | | <1 |
| Density at 25°C | g/cm3 | 1,17 ± 0,01 |
| Refractive Index at 25°C | | 1,572 ± 0,003 |
| Volatile Content at 3 h, 140°C | % | < 0,2 |
| Vapour Pressure at 80°C | mbar | < 0,1 |
| Flash Point According to DIN 51584 | °C | > 250 |

Sumber: PT. Justus Kimia Raya (2003)

2. Serat

Serat adalah bahan penguat yang memiliki kekuatan serta kekakuan yang bagus.

Serat yang digunakan adalah serat batang serai wangi dengan diameter ±0,1035mm.



Gambar 3.2 Serat serai wangi

3. Larutan Alkalasi

Larutan alkali (NaOH) *Natrium Hidroxida* adalah larutan yang digunakan untuk membersihkan lignin, silica dan hemiselulosa. Untuk meningkatkan penyatuhan atau impregnasi antara serat dan matrik.



Gambar 3.3 Larutan alkali

3.4.2 Alat

1. Mesin Uji Tarik Serat



Gambar 3.4 Mesin uji tarik serat tunggal

Spesifikasi:

- Merek : IMADA
- Kapasitas : 50-60 N

2. Sikat Kawat

Digunakan untuk memisahkan serat.



Gambar 3.5 Sikat kawat

3. Mesin Uji Tarik Komposit



Gambar 3.6 Mesin uji tarik

Alat ini digunakan untuk memberikan beban tarik kepada spesimen yang akan diukur kekuatan tariknya. Mesin uji tarik ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- a. *Max. load* : 20 KN
- b. *Load capacity* : 0,4% - 100% of max test load
- c. *Load accuracy* : $\leq \pm 1\%$
- d. *Resolution of displacement measurement* : better than 0,01 mm
- e. *Crosshead velocity* : 0,01 mm/min – 500 mm/min

4. Jangka sorong digital

Digunakan untuk mengukur dimensi *specimen*.



Gambar 3.7 Jangka sorong digital

- a. *Measuring range* : 0-150mm/0-6in, 0-200mm/0-8in, 0-300mm/0-12in.
 - b. *Resolution* : 0.01mm/0.0005in.
 - c. *Accuracy* : $\pm 0.02\text{mm}/0.001\text{in}$ ($<100\text{mm}$)
 $\pm 0.03\text{mm}/0.001\text{in}$ ($>100-200\text{mm}$)
 $\pm 0.04\text{mm}/0.0015\text{in}$ ($>200-300\text{mm}$)
 - d. *Repeatability* : 0.01mm/0.0005in.
 - e. *Max. measuring speed* : 1.5m/sec, 60in/sec
 - f. *Measuring system* : *linear capacitive measuring system*
5. Cetakan

Cetakan digunakan untuk meletakkan resin dan serat yang telah tercampur, dan dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan serta sesuai dengan standar yang digunakan. Dalam cetakan ini dibagi menjadi cetakan untuk uji tarik.



Gambar 3.8 Cetakan

6. Timbangan digital

Timbangan digital untuk mengukur berat dari serat, matrik, katalis dan promoter, serta untuk membuat larutan alkali.

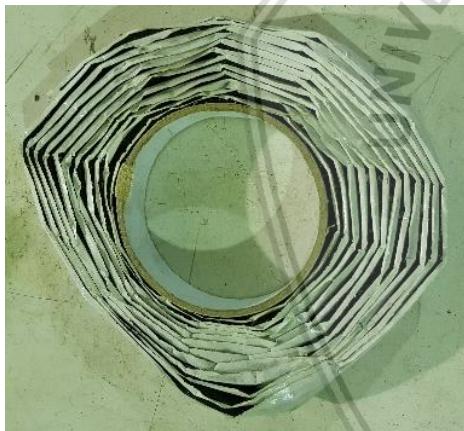


Gambar 3.9 Timbangan digital

- a. *Model* : EHA501-31P
- b. *Capacity* : 100 g
- c. *Graduation* : 0.01 g

7. *Sealent Tape*

Berfungsi sebagai perekat dan mencegah kebocoran.



Gambar 3.10 Sealent tape

8. *Mirror glaze*

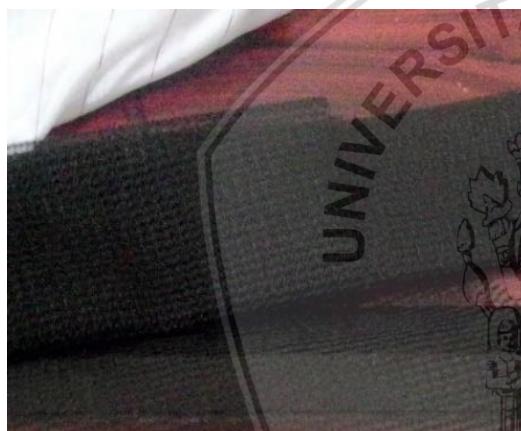
Mirror glaze berfungsi untuk memudahkan pencabutan komposit setelah proses pembuatan spesimen selesai.



Gambar 3.11 Mirror glaze

9. Mesh

Mesh berfungsi sebagai jalan masuk resin setelah proses vakum selesai.



Gambar 3.12 Mesh

10. Plastic Bag

Plastic bag berfungsi sebagai penjebak udara dalam ruang agar tidak ada yang masuk dari lari dan menjaga udara agar hanya keluar melalui *T-Connector*.



Gambar 3.13 Plastic bag

11. Vacuum Compressor

Berfungsi sebagai pemberi ruang hampa dengan menghisap udara yang ada pada tempat cetakan.



Gambar 3.14 Vacuum compressor

- a. *Model* : VE2100N
- b. *Flow Rate* : 12.0 CFM
- c. *Ultimate Vacuum* : 15 micron
- d. *Voltage/Frequency* : 230V~/50-60Hz
- e. *Power* : 1 HP

12. Resin Trap

Berfungsi sebagai penampung resin agar tidak masuk terus sampai ke *vacuum compressor*.



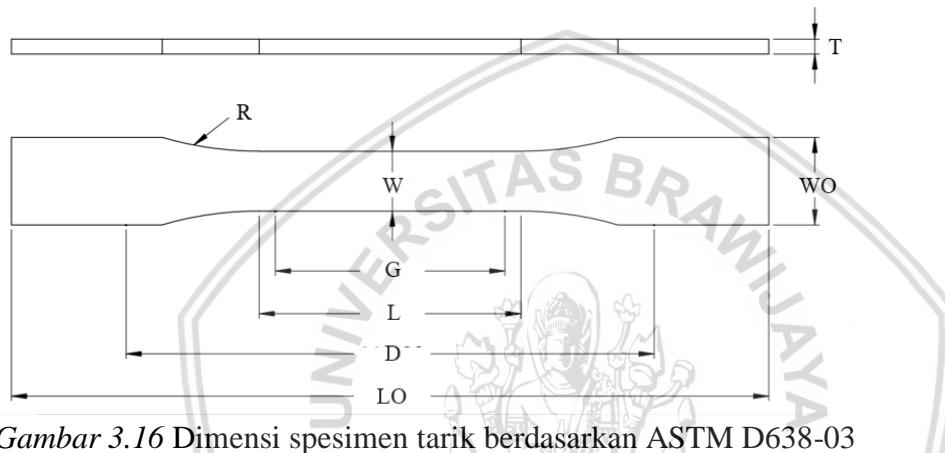
Gambar 3.15 Resin trap



- a. Internal Dimensions : 6.75" Tall X 5.5" Diameter
- b. Max vacuum -29Hg (+/- .5Hg) at sea level
- c. 60A durometer density
- d. Gasket can withstand 390F max temp.

3.5 Uji Tarik Komposit

Spesimen uji tarik pada pengujian tarik ini menggunakan standar ASTM D638-03 ukuran spesimen sebagai berikut:



Gambar 3.16 Dimensi spesimen tarik berdasarkan ASTM D638-03

Sumber: ASTM D638-03, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic

Ukuran spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

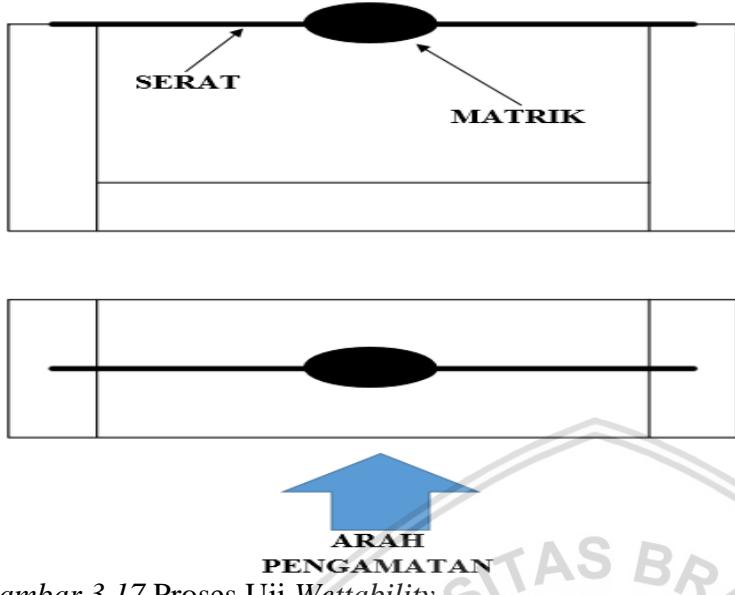
Tabel 3.2

Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-03, T = 3.2 mm (0.12)

| Dimension | Value, mm (in) |
|-------------------------------|----------------------------|
| Thickness <7mm (0.28in), T | 32 ± 0.4 (0.12 ± 0.02) |
| Width of narrow selection, W | 13 (0.5) |
| Length of narrow selection, L | 57 (2.25) |
| Width overall, WO | 19 (0.75) |
| Length overall, LO | 165 (6.5) |
| Gauge length, G | 50 (2.00) |
| Distance between grips, D | 115 (4.5) |
| Radius of fillet, R | 76 (3.00) |

Sumber: ASTM D638-03, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic

3.6 Uji Wettability



Gambar 3.17 Proses Uji Wettability

Pengujian dilakukan dengan meneteskan *droplet* (*liquid matrix*) pada masing-masing serat batang serai wangi tanpa perlakuan, perendaman NaOH 3%, perendaman NaOH 5%, dan perendaman NaOH 7%. Serat diletakkan pada profil U yang sebelumnya sudah diberi *double tip* pada kedua sisi, lalu ditetesi oleh *droplet* matrik. Arah pengamatan diposisikan tegak lurus dengan menggunakan mikroskop optik. Sampel pengujian dengan tetesan *droplet* difoto, disimpan, lalu diproses menggunakan program lalu diproses menggunakan program *image-J*. Pada pengujian ini didapatkan nilai sudut kontak, yang nanti direpresentasikan sebagai permukaan tegangan ($\cos \theta$).

3.7 Proses Pelaksanaan

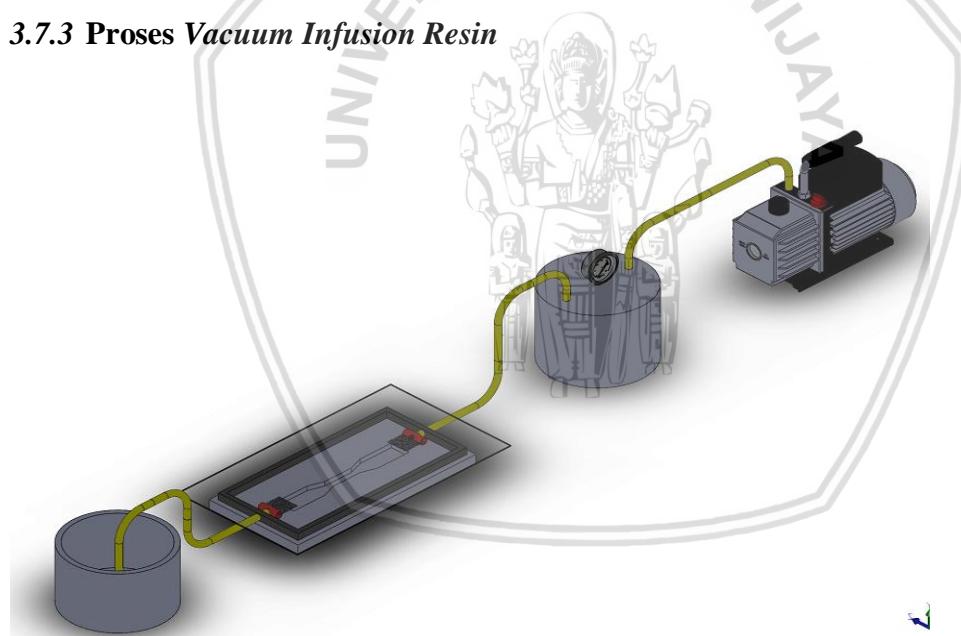
3.7.1 Proses Pembuatan Serat Tunggal

1. Persiapkan serai wangi yang akan digunakan.
2. Rendam serai wangi dengan air selama 1 hari.
3. Memisahkan serat dengan daging menggunakan sikat kawat, dengan diameter $\pm 0,1035\text{mm}$.
4. Keringkan serat serai wangi
5. Potong serai wangi sesuai dengan ukuran (165 mm).
6. Serat setelah tanpa perendaman, perendaman kadar NaOH 3%, 5%, dan 7% serat serai wangi diukur dengan ukuran panjang serat sesuai cetakan seberat 2,7 gram.

3.7.2 Proses Perendaman Alkali

1. Siapkan peralatan, antara lain: timbangan, gelas ukur, sendok pengaduk.
2. Siapkan bahan, antara lain: aquades, NaOH (kemurnian 98%), dan serat serai wangi
3. Gunakan perlengkapan *safety*, antara lain: kaos tangan dan masker.
4. Hitung persentase NaOH 3%
5. Timbang NaOH sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilaksanakan
6. Tuangkan aquades ke dalam gelas ukur
7. Masukkan NaOH kedalam gelas ukur yang telah dituangkan aquades
8. Rendam serat kulit pohon serai wangi pada larutan alkali yang telah disiapkan selama 60 menit
9. Jika perendaman telah mencapai 60 menit, maka serat di cuci dengan air bersih dan kemudian dikeringkan
10. Ulangi langkah (d) dengan kadar NaOH 5% dan 7%

3.7.3 Proses Vacuum Infusion Resin



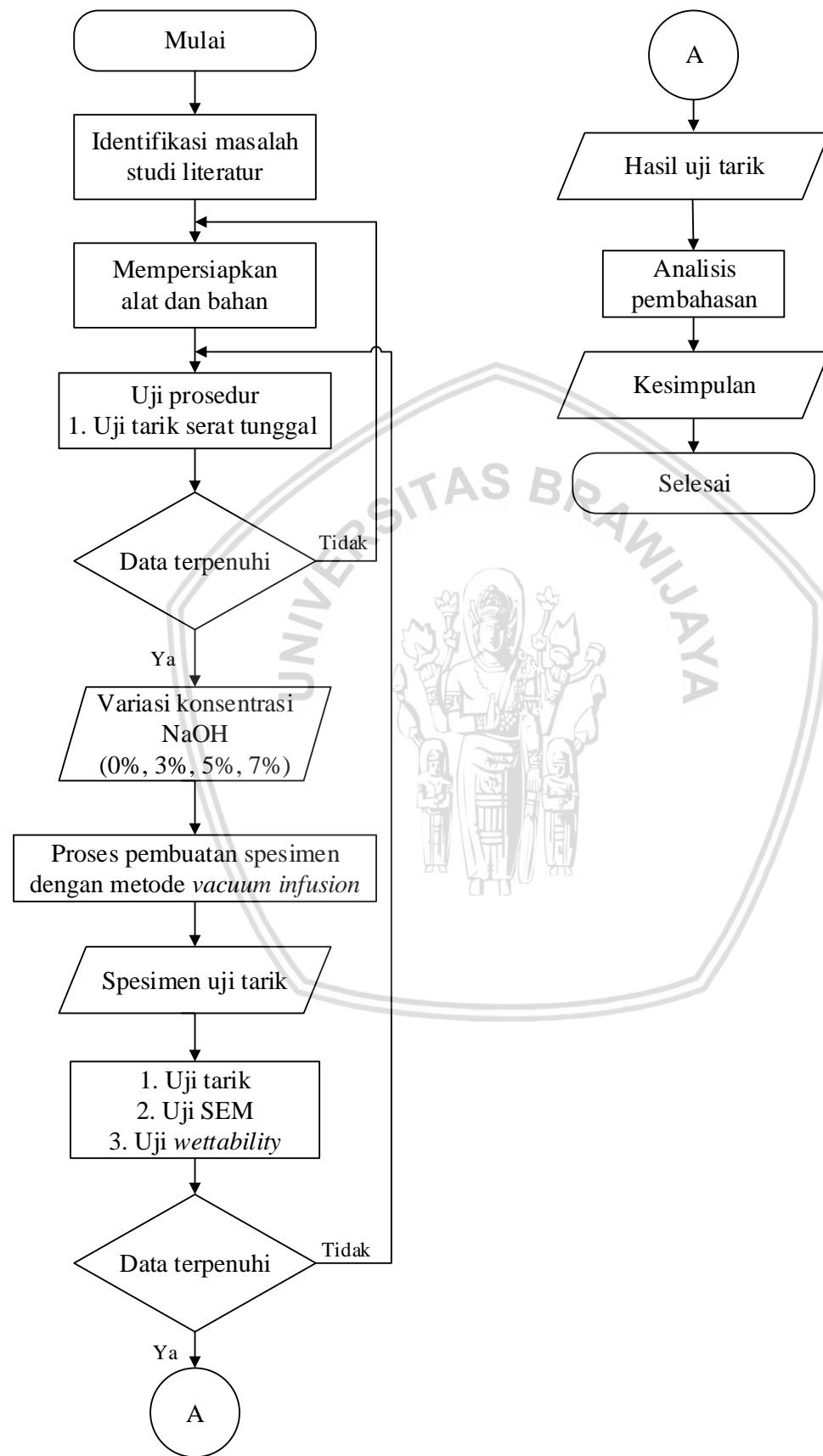
Gambar 3.18 Proses Vacuum Infusion Resin

Tahapan dalam proses ini, antara lain:

1. Persiapkan alat bahan
2. Persiapkan serat yang akan digunakan
3. Letakkan alas cetakan pola di atas meja
4. Letakkan cetakan pola di atas alas
5. Berikan *mirror glaze* pada alas dan berikan pula *mirror glaze* pada cetakan pola

6. Taruh kembali cetakan pola di atas alas
7. Pasang *sealant tape* pada alas cetakan mengitari cetakan pola
8. Ukur dan potong *mesh, plastic bag*
9. Masukkan serat pengisi pada cetakan pola
10. Pasang *mesh* diatas cetakan pola, dan rekatkan
11. Ukur selang spiral sesuai panjang salah satu sisi cetakan pola dan potong sebanyak dua
12. pasang *T-connector* pada bagian tengah selang spiral
13. Taruh kedua selang spiral yang telah di pasang *T-connector* pada kedua sisi cetakan pola
14. Berikan *sealant tape* pada setip siku *T-connector*
15. Tutup semua bagian yang ada di atas alas cetakan dengan *plastic bag*
16. Beri lubang untuk *T-connector* agar dapat menebus *plastic bag*
17. Rekatkan *plastic bag* dengan *sealant tape* yang terpasang pada alas cetakan
18. Berikan *sealant tape* lagi pada siku *T-connector*
19. Potong *PE-tube* sesuai panjang yang disesuaikan dengan jarak dari penampung resin ke cetakan pola, cetakan pola ke *resin trap* dan dari *resin trap* ke *vacuum compressor*
20. Pasang *PE-tube* dengan kedua *Tconnector*
21. Sumbat *PE-tube* arah masuk resin dengan *clamp*
22. Sambungkan *PE-tube* arah keluar ke *resin trap*
23. Sambungkan *PE-tube* dari *resin trap* ke *vacuum compressor*
24. Nyalakan *vacuum compressor*
25. Tunggu sampai *pressure gauge* sudah tidak dapat naik (kondisi maksimal)
26. Matikan *vacuum compressor* dan tunggu selama dua jam untuk mengetahui kebocoran
27. Jika tekanan stabil (-23 atm) selama 2 jam, lakukan pencampuran resin dan katalis dengan volume yang sudah disesuaikan
28. Setelah resin dan katalis tecampur sambungkan *PE-tube* arah masuk kedalam tempat penampung resin dan buka *clamp*
29. Tunggu sesaat sampai resin mengalir ke cetakan dan masuk ke *resin trap* untuk memastikan semua resin masuk ke dalam cetakan
30. Sumbat kedua aliran masuk dan keluar dengan *clamp* dan tunggu resin hingga mengering

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.19 Diagram alir penelitian

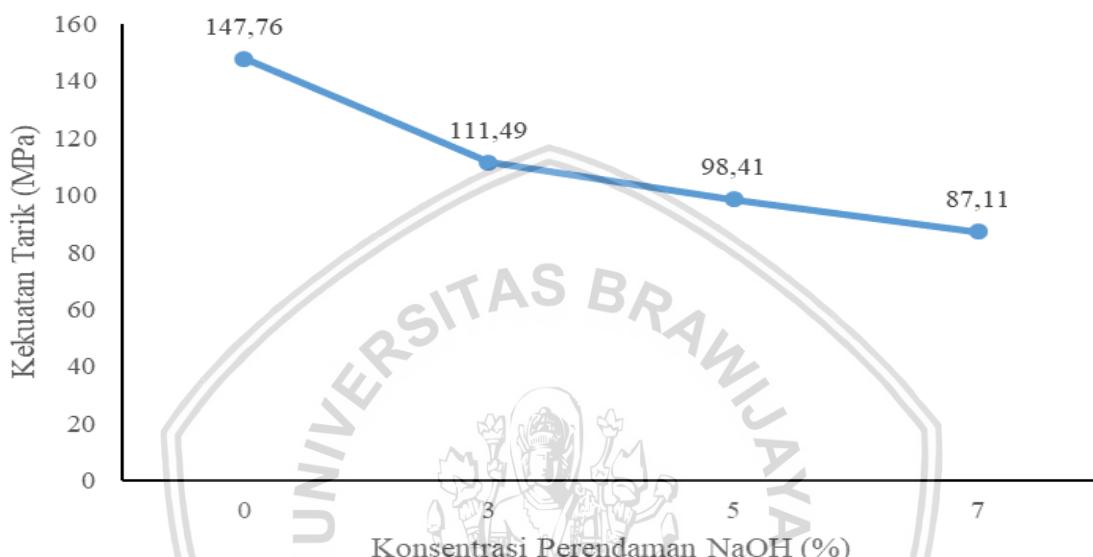


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Kekuatan Tarik Serat Batang Serai Wangi

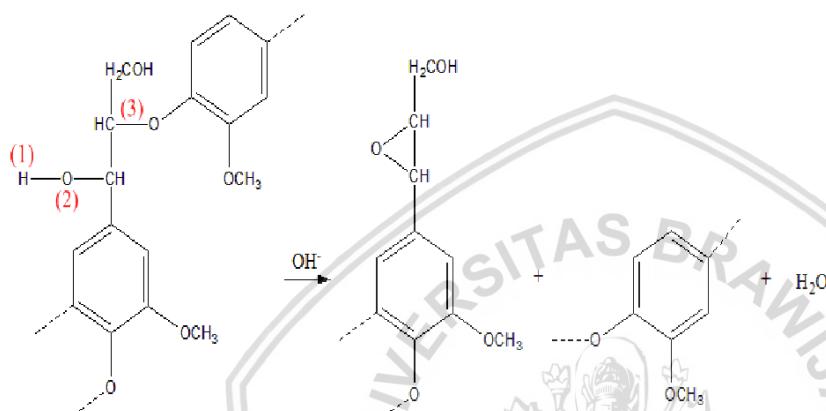


Gambar 4.1 Grafik perbandingan kekuatan tarik serat batang serai wangi

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 terdapat perbandingan kekuatan tarik serat batang serai wangi dengan perlakuan konsentrasi perendaman NaOH yang berbeda. Urutan kekuatan tarik serat dari yang paling tinggi hingga paling rendah adalah tanpa perendaman NaOH dengan nilai 147,76 MPa, perendaman NaOH 3% dengan nilai 111,49 MPa, perendaman NaOH 5% dengan nilai 98,41 MPa, dan perendaman NaOH 7% dengan nilai 87,11 MPa. Pada variasi tanpa perendaman NaOH memiliki nilai kekuatan tarik yang paling tinggi dikarenakan adanya matrik alami pada serat batang serai wangi yang memiliki fungsi sebagai penguat serat. Terjadi penurunan kekuatan tarik pada serat batang serai wangi dengan perlakuan perendaman NaOH dengan konsentrasi 3%, 5%, hingga 7%. Hal ini dikarenakan matrik alami yang berfungsi sebagai penguat serat terlepas.

Reaksi alkali ini menyebabkan penghilangan lignin, hemiselulosa dan selulosa. Karena perlakuan alkali, gugus hidroksil yang peka terhadap alkali (struktur ikatan O-H) yang ada dalam molekul serat alami rusak. Kemudian bereaksi dengan gugus molekul air, fenol atau alkohol (struktur ikatan H-O-H) dan bergerak masuk atau keluar dari struktur serat

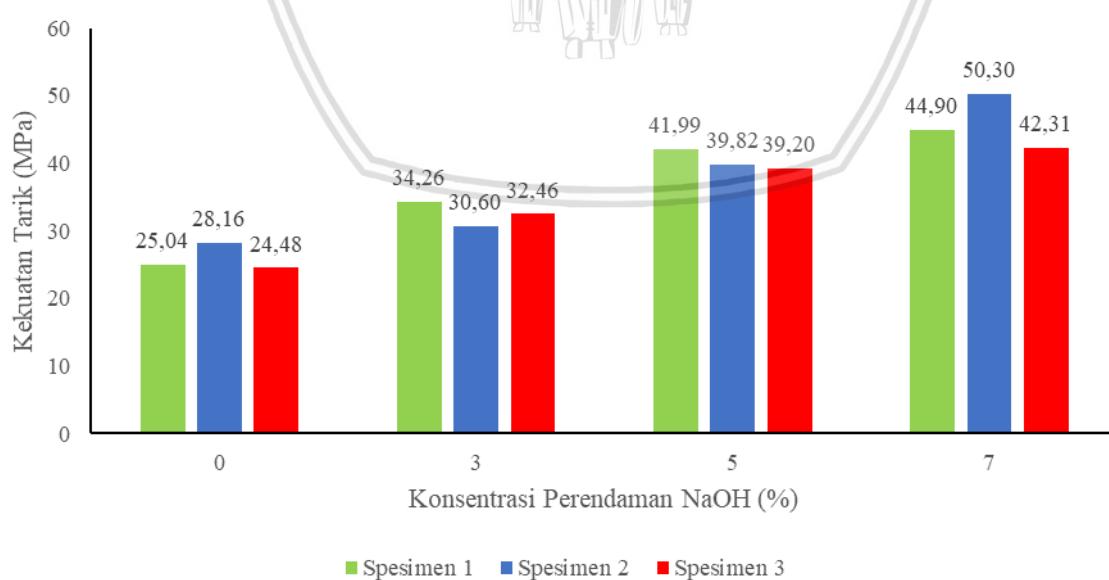
tergantung pada karakteristik serat terhadap reaksi alkali. Dengan demikian, sisa molekul reaktif secara tidak langsung membentuk sel serat struktur ikatan -O-Na antara rantai molekul selulosa (John, 2008). Dengan demikian, beberapa gugus hidroksil hidrofilik berkurang dan sifat ketahanan kelembaban serat meningkat. Beberapa pengotor, pektin, hemiselulosa, hemi-selulosa, lignin, lilin dan minyak yang menutupi permukaan serat telah hilang karena perlakuan alkali (Li, 2007). Nantinya, diharapkan matrik alami yang terlepas, dapat digantikan dengan matrik resin.



Gambar 4.2 Proses alkalisasi NaOH pada lignin

Sumber: Pratama (2017)

4.1.2 Kekuatan Tarik Komposit Serat Batang Serai Wangi

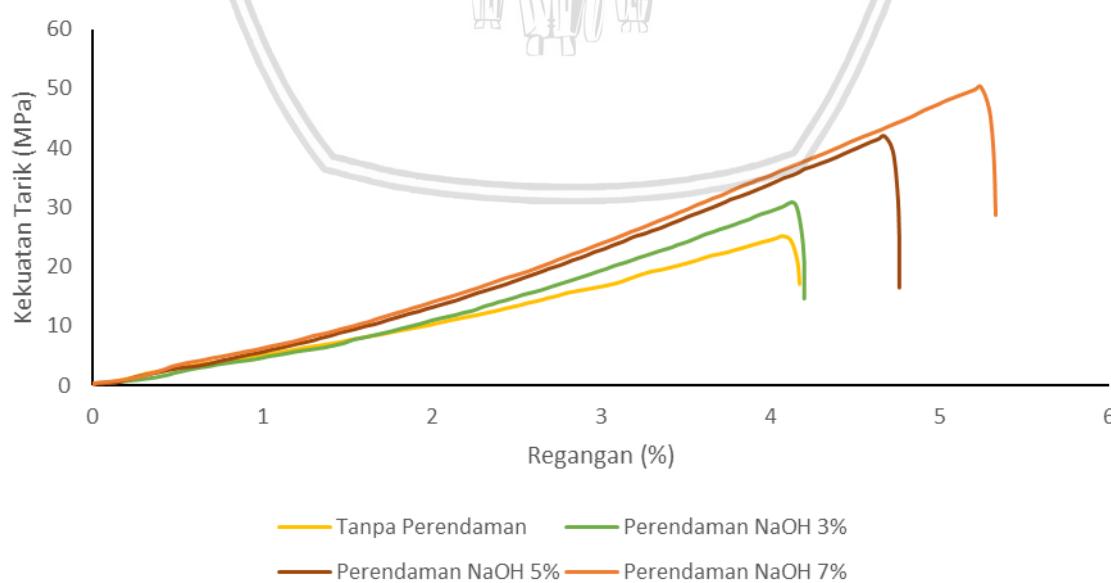


Gambar 4.3 Grafik perbandingan kekuatan tarik komposit serat batang serai wangi

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat terdapat grafik perbandingan kekuatan tarik serat batang serai wangi bermatriks *epoxy*. Didapatkan kekuatan paling tinggi dengan nilai 50,30 MPa dimiliki oleh komposit serat dengan konsentrasi perendaman NaOH 7%. Hal ini dikarenakan ikatan antara matrik resin dan serat semakin tinggi. Dibuktikan pada pengujian serat batang serai wangi variasi perendaman serat dengan NaOH 7% memiliki kekuatan tarik paling rendah, karena zat unsur kimia yang berfungsi memperkuat serat terlepas dan digantikan oleh matrik resin. Kekuatan tarik paling rendah didapatkan dengan nilai 24,48 MPa dimiliki oleh komposit serat tanpa perlakuan perendaman NaOH.

Pada perbandingan antara tanpa perlakuan dan adanya perlakuan NaOH pada serat, komposit serat yang dilakukan perendaman NaOH memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi dibandingkan dengan komposit serat tanpa perlakuan. Perlakuan alkalisasi memodifikasi struktur internal dan eksternal pada serat, dimana menyebabkan permukaan serat menjadi lebih kasar dan membuat serat lebih mudah dalam penyerapan (Bakri, 2017). Ketika resin epoksi diaplikasikan pada serat, kekuatan ikatan antara serat dan matriks meningkat. Karena kekuatan ikatan yang sangat baik antara serat dan matriks, sifat tarik dan lentur meningkat. Namun, perlakuan alkali ini tidak meningkatkan kekuatan serat (Saravanan, 2017).

4.1.3 Regangan - Tegangan



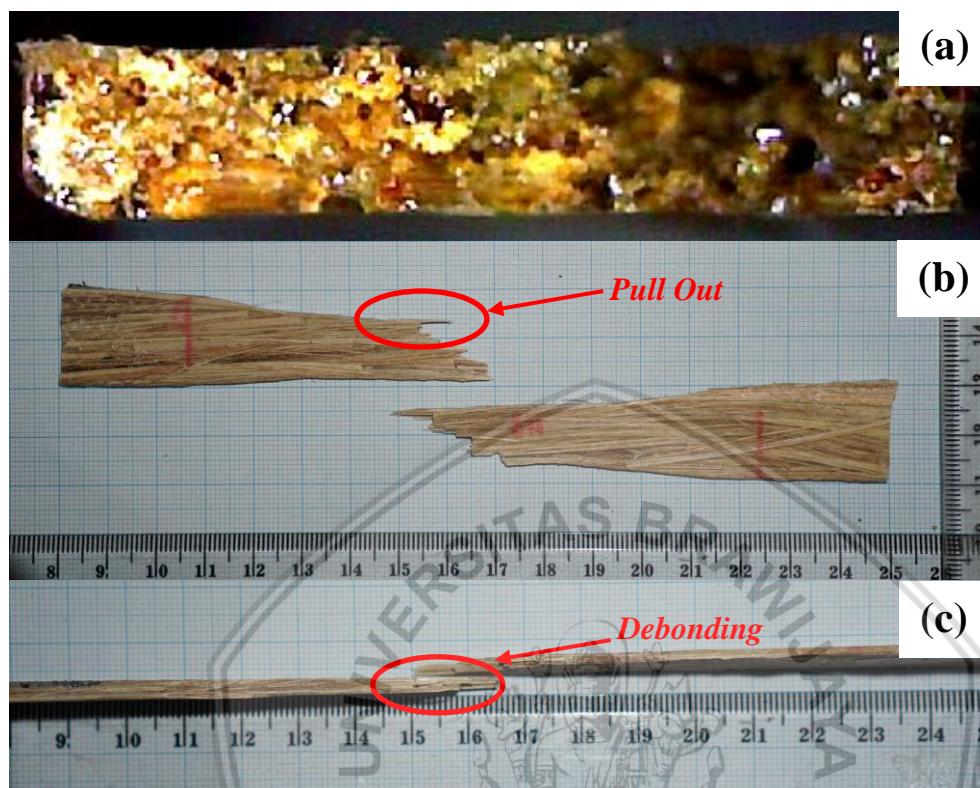
Gambar 4.4 Grafik tegangan regangan komposit serat batang serai wangi

Hubungan tegangan regangan komposit serat batang serai wangi dengan berbagai variasi konsentrasi perendaman NaOH pada serat dapat dilihat pada Gambar 4.4. Variasi yang digunakan adalah tanpa perendaman, perendaman NaOH 3%, perendaman NaOH 5%, dan perendaman NaOH 7%. Didapatkan grafik tegangan regangan tertinggi ke terendah komposit serat batang serai wangi pada variasi perendaman NaOH 7%, perendaman NaOH 5%, perendaman NaOH 3%, dan tanpa perlakuan.

Komposit serat tanpa perlakuan memiliki kekuatan tarik sebesar 25,04 MPa sebagai tegangan maksimal komposit dengan regangan maksimal sebesar 4,074%, sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 614,63 MPa. Komposit serat dengan perendaman NaOH 3% memiliki kekuatan tarik sebesar 30,60 MPa sebagai tegangan maksimal komposit dengan regangan maksimal sebesar 4,141%, sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 738,95 MPa. Komposit serat dengan perendaman NaOH 5% memiliki kekuatan tarik sebesar 41,99 MPa sebagai tegangan maksimal komposit dengan regangan maksimal sebesar 4,674%, sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 898,37 MPa. Dan komposit serat dengan perendaman NaOH 7% memiliki kekuatan tarik sebesar 50,30 MPa sebagai tegangan maksimal komposit dengan regangan maksimal sebesar 5,244%, sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 959,19 MPa. Nilai tegangan yang semakin tinggi dan diikuti regangan yang cukup besar menunjukkan matrik mampu menyalurkan tegangan yang diterima oleh komposit kepada serat lebih merata, dan meningkatkan kekuatannya.

4.2 Analisis Patahan

- Analisis Patahan Komposit Serat Tanpa Perendaman NaOH



Gambar 4.5 Permukaan patahan komposit serat tanpa perlakuan NaOH (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping

Gambar 4.5 menunjukkan bentuk patahan komposit serat batang serai wangi tanpa perlakuan NaOH. Kegagalan *debonding* terjadi cukup besar pada komposit serat tanpa perlakuan. Dapat dilihat juga bahwa terdapat kegagalan *pull out* pada permukaan patahan, dimana serat tercabut dari matrik. Ini dikarenakan kurangnya ikatan antara serat dan matrik, sehingga terdapat serabut serat yang keluar dari komposit. Dibandingkan dengan patahan variasi lainnya, komposit serat tanpa perlakuan memiliki kegagalan *pull out* yang lebih banyak, dikarenakan tidak mampunya serat menerima gaya secara merata pada semua bagian serat. Sehingga kekuatan tariknya paling rendah dibandingkan variasi lainnya, yaitu sebesar 25,04 MPa.

b. Analisis Patahan Komposit Serat Perendaman NaOH 3%



Gambar 4.6 Permukaan patahan komposit serat perendaman NaOH 3% (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping

Permukaan patahan pada komposit serat batang serai wangi dengan perendaman NaOH 3% dapat dilihat pada gambar 4.6. Kegagalan *pull out* dan *debonding* masih terjadi pada komposit serat dengan perendaman NaOH 3%, tetapi lebih berkurang dibandingkan pada spesimen komposit serat tanpa perlakuan. *Debonding* merupakan jenis kegagalan komposit yang terjadi dikarenakan lemahnya gaya ikat antara matrik dengan serat, sehingga matrik dan serat terkelupas sebelum mentransferkan gaya maksimal yang diterima. Kekuatan Tarik yang didapatkan pada komposit serat dengan perendaman NaOH 3% adalah 30,60 MPa.

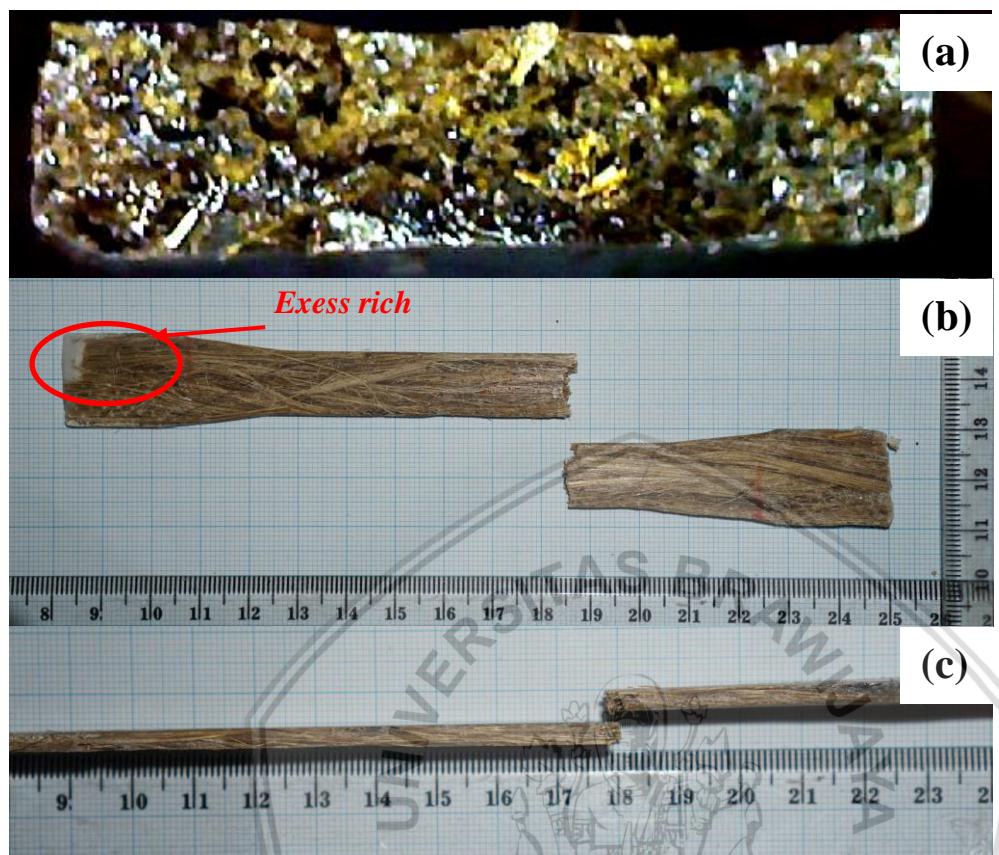
c. Analisis Patahan Komposit Serat Perendaman NaOH 5%



Gambar 4.7 Permukaan patahan komposit serat perendaman NaOH 5% (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping

Gambar 4.7 menunjukkan patahan pada komposit batang serai wangi dengan variasi perendaman NaOH 5%. Dapat dilihat bahwa kegagalan *pull out* dan *debonding* sudah berkurang dibandingkan sebelumnya. Dan bisa dikatakan bahwasanya pemberian perlakuan perendaman NaOH 5% membuat gaya ikatan antara matrik dan serat semakin baik. Kekuatan tarik komposit serat dengan variasi perendaman NaOH 5% didapatkan sebesar 41,99 MPa.

d. Analisis Patahan Komposit Serat Perendaman NaOH 7%



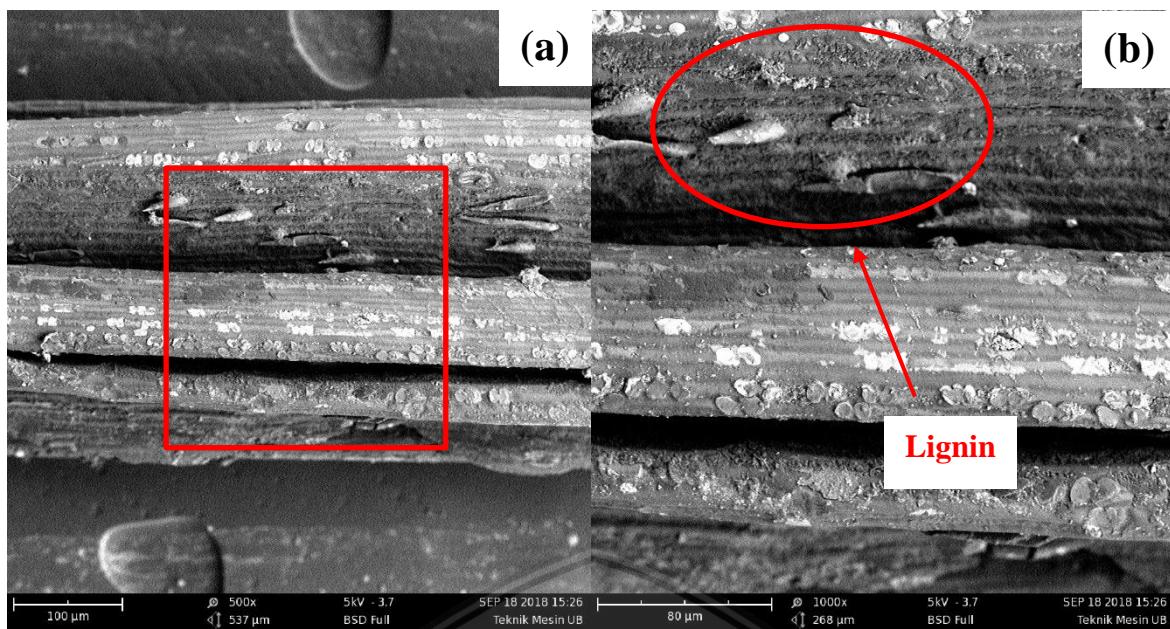
Gambar 4.8 Permukaan patahan komposit serat perendaman NaOH 7% (a) tampak patahan (b) tampak atas (c) tampak samping

Dari gambar 4.8 didapatkan patahan komposit serat batang serai wangi dengan variasi perendaman NaOH 7%. Dapat dilihat pada komposit serat, kegagalan debonding dan pull out semakin berkurang. Hal ini menunjukkan semakin meningkatnya gaya ikat antara matrik dan serat. Dibuktikan dengan nilai kekuatan tarik komposit batang serai wangi mempunyai nilai yang paling tinggi dibandingkan variasi perendaman yang lain, yaitu sebesar 50,30 MPa. Hanya saja terdapat *excess resin* pada komposit ini, dimana terjadi penumpukan matrik pada salah satu bagian komposit.

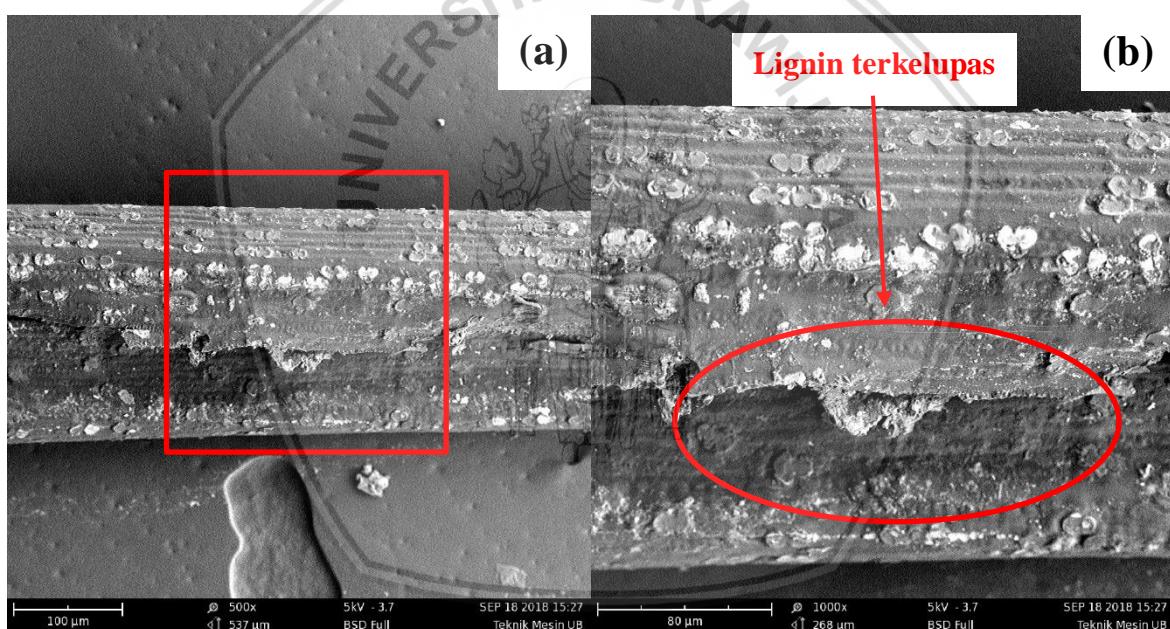
4.3 Hasil Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

4.3.1 SEM Serat Batang Serai Wangi

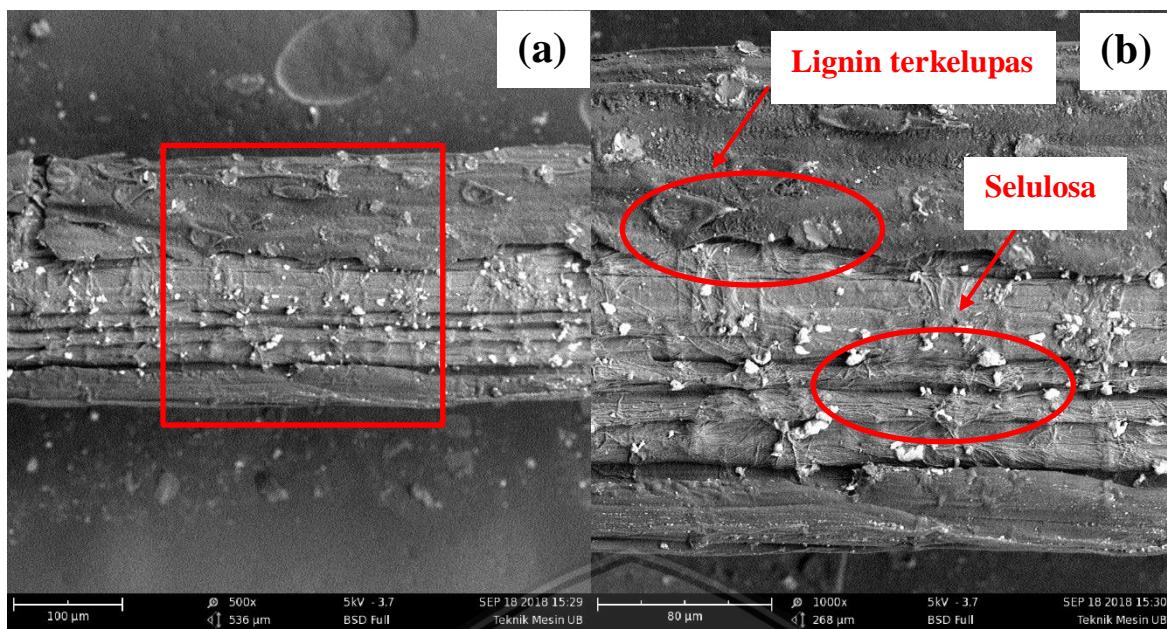
Pengujian SEM (*scanning electron microscopy*) pada hal ini bertujuan untuk mengetahui jaringan struktur pada serat batang serai wangi. Pembesaran dipilih menggunakan 500x dan 1000x, dengan variasi perendaman NaOH 0% (tanpa perlakuan), 3%, 5%, dan 7% dengan waktu perendaman 1 jam.



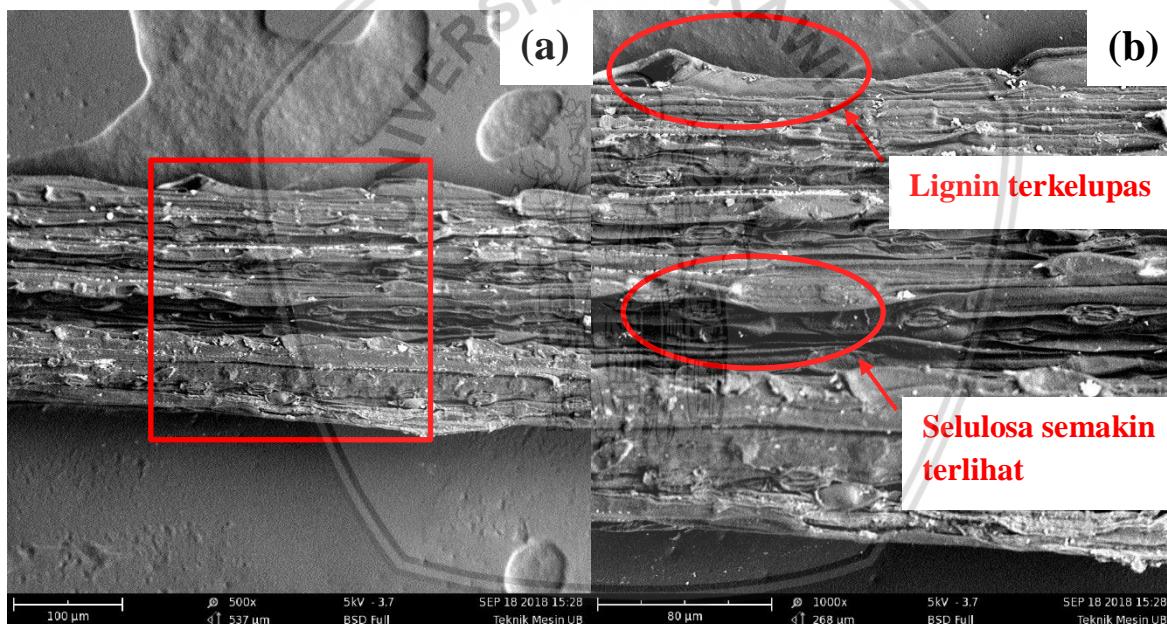
Gambar 4.9 SEM serat batang serai wangi tanpa perlakuan (a) 500x (b) 1000x



Gambar 4.10 SEM serat batang serai wangi perendaman NaOH 3% (a) 500x (b) 1000x



Gambar 4.11 SEM serat batang serai wangi perendaman NaOH 5% (a) 500x (b) 1000x



Gambar 4.12 SEM serat batang serai wangi perendaman NaOH 7% (a) 500x (b) 1000x

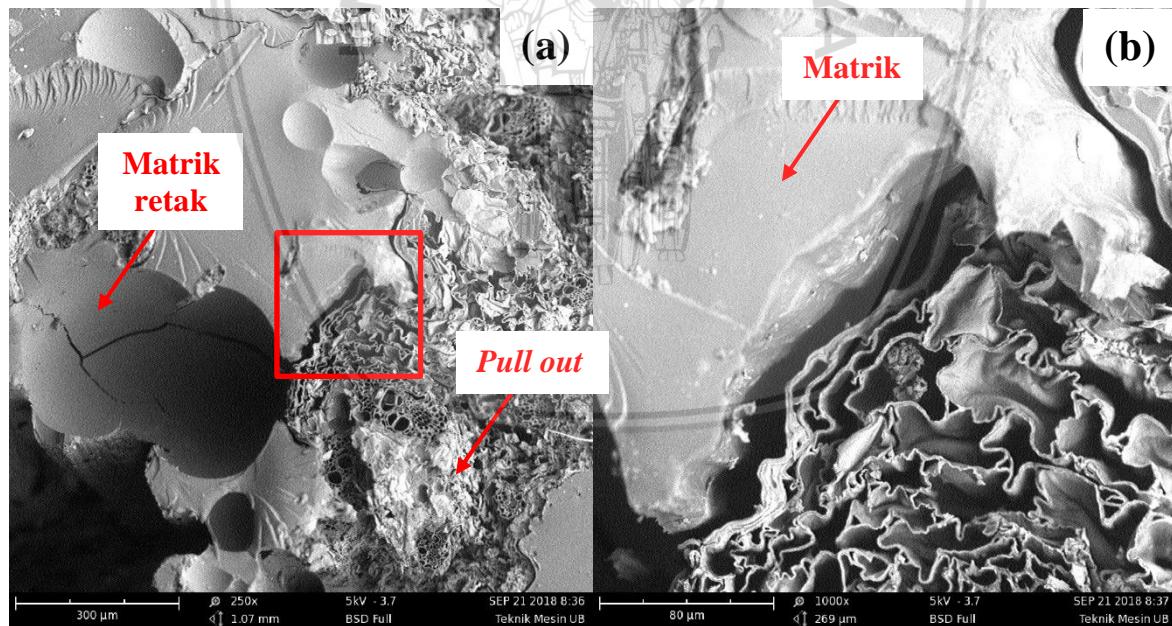
Pada gambar 4.9 dapat dilihat hasil foto SEM serat batang serai wangi tanpa perlakuan. Terlihat adanya lignin yang masih melekat pada permukaan serat, yang merupakan matriks alami dari serat. Hal ini membuat ikatan antara matriks resin dan serat tidak bisa maksimal.

Perlakuan serat pada perendaman NaOH 3% yang dapat dilihat pada gambar 4.10 menunjukkan mulai mengikisnya lapisan lignin pada permukaan serat. Dan semakin terlihat pada gambar 4.11, yang merupakan serat dengan perlakuan perendaman NaOH 5%, lapisan lignin semakin berkurang, dan selulosa pun mulai terlihat. Pada gambar 4.12,

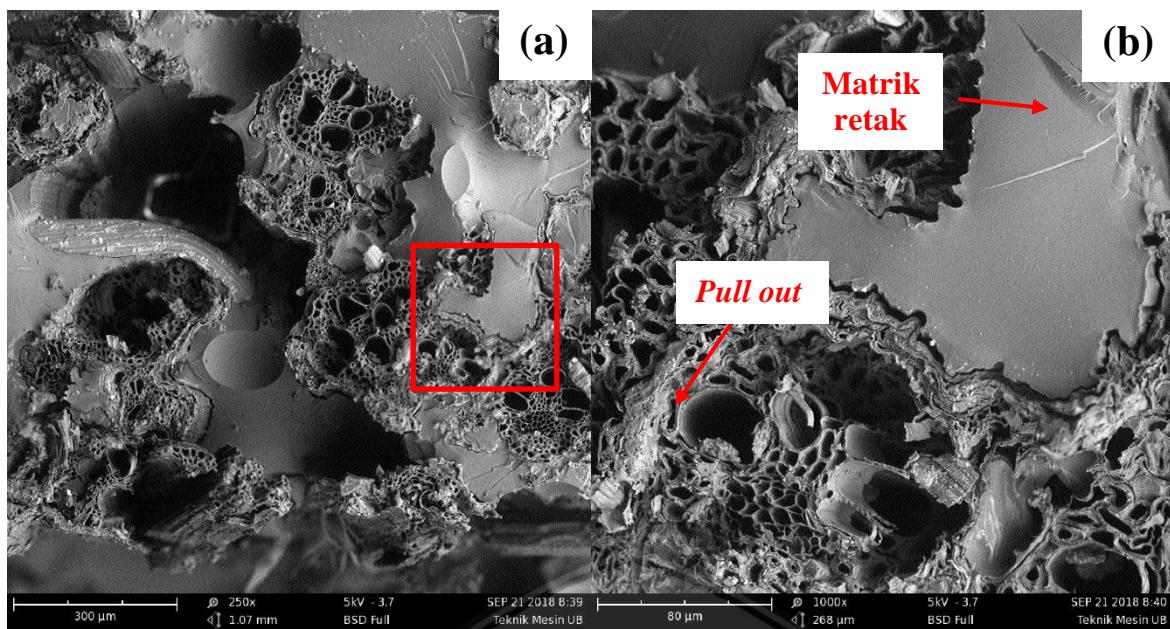
yaitu serat dengan perlakuan perendaman NaOH 7%, lignin pun semakin terkikis, dan selulosa semakin terlihat. Hal ini menunjukkan semakin berkuarngnya lapisan lignin pada serat, menyebabkan ikatan antara matrik resin dan serat semakin baik, dibuktikan dengan nilai kekuatan tarik komposit yang semakin tinggi. Pembersihan pada permukaan serat membuat permukaan serat menjadi lebih bersih dan membuat lebih kasar. Permukaan yang kasar ini akan mendukung baik *mechanical interlocking* maupun reaksi ikatan karena paparan gugus hidroksil ke epoksi sehingga meningkatkan ikatan adhesi serat dan matrik (Yan, 2012).

4.3.2 SEM Patahan Komposit Serat Batang Serai Wangi

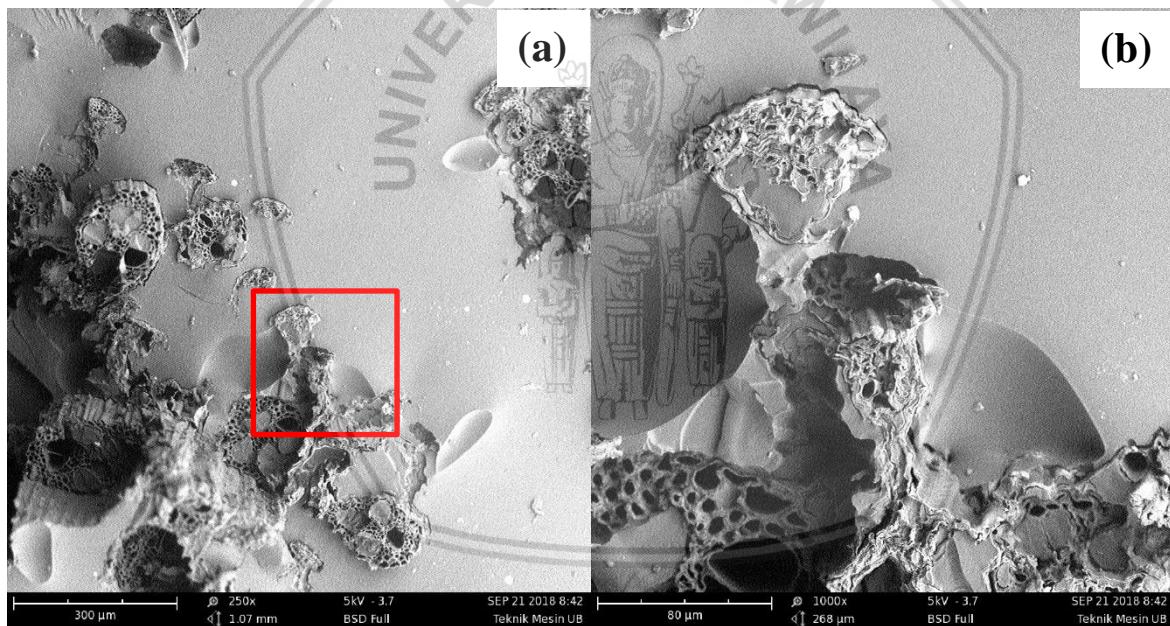
Pengujian SEM (*scanning electron microscopy*) pada patahan komposit bertujuan untuk mengetahui ikatan antara matrik dan serat pada komposit serat batang serai wangi. Pembesaran dipilih menggunakan 250x dan 1000x, dengan variasi perlakuan serat dengan perendaman NaOH 0% (tanpa perlakuan), 3%, 5%, dan 7% dengan waktu perendaman 1 jam.



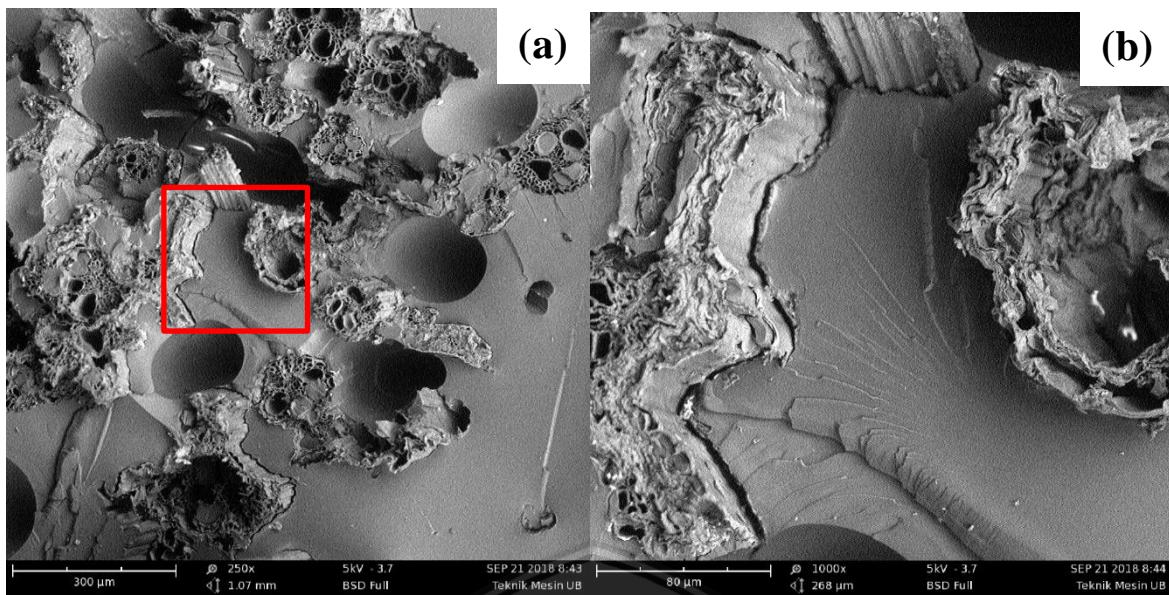
Gambar 4.13 SEM patahan komposit serat batang serai wangi tanpa perlakuan (a) 250x
(b) 1000x



Gambar 4.14 SEM patahan komposit serat batang serai wangi perendaman NaOH 3%
(a) 250x (b) 1000x



Gambar 4.15 SEM patahan komposit serat batang serai wangi perendaman NaOH 5%
(a) 250x (b) 1000x



Gambar 4.16 SEM patahan komposit serat batang serai wangi perendaman NaOH 7%
(a) 250x (b) 1000x

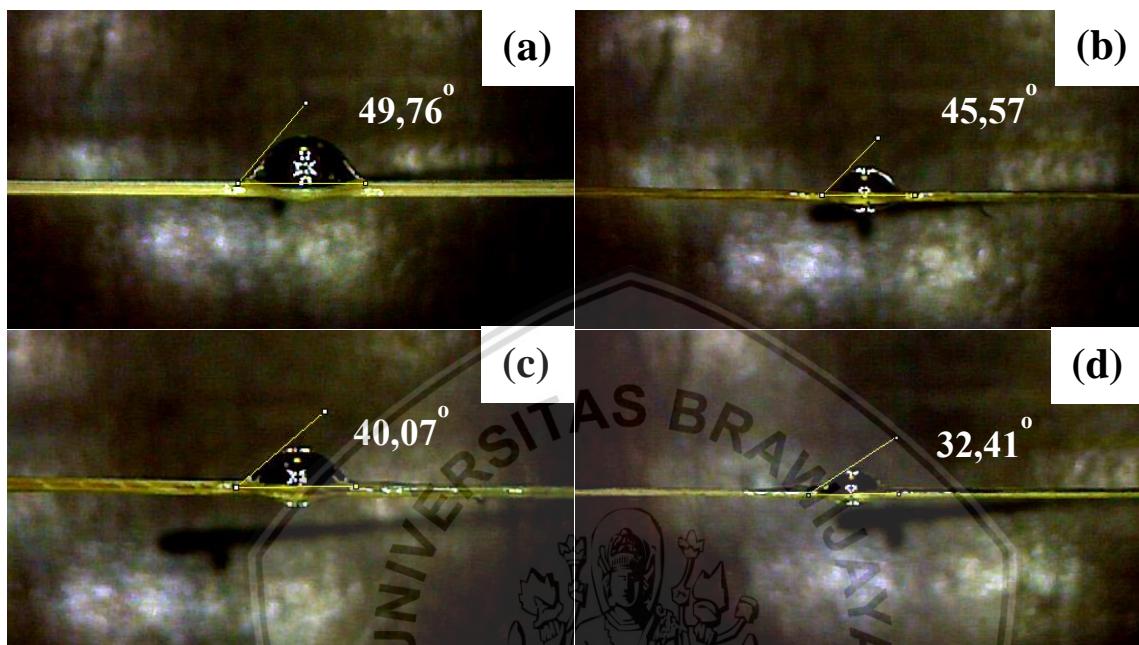
Hasil foto SEM pada patahan komposit serat batang serai wangi tanpa perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.13. pada patahan tersebut masih terlihat adanya kegagalan *pull out* di beberapa titik. Pada pembesaran 1000x, dapat dilihat adanya kegagalan *debonding* pada patahan komposit yang terjadi dikarenakan kurang kuatnya daya ikat antara matrik dan serat.

Gambar 4.14 menunjukkan patahan pada komposit serat batang serai wangi dengan variasi perendaman NaOH 3%. Kegagalan *pull out* dan *debonding* masih terjadi pada sampel patahan komposit ini, meski jumlahnya berkurang dibandingkan komposit serat tanpa perlakuan. Patahan pada komposit serat dengan perendaman NaOH 5% (Gambar 4.15) menunjukkan semakin berkurangnya kegagalan *pull out* dan *debonding*. Matrik pun terlihat semakin menunjukkan daya ikat yang kuat pada serat. Dan begitu pula pada gambar 4.16 dengan variasi perendaman NaOH 7%, matrik semakin mengikat serat. Perlakuan NaOH pada serat membuat terkikisnya sebagian lignin dan hemiselulosa yang terdapat pada permukaan serat, membuat permukaan serat menjadi lebih kasar, sehingga menjadikan ikatan yang lebih baik antara matrik dan serat. Bidang reaksi dan ikatan kimia antara matrik dan serat akan meningkat, seiring dengan hilangnya lignin pada permukaan serat, membuat sifat mekaniknya akan meningkat (Kosjoko, 2014)

4.4 Wettability

Serat batang serai wangi dengan variasi tanpa perendaman NaOH, perendaman NaOH 3%, perendaman NaOH 5%, dan perendaman NaOH 7% ditetaskan *droplet* dengan

orientasi serat membujur, lalu *droplet* dilihat menggunakan kamera dengan posisi tegak lurus. Sampel lalu difoto, disimpan, dan gambar diolah menggunakan program *image-J*. Pada pengujian ini akan didapatkan nilai sudut kontak yang direpresentasikan sebagai tegangan permukaan ($\cos \theta$) dan bentuk geometri tetesan tersebut.



*Gambar 4.17 Sudut kontak *droplet* serat batang serai wangi (a) Tanpa perendaman NaOH (b) Perendaman NaOH 3% (c) Perendaman NaOH 5% (d) Perendaman NaOH 7%*

Pada gambar 4.17 dapat dilihat bahwa sudut kontak yang didapatkan oleh serat batang serai wangi tanpa perendaman NaOH merupakan sudut kontak terbesar dengan nilai $49,76^\circ$. Pada serat batang serai wangi dengan perlakuan perendaman NaOH 3% didapatkan sudut kontak sebesar $45,57^\circ$. Nilai sudut kontak $40,07^\circ$ didapatkan pada serat batang serai wangi dengan perlakuan perendaman NaOH 5%. Dan pada serat batang serai wangi dengan perlakuan perendaman NaOH 7% memiliki nilai sudut kontak terkecil sebesar $32,41^\circ$.

Dapat dilihat bahwa semakin besar konsentasi NaOH pada perendaman serat, sudut kontak yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini disebabkan permukaan serat menjadi lebih bersih dan terlepasnya kotoran termasuk lignin yang menempel pada serat. Pada serat tanpa perlakuan disebabkan karena masih adanya lapisan lignin yang menempel pada serat. Cairan *droplet* sulit meresap kedalam serat karena terhalang oleh lapisan lignin dan secara langsung mengurangi sifat adhesinya. Secara substansi, sudut kontak akan lebih kecil nilainya setelah dilakukan alkalisasi, sehingga kualitas ikatan akan meningkat dikarenakan

permukaan serat menjadi lebih kasar dan berpori, diutamakan hilangnya lapisan lignin dan impuritas lainnya. Dengan semakin meningkatnya kualitas ikatan antara matrik dan serat diyakini dapat meningkatkan komposit serat dibandingkan serat tanpa perlakuan alkali (Musanif, 2014).





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penilitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

- Pengujian kekuatan tarik serat batang serai wangi menghasilkan nilai tertinggi pada serat batang serai wangi tanpa perlakuan dengan nilai 147,76 MPa, dan serat batang serai wangi perendaman NaOH 7% dengan nilai terendah sebesar 87,11 MPa. Pada pengujian, nilai kekuatan tarik komposit serat batang serai wangi bermatrik *epoxy* paling rendah didapatkan dengan nilai 24,48 MPa dimiliki oleh komposit serat tanpa perlakuan perendaman NaOH. Dan kekuatan paling tinggi dengan nilai 50,30 MPa dimiliki oleh komposit serat dengan konsentrasi perendaman NaOH 7%. Pada pengujian *Scanning Electronics Microscope* (SEM) serat batang serai wangi terlihat semakin berkurangnya kandungan lignin pada permukaan serat seiring dengan semakin besarnya konsentrasi larutan NaOH. Morfologi serat batang serai wangi yang mengalami perlakuan alkali terlihat lebih kasar daripada serat batang serai wangi yang belum mengalami perlakuan alkali. Perlakuan alkali (NaOH) dapat meningkatkan sifat mampu basah atau *wettability* pada serat batang serai wangi dengan matrik dengan melihat nilai sudut kontak yang semakin kecil. Hal ini terjadi karena kekasaran permukaan yang baik pada permukaan serat sehingga terjadi ikatan yang baik antara serat dan matrik. Oleh karena itu, perlakuan awal serat menggunakan alkali diperlukan untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matrik.

5.2 Saran

1. Perlunya penilitian lebih lanjut untuk memanfaatkan serat batang serai wangi sebagai bahan *reinforcement* komposit, terutama lebih baik dalam memanfaatkan limbah penyulingan serai wangi.
2. Meningkatkan ketelitian dalam pembuatan komposit menggunakan metode *vacuum infusion* untuk meningkatkan kualitas spesimen komposit yang dihasilkan.
3. Diperlukan ketelitian dan metode yang tepat dalam pemisahan serat dan daging batang serai wangi.



DAFTAR PUSTAKA

- Aminur (2011). Studi Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Serat Daun Palem (*Livistona rotundifolia*) dengan Matriks Epoxy Resin. Universitas Gajah Mada
- ASM Handbook Committee. (2001). *ASM Handbook Volume 21: Composite*. ASM International Handbook Committee.
- ASTM D638-03. (2003). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bakri, M. K. B. (2017). *Processing and Characterization of Banana Fiber/Epoxy Composites: Effect of Alkaline Treatment*. Swinburne University of Technology.
- Betan, A. D., Soenoko, R., & Sonief, A. A. (2014). Pengaruh Persentase Alkali pada Serat Pangkal Pelepas Daun Pinang (*Areca Catechu*) terhadap Sifat Mekanis Komposit Polimer. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.5, No.2: 119-126. Malang: Universitas Brawijaya.
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Li, Y., & Waterhouse, G. I. N. (2016). *Effect of Alkali Treatment on Interfacial Bonding in Abaca Fiber-Reinforced Composites*. School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics, Tongji University.
- Callister, W. D. (2007). *Material Science and Engineering*, 7th edition, Jhon Wolley & Sons, Inc., New York.
- Clayton A. (1987). *Epoxy Resins: Chemistry and Technology* (Second ed.). New York: Marcel Dekker Inc. p. 794. ISBN 0-8247-7690-9.
- Dacosta, M. (2017). Perbandingan Kandungan Minyak Atsiri Tanaman Sereh Wangi (*Cymbopogon nardus* L. Rendle) yang Ditanam di Lokasi Berbeda. Bali : Universitas Udayana.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2013). *Statistik Perkebunan Indonesia 2012-2014*.
- H. Avner S. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy*. McGraw-Hill book Company, New York.
- Harris Bryan. (1999). *Engineering composites*. London : The Institute of Materials.
- John, M. J. & Anandjiwala, R. D. (2008). *Recent developments in chemical modification and characterization of natural fibre-reinforced composites*. *Polymer Composite*. Volume 29. South Africa : CSIR Materials Science and Manufacturing, Fibre and Textiles Competence Area.
- Jones, R. M. (1999). *Mechanics of composite materials*, 2nd edition. Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia.
- Joshi, S. V. (2004). *Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.
- Kakani, S. L. & Kakani, A. (2004). *Material Science*. New Delhi: New Age International.
- Kosjoko. (2014). *Pengaruh perendaman (NaOH) terhadap kekuatan tarik dan bending komposit serat bambu tali (Gigantochloa Apus)*”. Jember : Universitas Muhammadiyah

- Li, X., Tabil, L.G. & Panigrahi, S. (2007) *Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review*. Journal of Polymers and the Environment
- Matthews F. L. & R.D . Rawling. (1994). *Composite Material Engineering Science Technology and Medicine*. Chopman & Hall. London.
- Mazumdar, S. K. (2002). *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*. Boca Raton: CRC Press.
- Mohanty, A. K. (2005). *Natural fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. Boca Raton: CRC Press.
- Musanif, I. S. (2014). Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap *Wettability* pada Komposit Serat Sabut Kelapa–*Polyester*. Politeknik Negeri Manado.
- Nayiroh, N. (2015). *Bahan Ajar Teknologi Material Komposit*. Malang: Universitas Islam Negeri Malang, 2013. <http://lecturer.uin-malang.ac.id>. (diakses 26 April 2018)
- Pratama, R. D. (2017). Pengaruh Proses Alkalisasi terhadap Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Penguat Komposit Absorbsi Suara. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- PT. Justus Kimia Raya. (2003). *Data Sheet Spesifikasi Unsaturated Polyester Resin Yukalac157® BTQN-EX*. Jakarta.
- Rohmawati, P. A., Yushardi, & Gani, A. A. (2017). Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Komposit Ramah Lingkungan Hasil Sintesis dari Serat Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata*) dan Selulosa Bakteri. Universitas Jember.
- Saravanan, P. (2017). *Improving Mechanical Properties Of Palm Sheath Composites Using Sodium Hydroxide [NaOH] Treatment*. Adhi College of Engineering & Technology
- Sankari, G., E. Krishnamoorthy, S. Jayakumaran, S. Gunasekaran, V.V. Priya, S. Subramanlam, S. Subramanlam, and S.K. Mohan. (2010). *Analysis of serum immunoglobulins using fourier transform infrared spectral measurements*. Journal of Clinical and Diagnostic Research
- Usmiati, S. (2016) Limbah Penyulingan Sereh Wangi dan Nilam sebagai Insektisida Pengusir Lalat Rumah (*Musca domestica*). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Bogor.
- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P., & Santas R. (2004) *Fibre dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production*. International Journal on Industrial Crops and Products Vol.19 245-254
- Witono, K. (2013). Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) terhadap Morfologi dan Kekuatan Tarik Serat Mendong. Universitas Brawijaya.
- Yan, L. (2012). *Improving the Mechanical Properties of Natural Fibre Fabric Reinforced Epoxy Composites by Alkali Treatment*. Journal of Reinforced Plastics and Composites

Yudhanto, F., Wisnujati, A., & Kusmono. (2016). Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik dan *Wettability* Serat Alam *Agave Sisalana Perrine*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

