

**PENGARUH PERLAKUAN ALKALI, FRAKSI VOLUME
SERAT, DAN PANJANG SERAT TERHADAP KEKUATAN
TARIK *SKIN* KOMPOSIT *SANDWICH* BERBAHAN DASAR
SERAT TEBU**

Skripsi

Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**MITA ASIH YUNIARTI
I 1307044**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2011**

ABSTRAK

Mita Asih Yuniarti, NIM : I1307044. PENGARUH PERLAKUAN ALKALI, FRAKSI VOLUME SERAT, DAN PANJANG SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK SKIN KOMPOSIT SANDWICH BERBAHAN DASAR SERAT TEBU. Skripsi. Surakarta : Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Oktober 2011.

Industri perkerajinan di Indonesia memiliki kapasitas produksi sangat tinggi sementara ketersediaan kayu sebagai bahan baku bangunan terus menurun. Serat tebu dapat menjadi bahan baku alternatif pengganti kayu karena keberadaannya di Indonesia yang cukup melimpah pada tahun 2009 produksi tebu di Indonesia berjumlah 2.849.769 ton dan terus meningkat sampai sekarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat serta interaksi antar faktor tersebut terhadap kekuatan tarik *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu.

Desain eksperimen yang digunakan adalah eksperimen faktorial, dengan teknik pengolahan data *factorial completely randomized design experiment* yang mana terdapat tiga faktor yang diuji yaitu, faktor perlakuan alkali (tanpa perlakuan, 30 menit, dan 60 menit perendaman dengan 5 % NaOH), fraksi volume serat (20 %, 30%, dan 40%), dan panjang serat (20 mm, 40 mm, dan 60 mm).

Hasil penelitian diperoleh bahwa masing-masing faktor dan interaksi antar faktor tersebut berpengaruh terhadap kekuatan tarik *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu, dengan nilai tarik tertinggi sebesar 274,278 kgf/cm² untuk komposit dengan perlakuan alkali selama 30 menit, fraksi volume serat 40 %, dan panjang serat 60 mm. Nilai tersebut telah memenuhi standar minimal kekuatan tarik papan serat menurut SNI 01-4449-2006.

Kata kunci: *skin*, kekuatan tarik, serat tebu, perlakuan alkali, fraksi volume, panjang serat.

xv + 71 halaman; 15 tabel; 21 gambar; 4 lampiran; daftar pustaka:41(1984-2011)

ABSTRACT

Mita Asih Yuniarti, NIM : I1307044. THE INFLUENCE OF ALKALI TREATMENT, FIBER VOLUME FRACTION, AND FIBER LENGTH TO TENSILE STRENGTH OF COMPOSITE SANDWICH SKIN BASED SUGAR CANE FIBER. Thesis. Surakarta : Industrial Engineering Department, Engineering Faculty, Sebelas Maret University, October 2011.

Timber industry in Indonesia has a very high production capacity while the availability of wood as raw material for the building continued to decline. Sugar cane fiber can be an alternative to wood raw material because of its presence in Indonesia which is relatively abundant, in 2009 sugar cane 2,849,769 tonnes and continued to increase until now. The objective of this study is to evaluate the influence factors of alkali treatment, fiber volume fraction, fiber length and interaction between factors on the tensile strength of composite sandwich skin based sugar cane fiber.

Design of experiment used factorial eksperiment and the method of data processing used factorial completely randomized design experiment which contain three factors, i.e. alkali treatment (without treatment, 30 minutes, and 60 minutes submersion in 5% NaOH), fiber volume fraction (20%,30%, and 40%), and fiber length (20 mm, 40 mm, 60 mm).

The experimental results show that each of these factors and interaction between factors affect the tensile strength of composite sandwich skin with the maximum tensile strength value at 274.278 kgf/cm² for alkali treatment in 30 minutes, 40 % volume fraction, with 60 mm fiber length. That amount has sufficed minimum standards tensile strength value of fiber board according to the SNI 01-4449-2006.

Keywords: skin, tensile strength, sugar cane fiber, alkali treatment, volume fraction, fiber length

xv + 71 pages; 15 tables; 21 pictures; 4 appendices; bibliography: 41(1984-2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR VALIDASI	iii
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH	iv
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Manfaat Penelitian	I-4
1.5 Batasan Masalah	I-4
1.6 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Landasan Teori.....	II-1
2.1.1 Komposit	II-1
2.1.2 Material Penyusun Komposit.....	II-7
2.1.3 Perlakuan Alkali	II-9
2.2 Kekuatan Fisik dan Mekanik.....	II-10
2.2.1 Fraksi Volume.....	II-10
2.2.2 Pengujian Densitas.....	II-11
2.2.3 Pengujian Tarik.....	II-11
2.3 Klasifikasi Papan Serat.....	II-13

	2.4 Perancangan Eksperimen.....	II-14
2.4.1	Faktorial Eksperimen.....	II-16
2.4.2	Pengujian Asumsi-asumsi ANOVA.....	II-17
2.4.3	<i>Analysis of Variance</i> (ANOVA).....	II-18
2.4.4	Uji Pembanding Ganda.....	II-19
	2.5 Kajian Pustaka.....	II-20
	BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
3.1	Kerangka Penelitian.....	III-1
3.2	Tempat Penelitian.....	III-2
3.3	Rancangan Penelitian.....	III-2
	3.3.1 Orientasi Penelitian.....	III-2
	3.3.2 Rancangan Eksperimen.....	III-3
3.4	Pelaksanaan Penelitian.....	III-8
	3.4.1 Alat dan Bahan.....	III-8
	3.4.2 Pembuatan Spesimen.....	III-9
	3.4.3 Pengujian Spesimen.....	III-12
3.5	Tahap Pengolahan Data.....	III-12
3.6	Analisis Hasil Penelitian.....	III-17
3.7	Kesimpulan dan Saran.....	III-18
	BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	IV-1
4. 1	Pengumpulan Data.....	IV-1
4.1.1	Penentuan Teknik Eksperimen.....	IV-1
4.1.2	Identifikasi Karakteristik Kualitas.....	IV-1
4.1.3	Pra Eksperimen	IV-1
4.1.4	Hasil Eksperimen	IV-2
4. 2	Pengolahan Data.....	IV-4
4.2.1	Uji Asumsi Dasar	IV-4
4.2.2	Uji ANOVA	IV-19
	BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL.....	V-1
5.1	Analisis Hasil Uji Tarik.....	V-1
	5.2.1 Analisis Kekuatan Tarik <i>Skin</i> Komposit <i>Sandwich</i> ..	V-1

5.2.2	Analisis Faktor Perlakuan Alkali.....	V-2
5.2.3	Analisis Faktor Fraksi Volume Serat.....	V-3
5.2.4	Analisis Faktor Panjang Serat.....	V-4
5.2.5	Analisis Interaksi Faktor Perlakuan Alkali dan Fraksi Volume Serat.....	V-5
5.2.6	Analisis Interaksi Faktor Perlakuan Alkali dan Panjang Serat.....	V-6
5.2.7	Analisis Interaksi Faktor Fraksi Volume Serat dan Panjang Serat.....	V-6
5.2.8	Analisis Interaksi Faktor Perlakuan Alkali, Fraksi Volume Serat, dan Panjang Serat.....	V-7
5.2.9	Analisis Permukaan Patah Uji Tarik.....	V-8
5.2	Analisis Proses Pembuatan Spesimen.....	V-9
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		VI-1
6.1	Kesimpulan.....	VI-1
6.2	Saran.....	VI-1
DAFTAR PUSTAKA.....		xv
LAMPIRAN		

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Industri perkayuan di Indonesia memiliki kapasitas produksi sangat tinggi sementara ketersediaan kayu sebagai bahan baku bangunan terus menurun, pengusaha kayu melakukan penebangan tak terkendali dan merusak, yang telah dimulai sejak akhir tahun 1960-an (Rustandi, 2011). Mengingat ketersediaan kayu yang terus menurun sudah seharusnya mencari bahan baku alternatif pengganti kayu yang keberadaannya di Indonesia cukup melimpah seperti penggunaan sumber daya alam hayati berupa serat alam, serat perlu dibentuk sebagai komposit sehingga fungsinya sama dengan struktur kayu. Agar komposit mampu menahan beban yang lebih berat, maka perlu adanya komposit *sandwich* (Diharjo dkk., 2005). Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari *flat composite* atau *metal sheet* sebagai *skin* serta *core* di bagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekuatan yang tinggi (Schawrtz, 1984).

Menurut Gibson (1994), *skin* adalah bagian terluar dari komposit *sandwich*, bahannya dapat terbuat dari berbagai macam bahan yang dibentuk menjadi lembaran. Dalam struktur *sandwich* fungsi utama *skin* adalah sebagai pelindung bagian dalam struktur *sandwich* dari benturan atau gesekan dan juga untuk keperluan penampilan (*performance*). Karena *skin* komposit memiliki peranan yang penting pada struktur *sandwich*, maka penelitian ini akan mengembangkan *skin* komposit. Sifat-sifat yang harus ada pada *skin* diantaranya kekakuan yang baik, kekuatan desak dan tarik yang baik, dan tahan terhadap lingkungan (Gibson, 1994). *Skin* merupakan sasaran tegangan atau tekanan dan sebagian besar bertanggung jawab untuk kekuatan komposit *sandwich* (Stejskal, 2011). Untuk itu perlu dilakukan pengujian tarik terhadap *skin* komposit *sandwich*.

Saat ini serat alam telah dicoba untuk dijadikan alternatif penggunaan serat sintetis sebagai bahan baku komposit selain serat sintetis. Serat alam memiliki keunggulan diantaranya memiliki kekuatan spesifik yang sesuai, murah, sifat termal yang baik, dan dapat terbiodegradasi (Karnani dkk., 1997). Penggunaan

serat alam menggantikan serat sintesis adalah sebuah langkah bijak dalam menyelamatkan kelestarian lingkungan dari limbah yang dibuat dan keterbatasan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (Eichorn, 2001). *Skin* komposit yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah komposit berpenguat serat karena menggunakan serat sebagai bahan penguatnya. Menurut Callister (2007) komposit berpenguat serat terdiri dari serat dan matriks, matriks berfungsi mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur. Matriks dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik Gibson (1994). *Unsaturated Polyester Resin* (UPRs) merupakan jenis matriks polimer dengan harga relatif murah, *curing* yang cepat, warna jernih, dan mudah dalam penanganannya (Billmeyer, 1984). Oleh karena itu, *Unsaturated Polyester Resin* digunakan sebagai matriks dalam penelitian ini.

Bahan dasar yang digunakan untuk membuat *skin* komposit harus cukup kuat untuk menahan tegangan tarik dan tekanan yang dihasilkan dari beban (Callister, 2007). Serat tebu memiliki kekuatan tarik sebesar 290 MPa sedangkan sabut kelapa memiliki kekuatan tarik 200 MPa (*Building Material and Technology Promotion Council*, 1998). Serat tebu keberadaannya di Indonesia cukup melimpah, berdasarkan data statistik produksi tanaman tebu di Indonesia pada tahun 2009 berjumlah 2.849.769 ton dan terus mengalami peningkatan produksi dari tahun 1995 sampai sekarang (www.bps.go.id, 2009). Dengan ketersediaan tebu yang sama melimpahnya dengan sabut kelapa kekuatan tarik ini lebih besar dibandingkan dengan sabut kelapa, sehingga serat tebu berpotensi sebagai bahan dasar untuk membuat *skin* komposit mengingat produksi tanaman tebu yang terus meningkat serta kekuatan mekaniknya yang cukup tinggi. Pengaplikasian komposit serat alam dapat digunakan sebagai papan serat yang dapat digunakan pada interior bangunan seperti panel sekat ruangan. Agar luas dan fleksibel aplikasinya nilai kekuatan tarik sebuah bahan papan serat diharapkan dapat memenuhi standar yang merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-4449-2006 untuk papan serat.

Serat merupakan komponen utama penyusun *skin* komposit selain matriks, sehingga perbandingan komposisi antara serat dan matriks merupakan faktor penentu dalam memberikan karakteristik kekuatan komposit yang dihasilkan.

Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f). Prasetyo (2007) dalam penelitiannya membuktikan, semakin kecil fraksi volume serat maka kekuatan tarik akan semakin kecil. Namun apabila fraksi volume matriks yang terlalu kecil maka kekuatan tarik menjadi kecil karena kurangnya ikatan antara serat dengan matriks. Penelitian Wahono (2008) mengatakan bahwa perlakuan alkali yaitu dengan perendaman serat menggunakan NaOH mengakibatkan penurunan jumlah lignin dan pengotor lainnya yang menempel pada serat sehingga permukaan serat menjadi semakin kasar yang menyebabkan ikatan *interface* serat dan resin menjadi kuat. Serat tebu memiliki kandungan selulosa 43 %, hemiselulosa kurang dari 1 %, lignin 45 %, kadar air 10-12 % (*Building Material And Technology Promotion Council*, 1998). Untuk itu perlakuan alkali diperlukan untuk menurunkan kadar lignin yang cukup besar pada serat tebu. Selain perlakuan alkali, panjang serat itu sendiri juga mempengaruhi kekuatan tarik komposit. Penelitian Kurniawan (2010) menyatakan panjang serat mempengaruhi kekuatan tarik, karena serat panjang dapat mengalirkan beban maupun tegangan dari titik tegangan kearah serat. Selain pengaruh masing-masing faktor, pengaruh kombinasi antar faktor belum diketahui. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan *skin* komposit dengan faktor perlakuan alkali, fraksi volume serat, serta panjang serat untuk mengetahui pengaruh terhadap kekuatan tarik.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan maka rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana pengaruh perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat terhadap karakteristik kekuatan tarik.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing faktor (perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat) terhadap kekuatan tarik *skin* komposit berbahan serat tebu.

commit to user

2. Mengetahui pengaruh kombinasi level-level faktor perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat terhadap kekuatan tarik *skin* komposit berbahan serat tebu.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi karakteristik-karakteristik kekuatan tarik komposit *skin* yang berbahan dasar serat tebu.
2. Memberikan rekomendasi pemanfaatan serat tebu sebagai alternatif bahan baku komposit *sandwich* yang fungsional dan dapat memiliki nilai komersial.

1.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan dasar yang digunakan adalah limbah tebu yang berasal dari hasil perasan es sari tebu.
2. Arah serat yang digunakan adalah arah serat acak.
3. Ketebalan spesimen 3 mm berdasarkan ASTM D 638 – 97.
4. Resin yang digunakan adalah resin *Unsaturated Polyester Resin (UPRs)* BQTN-EX 157 ®.
5. Jenis larutan alkali yang digunakan adalah NaOH.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dibuat agar dapat memudahkan pembahasan penyelesaian masalah dalam penelitian ini. Penjelasan mengenai sistematika penulisan, sebagai berikut :

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan berbagai hal mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang akan dipakai untuk mendukung penelitian, sehingga perhitungan dan analisis dilakukan secara teoritis.

Tinjauan pustaka diambil dari berbagai sumber yang berkaitan langsung dengan permasalahan yang dibahas dalam penelitian.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan yang dilalui dalam penyelesaian masalah secara umum yang berupa gambaran terstruktur dalam bentuk *flowchart* sesuai dengan permasalahan yang ada mulai dari studi pendahuluan, pengumpulan data sampai dengan pengolahan data dan analisis.

BAB IV: PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah, kemudian dilakukan pengolahan data secara bertahap.

BAB V: ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Bab ini memuat uraian analisis dan interpretasi dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan target pencapaian dari tujuan penelitian dan kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan masalah. Bab ini juga menguraikan saran dan masukan bagi kelanjutan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang digunakan untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan serta studi pustaka penelitian-penelitian sebelumnya.

LANDASAN TEORI

Bagian ini menguraikan tentang komposit, serat tebu, resin polyester digunakan dalam pembahasan masalah. Sedangkan pengetahuan tentang perlakuan alkali, sifat fisis dan mekanik komposit yaitu kuat tarik diperlukan dalam analisis hasil penelitian.

Komposit

Menurut Gibson (1994) material komposit di definisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat. Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis.

Menurut Schwartz (1984), Klasifikasi komposit dapat dibentuk dari sifat dan stukturanya. Secara umum klasifikasi komposit yang sering digunakan antara lain seperti:

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama, seperti *metal-organic* atau *metalanorganic*.
2. Klasifikasi menurut karakteristik *bulk-form*, seperti sistem matrik atau *laminat*.
3. Klasifikasi menurut distribusi unsur pokok, seperti *continuous* dan *discontinuous*.
4. Klasifikasi menurut fungsinya, seperti elektrik atau struktural

Sedangkan klasifikasi untuk komposit serat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain (Schwartz, 1984):

1. *Fiber composites* (komposit serat) adalah gabungan serat dengan matrik.
2. *Flake composites* adalah gabungan serpih rata dengan matrik.

3. *Particulate composites* adalah gabungan partikel dengan matrik.
4. *Filled composites* adalah gabungan *matrik continous skeletal* dengan matrik yang kedua.
5. *Laminar composites* adalah gabungan lapisan atau unsur pokok lamina.

Menurut Gibson (1994), berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu:

1. *Continuous Fiber Composite*

Continuous atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

2. *Woven Fiber Composite (bi-dirrectional)*

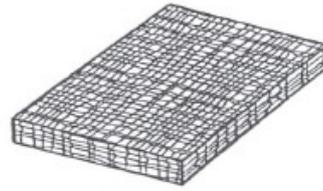
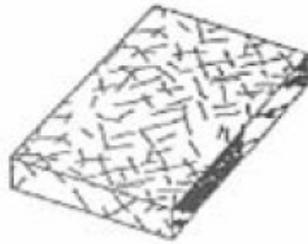
Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous fiber*.

3. *Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)*

Komposit dengan tipe serat pendek masih dibedakan lagi menjadi a) *Aligned discontinuous fiber*, b) *Off-axis aligned discontinuous fiber*, c) *Randomly oriented discontinuous fiber*. *Randomly oriented discontinuous fiber* merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih di bawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

4. *Hybrid fiber composite*

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.

(a) *Continuous fiber composite*(b) *Woven fiber composite (bi-directional)*(c) *Discontinuous fiber composite (chopped fiber composite)*(d) *Hybrid fiber composite*

Gambar 2. 1 Tipe serat pada komposit
Sumber: Gibson, 1994

Komposit serat dalam dunia industri mulai dikembangkan dari pada menggunakan bahan partikel. Bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu *strong* (kuat), *stiff* (tangguh), dan lebih tahan terhadap panas pada saat didalam matrik (Schwartz, 1984).

Secara umum komposit dengan penguatan serat tersusun dari dua material utama yaitu matrik dan serat. Antar kedua unsur material tersebut tidak terjadi reaksi kimia dan tidak larut satu sama lain, melainkan hanya ikatan antar muka diantara keduanya. Serat yang memiliki kekuatan lebih tinggi berperan sebagai komponen penguat, sedangkan matrik yang bersifat lemah dan liat bekerja sebagai pengikat dan memberi bentuk pada struktur komposit (Schwartz, 1984).

1. Matrik

Matrik, sebagai pengisi ruang komposit, memegang peran penting dalam mentransfer tegangan, melindungi serat dari lingkungan dan menjaga permukaan serat dari pengikisan. Matrik harus memiliki kompatibilitas yang baik dengan serat. Beberapa jenis matrik polimer termoset yang sering digunakan ialah *polyester*, *epoxy*, *phenolics*, dan *polyamids*, sedangkan yang termasuk jenis matrik polimer *termoplastic* adalah *polyethylene*, *polypropylene*, nilon, *polycarbonate*,

dan *polyether-ether keton* (Schwartz, 1984). Fungsi penting matriks dalam komposit yaitu:

- a Mengikat serat menjadi satu dan mentransfer beban ke serat. Hal ini akan menghasilkan kekakuan dan membentuk struktur komposit.
- b Mengisolasi serat sehingga serat tunggal dapat berlaku terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat penyebaran retakan.
- c Memberikan suatu permukaan yang baik pada kualitas akhir komposit dan menyokong produksi bagian yang berbentuk benang-benang.
- d Memberikan perlindungan untuk memperkuat serat terhadap serangan kimia dan kerusakan mekanik karena pemakaian.
- e Berdasarkan matrik yang digunakan, karakteristik performansi meliputi kelenturan, kekuatan impak, dan sebagainya, juga turut dipengaruhi. Sebuah matrik yang ulet akan meningkatkan ketangguhan struktur komposit.

2. Serat

Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat yang dapat langsung diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas dan kenaf atau goni. Serat alam memiliki kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia. Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat dan ukurannya yang relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama sepanjang serat. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, nilon, dan lain-lain (Schwartz, 1984).

Menurut Biswas *dkk* (2001), beberapa karakteristik yang juga merupakan kelebihan dari komposit yang diperkuat serat alam yaitu, 1) dapat dicat, dipoles, maupun dilaminasi, 2) tahan terhadap penyerapan air, 3) murah karena bahan baku seratnya banyak tersedia di alam dan proses pembuatannya relatif muda dan sederhana, 4) kuat dan kaku, 5) ramah lingkungan, karena materialnya merupakan bahan organik dan bisa didaur ulang secara alami oleh lingkungan, 6) memiliki kemampuan dan diproses dengan baik. Serat alam memiliki keunggulan

dibandingkan dengan serat gelas, diantaranya memiliki kekuatan spesifik yang sesuai, murah, densitas rendah, ketangguhan tinggi, sifat termal yang baik, mengurangi keausan alat, mudah dipisahkan, meningkatkan *energy recovery*, dan dapat terbiodegradasi (Karnani dkk., 1997).

Disamping kelebihan-kelebihan di atas, komposit serat alam juga memiliki beberapa kelemahan, Rowell (1997) menyebutkan beberapa kelemahan komposit serat alam, yaitu, 1) penurunan karena faktor biologi, yaitu adanya organisme yang mungkin tumbuh dan memakan karbohidrat yang terkandung dalam serat, sehingga menimbulkan enzim khusus yang akan merusak struktur serat, dan melepaskan ikatan antara serat dan matrik, 2) penurunan kualitas karena panas atau thermal, 3) penurunan panas karena radiasi ultraviolet, hal ini terjadi karena penyinaran ultraviolet akan menyebabkan meningkatnya karbohidrat dan berkurangnya lignin. Serat yang banyak mengandung karbohidrat akan memiliki kemampuan ikatan dengan matrik yang rendah, sehingga kekuatan matrik akan turun, 4) kekuatannya masih lebih rendah jika dibanding serat buatan.

Serat berperan sebagai penyangga kekuatan dari struktur komposit, beban yang awalnya diterima oleh matrik kemudian diteruskan ke serat oleh karena itu serat harus mempunyai kekuatan tarik dan elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik. Secara teoritis komposit serat yang menggunakan serat panjang akan memberikan nilai penguatan yang lebih efisien dan seragam dibanding serat pendek karena beban yang terjadi disalurkan secara merata sepanjang serat. Sedangkan komposit serat pendek, dengan orientasi yang benar akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan *continuous fiber*. Komposit berserat pendek dapat diproduksi dengan cacat permukaan yang rendah sehingga kekuatannya mencapai kekuatan teoritisnya (Schwartz, 1984).

Berikut komposisi unsur kimia serat alam yang ditunjukkan pada tabel 2.1 dan sifat mekanis dan dimensi dari beberapa serat alam ditunjukkan oleh tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi unsur kimia serat alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar air(%)
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Tebu	43	<1	45	10-12
Flax	70-72	14	4-5	7
Jute	61-63	13	5-13	12,5
Rami	80-85	3-4	0,5	5-6
Sisal	60-67	10-15	8-12	10-12
Sun hemp	70-78	18-19	4-5	10-11
Cotton	90	6	-	7

Sumber: Building Material and Technology Promotion Council, 1998.

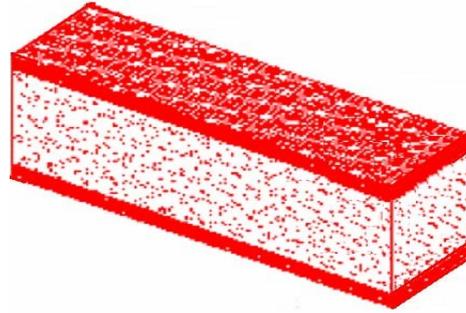
Tabel 2.2 Sifat mekanis beberapa serat alam

Serat	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Modulus Young (GPa)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Regangan (%)
Tebu	-	0,2-0,4	17	290	-
Pisang	-	0,8-2,5	1,4	95	5,9
Sabut	50-350	0,1-0,4	0,9	200	29
Flax	500	NA	100	1000	2
Jute	1800-3000	0,1-0,2	32	350	1,7
Kenaf	30-750	0,04-0,09	22	295	-
Sisal	-	0,5-2	100	1100	-

Sumber: Building Material and Technology Promotion Council, 1998.

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari tiga lapisan yang terdiri dari *flat composite* dan atau *metal sheet* sebagai *skin* serta *core* di bagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core* (Schawrtz, 1984). Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan (Schawrtz, 1984).

commit to user



Gambar 2.2 Bentuk komposit *sandwich*

Material Penyusun Komposit

Material penyusun komposit ini terbagi menjadi dua bagian yaitu serat tebu sebagai material penguat dan resin *polyester* sebagai matrik atau pengikatnya.

1. Tebu

Tebu adalah tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula dan vetsin. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis. Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan. Umur tanaman sejak ditanam sampai dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun. Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatra.

Klasifikasi botani tanaman tebu adalah sebagai berikut (Slamet, 2004) :

- Divisi : Spermatophyta
- Sub divisi : Agiospermae
- Kelas : Monocotyledonae
- Famili : Poaceae
- Genus : Saccharum
- Species : *Saccharum officinarum*

Tanaman tebu mempunyai batang yang tinggi kurus, tidak bercabang, dan tumbuh tegak. Tanaman yang tumbuh baik tinggi batangnya dapat mencapai 3-5 meter atau lebih. Pada batangnya terdapat lapisan lilin yang berwarna putih keabu-abuan. Batangnya beruas-ruas dengan panjang ruas 10-30 cm. Daun berpangkal pada buku batang dengan kedudukan yang berseling.

Tebu (*Saccharum officinarum* L) termasuk rumput-rumputan. Tanaman ini memerlukan udara panas yaitu 24 - 30°C dengan perbedaan suhu musiman tidak lebih dari 6°C, perbedaan suhu siang dan malam tidak lebih dari 10°C. Tanah yang

ideal bagi tanaman tebu adalah tanah berhumus dengan pH antara 5,7- 7. Batang tebu mengandung serat dan kulit batang (12,5%) dan nira yang terdiri dari air, gula, mineral dan bahan non gula lainnya (87,5%) (Notojoewono, 1981).

Tebu dapat hidup dengan baik pada ketinggian tempat 5 – 500 meter di atas permukaan laut (mdpl), pada daerah beriklim panas dan lembab dengan kelembapan > 70%, hujan yang merata setelah tanaman berumur 8 bulan dan suhu udara berkisar 28– 34° C (Slamet, 2004).

Data produksi tanaman tebu di Indonesia tahun 2009 berjumlah 2.849.769 ton dan terus mengalami peningkatan produksi dari tahun 1995 sampai sekarang (www.bps.go.id, 2009). Dari proses pembuatan tebu akan dihasilkan gula 5%, serat tebu 90% dan sisanya berupa tetes (molasse) dan air.

2. *Unsaturated Polyester Resin (UPRs)*

Unsaturated Polyester Resin merupakan jenis resin *thermoset*, dalam kebanyakan hal resin ini disebut *polyester* saja. *Polyester* merupakan resin cair dengan viskositas yang relatif rendah. Resin ini memiliki sifat mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti banyak resin lainnya. Selain itu, karakteristik dari resin ini adalah kaku dan rapuh. Mengenai sifat termalnya, *polyester* memiliki suhu deformasi thermal lebih rendah daripada resin *thermoset* lainnya karena banyak mengandung monomer stiren dan ketahanan panas jangka panjangnya adalah kira-kira 110-140°C. *Polyester* juga memiliki ketahanan dingin dan sifat listrik yang lebih baik diantara resin *thermoset* (Wicaksono, 2006).

Penggunaan resin jenis ini dapat dilakukan dari proses *hand lay up* sampai dengan proses yang kompleks yaitu dengan proses mekanik. Resin ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit pada dunia industri dengan pertimbangan harga relatif murah, *curing* yang cepat, warna jernih, kestabilan dimensional dan mudah penanganannya (Billmeyer, 1984). Pengesetan termal digunakan Benzoil Peroksida (BPO) sebagai katalis. Temperatur optimal adalah 80⁰-130⁰C, namun demikian kebanyakan pengesetan dingin yang digunakan. *Metyl Etyl Keton Peroksida* (MEKPO) digunakan sebagai katalis dan ditambahkan pada 1-2 % (Surdia dan Saito, 1985).

commit to user

Penggunaan katalis sebaiknya diatur berdasarkan kebutuhannya. Pada saat mencampurkan katalis ke dalam matriks maka akan timbul reaksi panas (60° - 90° C). Proses pengerasan resin diberi bahan tambahan yaitu, katalis jenis *Metyl Etyl Keton Peroksida (MEKPO)*, katalis digunakan untuk mempercepat proses pengerasan cairan resin pada suhu yang lebih tinggi. Pemakaian katalis dibatasi sampai 1% dari volume resin (www.justus.co.id, 2011).

Tabel 2.3 Sifat fisik resin 157 BQTN-EX

	Satuan	Nilai Tipikal	Metoda Tes
Kekerasan		51	JIS K6919
Penyerapan air	%	0.15	JIS K6911
Tensile strength	Kg/mm ²	10.5	JIS K7113
Tensile modulus	Kg/mm ²	860	JIS K7113
Flexural strength	Kg/mm ²	16.5	JIS K7203
Flexural modulus	Kg/mm ²	860	JIS K7203
Kandungan glass	%	31	JIS K6919

Sumber: www.justus.co.id, 2011

Tabel 2.4 Sifat resin 157 BQTN-EX setelah mengeras

	Satuan	Nilai Tipikal	Keterangan
Berat jenis		1.215	25 ^o C
Kekerasan		40	
Suhu ditorsi panas	^o C	70	
Penyerapan air (suhu ruang)	%	0.188	24 jam
		0.466	7 jam
Tensile strength	Kg/mm ²	9.4	
Tensile modulus	Kg/mm ²	300	
Flexural strength	Kg/mm ²	5.5	
Flexural modulus	Kg/mm ²	300	
Elongasi	%	1.6	

Sumber: www.justus.co.id, 2011

Perlakuan Alkali

Alkali secara umum disebut kelompok senyawa basa. NaOH merupakan salah satu senyawa alkali yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Menurut teori Arrhenius, basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH negatif dan ion positif. Larutan basa memiliki rasa pahit, dan jika mengenai tangan terasa licin (seperti sabun). Salah satu indikator yang digunakan untuk menunjukkan kebasaaan adalah

lakmus merah, bila lakmus merah dimasukkan ke dalam larutan basa maka berubah menjadi biru.

Untuk mendapatkan komposit dengan karakteristik yang baik dari bahan penguat serat alam, hal yang perlu diperhatikan adalah memperbaiki ikatan antarmuka serat alam dengan resin. Sifat alami serat adalah *hidrophylic*, yaitu suka terhadap air berbeda dari polimer yang *hidrophobic* yaitu menolak air. Adanya perbedaan sifat tersebut dapat menurunkan kemampuan resin untuk mengikat serat. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hidrophylic* serat dapat memberikan ikatan interfacial dengan matrik secara optimal (Bismarek, dkk. 2002).

Selama perlakuan alkali serat alam, sebagian unsur penyusun serat dapat larut dalam larutan alkali tersebut. Lignin dan hemiselulosa serta zat-zat lain seperti lilin, abu, dan kotoran lain dapat terbang karena perlakuan alkali serat (Ray, dkk. 2001). Adanya pelarutan unsur tersebut dimana lignin merupakan unsur lemah pada serat dan lilin yang bersifat mengurangi resin mengikat serat, diharapkan dapat meningkatkan kekuatan komposit.

KEKUATAN FISIK DAN MEKANIK

Sifat fisik meliputi volume dan densitas serta kekuatan mekanik yaitu kekuatan tarik diuraikan sebagai berikut:

2.2.1 Fraksi Volume

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat/serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f) atau fraksi berat serat (W_f). Jika selama proses pembuatan komposit diketahui massa serat dan matrik, serta density serat dan matrik, maka fraksi volume dan fraksi massa serat dapat dihitung dengan persamaan (Diharjo dkk, 2005) :

Diasumsikan volume *void* (V_v) = 0

$$v_f = \frac{w_f / \rho_f}{w_f / \rho_f + w_m / \rho_m} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

$$w_f = \frac{\rho_f \cdot v_f}{\rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

v_f, w_f = fraksi volume dan berat serat

ρ_f, ρ_m = densitas serat dan matrik (gr/cm^3)

2.2.2 Pengujian Densitas

Pengujian densitas merupakan pengujian sifat fisis terhadap spesimen, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kerapatan massa dari spesimen yang diuji. Rapat massa (*mass density*) suatu zat adalah massa per satuan volume (JIS, 2003).

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots$$

(2.3)

Keterangan:

ρ = densitas benda (gr/cm^3)

m = massa benda (gr)

v = volume benda (cm^3)

2.2.3 Pengujian Tarik

Pengujian suatu bahan dimaksudkan untuk memperoleh kepastian mengenai sifat-sifat dan kekuatan bahan tersebut. Melalui pengujian yang teliti akan diketahui apakah bahan tersebut dapat digunakan untuk suatu konstruksi tertentu. Sifat mekanik bahan adalah hubungan antara respons atau deformasi bahan terhadap beban yang bekerja. Sifat mekanik berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan. Bahan dapat dibebani dengan tiga cara yaitu dengan pengujian tarik, pengujian tekan, dan pengujian geser. Dalam penelitian ini bahan akan di uji dengan pengujian tarik. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1986). Hal-hal yang mempengaruhi kekuatan tarik komposit antara lain: *mmmit to user*

a. Temperatur

Apabila temperatur naik, maka kekuatan tariknya akan turun

b. Kelembaban

Pengaruh kelembaban ini akan mengakibatkan bertambahnya absorpsi air, akibatnya akan menaikkan regangan patah, sedangkan tegangan patah dan modulus elastisitasnya menurun.

c. Laju Tegangan

Apabila laju tegangan kecil, maka perpanjangan bertambah dan mengakibatkan kurva tegangan-regangan menjadi landai, modulus elastisitasnya rendah. Sedangkan kalau laju tegangan tinggi, maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat tetapi regangannya mengecil.

1. **Tegangan Tarik**

Ilmu kekuatan bahan adalah kumpulan pengetahuan yang membahas hubungan antara gaya *intern*, deformasi dan beban luar. Persamaan keseimbangan statis diterapkan terhadap gaya yang bekerja pada suatu bagian benda, agar diperoleh hubungan antara gaya luar yang bekerja pada bagian konstruksi dengan gaya *intern* yang melawan bekerjanya beban luar. Gaya tahan *intern* ini yang disebut tegangan (Dieter, 1986), yang dirumuskan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

P = Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)

A = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m²)

σ = *Engineering Stress* (Pa)

2. **Regangan Tarik**

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur mula-mula (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis proporsional pada grafik tegangan-regangan hasil uji tarik komposit (Surdia T dan Saito, 1985). Regangan dapat dihitung dengan rumus :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

ε = *Engineering Strain* (%)

commit to user

l_0 = Panjang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (mm)
 ΔL = Pertambahan panjang (mm)

3. Modulus Elastisitas

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan dan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat *elastis* dan masih berlaku hukum Hooke. Besarnya nilai *modulus elastisitas* komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia T dan Saito, 1985):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.7)$$

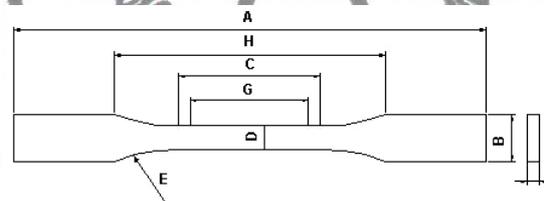
Keterangan :

E = Modulus Elastisitas atau Modulus Young (Mpa)

σ = Tegangan tarik (MPa)

ε = Regangan tarik

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan ASTM Standar D 638-97. Berikut ini adalah gambar spesimen uji tarik berdasar ASTM Standar D 638-97:



Gambar 2.3 Bentuk spesimen uji tarik tipe I berdasar standar D 638-97

Keterangan Gambar :

A. *Overall length* 165 mm

B. *Width overall* 19 mm

C. *Length of narrow section* 57 mm

D. *Width of narrow section* 13 mm

E. *Radius of fillets* 76 mm

F. *Thickness* $3 \pm 0,4$ mm

G. *Gage length* 50 mm

H. *Distance between grips* 115 mm

KLASIFIKASI PAPAN SERAT

Menurut SNI 01-4449-2006, papan serat yaitu panel yang dihasilkan dari pengempaan serat kayu atau bahan berligno-selulosa lain dengan ikatan utama

berasal dari bahan baku yang bersangkutan (khususnya lignin) atau bahan lain (khususnya perekat) untuk memperoleh sifat khusus, papan serat diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan kerapatannya yaitu papan serat kerapatan rendah, papan serat kerapatan sedang dan papan serat kerapatan tinggi, pengukuran kerapatan sebagai berikut :

$$K = \frac{B}{l} \dots\dots\dots$$

(2.4)

Keterangan:

K = kerapatan (g/cm³) dalam 2 desimal;

B = massa (g);

l = isi (cm³) = panjang (cm) x lebar (cm) x tebal (cm)

Tabel 2.5 Klasifikasi papan serat

Jenis papan serat	Kerapatan (g/cm ³)
PSKR	< 0,40
PSKS	0,40-0,84
PSKT	> 0,84

Sumber: SNI, 2006.

PERANCANGAN EKSPERIMEN

Desain eksperimen merupakan langkah-langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar supaya data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh sehingga akan membawa kepada analisis objektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas (Sudjana, 1995).

Beberapa istilah atau pengertian yang perlu diketahui dalam desain eksperimen (Sudjana, 1995):

a. *Experimental unit* (unit eksperimen)

Objek eksperimen dimana nilai-nilai variabel respon diukur.

b. Variabel respon (*effect*)

Disebut juga *dependent variable* atau ukuran performansi, yaitu output yang ingin diukur dalam eksperimen.

c. Faktor

Disebut juga *independent variable* atau variabel bebas, yaitu input yang nilainya akan diubah-ubah dalam eksperimen.

d. *Level* (taraf)

Merupakan nilai-nilai atau klasifikasi-klasifikasi dari sebuah faktor. Taraf (*levels*) faktor dinyatakan dengan bilangan 1, 2, 3 dan seterusnya. Misalkan dalam sebuah penelitian terdapat faktor-faktor :

a = jenis kelamin

b = cara mengajar

Selanjutnya taraf untuk faktor a adalah 1 menyatakan laki-laki, 2 menyatakan perempuan (a_1, a_2). Bila cara mengajar ada tiga, maka dituliskan dengan b_1, b_2 , dan b_3 .

e. *Treatment* (perlakuan)

Sekumpulan kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang dipilih. Perlakuan merupakan kombinasi level-level dari seluruh faktor yang ingin diuji dalam eksperimen.

f. Replikasi

Pengulangan eksperimen dasar yang bertujuan untuk menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata suatu faktor ataupun terhadap kekeliruan eksperimen.

g. Faktor Pembatas/ Blok (*Restrictions*)

Sering disebut juga sebagai variabel kontrol (dalam Statistik Multivariat). Yaitu faktor-faktor yang mungkin ikut mempengaruhi variabel respon tetapi tidak ingin diuji pengaruhnya oleh eksperimenter karena tidak termasuk ke dalam tujuan studi.

h. Randomisasi

Yaitu cara mengacak unit-unit eksperimen untuk dialokasikan pada eksperimen. Metode randomisasi yang dipakai dan cara mengkombinasikan level-level dari faktor yang berbeda menentukan jenis desain eksperimen yang akan terbentuk.

i. Kekeliruan eksperimen

Merupakan kegagalan daripada dua unit eksperimen identik yang dikenai perlakuan untuk memberi hasil yang sama.

Langkah-langkah dalam setiap proyek eksperimen secara garis besar terdiri atas tiga tahapan, yaitu *planning phase*, *design phase* dan *analysis phase*. (Hicks, 1993).

a *Planning Phase*

Tahapan dalam *planning phase* adalah :

1. Membuat *problem statement* sejelas-jelasnya.
2. Menentukan variabel terikat (*dependent variables*), yaitu efek yang ingin diukur, sering disebut sebagai kriteria atau ukuran performansi.
3. Menentukan *independent variables*.
4. Menentukan level-level yang akan diuji, tentukan sifatnya, yaitu :

a Apakah level tersebut kualitatif atau kuantitatif?

b Apakah level ditentukan secara *fixed* atau random ?

5. Tentukan cara bagaimana level-level dari beberapa faktor akan dikombinasikan (khusus untuk eksperimen dua faktor atau lebih).

b *Design Phase*

Tahapan dalam *design phase* adalah :

1. Menentukan jumlah observasi yang diambil.
2. Menentukan urutan eksperimen (urutan pengambilan data).
3. Menentukan metode randomisasi.
4. Menentukan model matematik yang menjelaskan variabel respon.
5. Menentukan hipotesis yang akan diuji.

c *Analysis Phase*

Tahapan dalam *analysis phase* adalah :

1. Pengumpulan dan pemrosesan data.
2. Menghitung nilai statistik-statistik uji yang dipakai.
3. Menginterpretasikan hasil eksperimen.

2.4.1 Faktorial Eksperimen

Eksperimen faktorial digunakan bilamana jumlah faktor yang akan diuji lebih dari satu. Eksperimen faktorial adalah eksperimen dimana semua (hampir semua) taraf (*levels*) sebuah faktor tertentu dikombinasikan dengan semua

(hampir semua) taraf (*levels*) faktor lainnya yang terdapat dalam eksperimen. (Sudjana, 1995).

Di dalam eksperimen faktorial, bisa terjadi hasilnya dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor, atau dikatakan terjadi interaksi antar faktor. Secara umum interaksi didefinisikan sebagai ‘perubahan dalam sebuah faktor mengakibatkan perubahan nilai respon, yang berbeda pada tiap taraf untuk faktor lainnya, maka antara kedua faktor itu terdapat interaksi. (Sudjana, 1995).

2.4.2 Pengujian Asumsi-Asumsi ANOVA

Apabila menggunakan analisis variansi sebagai alat analisis data eksperimen, maka seharusnya sebelum data diolah, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi ANOVA untuk menguji apakah asumsi-asumsi ANOVA telah terpenuhi atau belum. Uji yang dilakukan dapat berupa uji normalitas, dan independensi, terhadap data hasil eksperimen. (Sudjana, 1995).

Uji Normalitas

Uji normalitas adalah uji untuk mengukur apakah data kita memiliki distribusi normal sehingga dapat dipakai dalam statistik parametrik (*statistik inferensial*). Untuk memeriksa apakah populasi berdistribusi normal atau tidak, dapat ditempuh uji normalitas dengan menggunakan metode *lilliefors* (*kolmogorov-smirnov* yang dimodifikasi), atau dengan *normal probability –plot*. (Sudjana, 1995). Pemilihan uji *lilliefors* sebagai alat uji normalitas didasarkan oleh :

- a. Uji *lilliefors* adalah uji *kolmogorov-smirnov* yang telah dimodifikasi dan secara khusus berguna untuk melakukan uji normalitas bilamana *mean* dan variansi tidak diketahui, tetapi merupakan estimasi dari data (sampel). Uji *kolmogorov-smirnov* masih bersifat umum karena berguna untuk membandingkan fungsi distribusi kumulatif data observasi dari sebuah variabel dengan sebuah distribusi teoritis, yang mungkin bersifat normal, seragam, *poisson*, atau *exponential*.
- b. Uji *lilliefors* terdapat di *software* SPSS yang akan membantu mempermudah proses pengujian data sekaligus bisa mengecek hasil perhitungan secara manual.

commit to user

Uji Independensi

Salah satu upaya mencapai sifat independen adalah dengan melakukan pengacakan terhadap observasi. Namun demikian, jika masalah acak ini diragukan maka dapat dilakukan pengujian dengan cara memplot residual *versus* urutan pengambilan observasinya. Hasil plot tersebut akan memperlihatkan ada tidaknya pola tertentu. Jika ada pola tertentu, berarti ada korelasi antar residual atau *error* tidak independen. Apabila hal tersebut terjadi, berarti pengacakan urutan eksperimen tidak benar (eksperimen tidak terurut secara acak) (Sudjana, 1995).

2.4.3 *Analysis of Variance* (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) merupakan metode untuk menguji hubungan antara satu variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen. Misalkan kita ingin mengetahui apakah pengalaman kerja sebelumnya (variabel dependen) dipengaruhi oleh jabatan atau *job category* (variabel independen). Hubungan antara satu variabel dependen dengan satu variabel independen disebut *One Way* ANOVA. Pada kasus satu variabel dependen dan dua atau tiga variabel independen sering disebut *Two Ways* ANOVA dan *Three Ways* ANOVA (Ghozali, 2006).

ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh utama (*main effect*) dan pengaruh imteraksi (*interaction effect*) dari variabel independen (sering disebut faktor) terhadap variabel dependen. Pengaruh utama atau *main effect* adalah pengaruh langsung variabel independen terhadap variabel dependen. Sedangkan pengaruh interaksi adalah pengaruh bersama atau *joint effect* dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen (Ghozali, 2006).

Skema umum data sampel untuk desain eksperimen dapat dilihat pada tabel 2.7 di bawah ini (Sudjana, 1995).

Tabel 2.6 Skema umum data sampel eksperimen faktorial

Faktor C	Faktor A						Jumlah	Rata-rata
	1		2		3			
	Faktor B							
1	1	2	1	2	1	2		
	Y_{1111}	Y_{1211}	Y_{2111}	Y_{2211}	Y_{3111}	Y_{3211}		
	Y_{1112}	Y_{1212}	Y_{2112}	Y_{2212}	Y_{3112}	Y_{3212}		
	Y_{1113}	Y_{1213}	Y_{2113}	Y_{2213}	Y_{3113}	Y_{3213}		
Jumlah	J_{1110}	J_{1210}	J_{2110}	J_{2210}	J_{3110}	J_{3210}	J_{1000}	
Rata-rata	\bar{Y}_{1110}	\bar{Y}_{1210}	\bar{Y}_{2110}	\bar{Y}_{2210}	\bar{Y}_{3110}	\bar{Y}_{3210}		\bar{Y}_{1000}
2	1	2	1	2	1	2		
	Y_{1121}	Y_{1221}	Y_{2121}	Y_{2221}	Y_{3121}	Y_{3221}		
	Y_{1122}	Y_{1222}	Y_{2122}	Y_{2222}	Y_{3122}	Y_{3222}		
	Y_{1123}	Y_{1223}	Y_{2123}	Y_{2223}	Y_{3123}	Y_{3223}		
Jumlah	J_{1120}	J_{1220}	J_{2120}	J_{2220}	J_{3120}	J_{3220}	J_{2000}	
Rata-rata	\bar{Y}_{1120}	\bar{Y}_{1220}	\bar{Y}_{2120}	\bar{Y}_{2220}	\bar{Y}_{3120}	\bar{Y}_{3220}		\bar{Y}_{2000}
3	1	2	1	2	1	2		
	Y_{1131}	Y_{1231}	Y_{2131}	Y_{2231}	Y_{3131}	Y_{3231}		
	Y_{1132}	Y_{1232}	Y_{2132}	Y_{2232}	Y_{3132}	Y_{3232}		
	Y_{1133}	Y_{1233}	Y_{2133}	Y_{2233}	Y_{3133}	Y_{3233}		
Jumlah	J_{1130}	J_{1230}	J_{2130}	J_{2230}	J_{3130}	J_{3230}	J_{3000}	
Rata-rata	\bar{Y}_{1130}	\bar{Y}_{1230}	\bar{Y}_{2130}	\bar{Y}_{2230}	\bar{Y}_{3130}	\bar{Y}_{3230}		\bar{Y}_{3000}
Jumlah Total	J_{1100}	J_{1200}	J_{2100}	J_{2200}	J_{3100}	J_{3200}	J_{0000}	
Rata-rata Total	\bar{Y}_{1100}	\bar{Y}_{1200}	\bar{Y}_{2100}	\bar{Y}_{2200}	\bar{Y}_{3100}	\bar{Y}_{3200}		\bar{Y}_{0000}

Sumber : Sudjana, 1995

2.4.4 Uji Pembandingan Ganda

Uji pembandingan ganda dilakukan apabila ada hipotesis nol (H_0) yang ditolak atau terdapat perbedaan yang signifikan antar level faktor, blok, atau interaksi faktor-faktor. Uji pembandingan ganda bertujuan untuk menjawab manakah dari rata-rata taraf perlakuan yang berbeda, dan untuk menjawab apakah perlakuan ke satu berbeda dengan perlakuan kedua, dengan rata-rata perlakuan ketiga, dengan rata-rata perlakuan keempat (Sudjana, 1995).

Alat uji yang biasa digunakan adalah *contras orthogonal*, uji rentang Student Newman-Keuls, uji Tukey dan uji Scheffe. Apabila ingin menggunakan

uji *contras orthogonal*, maka pemakaian alat uji ini sudah harus ditentukan sejak awal (sebelum eksperimen dilakukan), termasuk model perbandingan rata-rata perlakuan. Adapun tiga alat uji lainnya dapat digunakan apabila perlu setelah hasil pengolahan data menunjukkan adanya perbedaan yang berarti antar perlakuan (Sudjana, 1995).

Uji Student Newman-Keuls (SNK) dan uji Tukey lebih tepat digunakan dibandingkan uji Scheffe, untuk melihat pada level mana terdapat perbedaan dari suatu faktor yang dinyatakan berpengaruh signifikan oleh uji ANOVA. Pemilihan Scheffe tidak tepat untuk melihat pada level mana terdapat perbedaan terhadap suatu faktor, karena uji Scheffe lebih ditujukan untuk membandingkan antara dua kelompok perlakuan (Sudjana, 1995).

KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Kurniawan (2010) meneliti tentang komposit berbahan ampas tebu dengan matrik *polyester*. Dalam penelitian ini menyatakan panjang serat mempengaruhi kekuatan tarik dengan variasi panjang serat tebu 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Kekuatan tarik terbesar terjadi pada panjang serat 40 mm. Hal ini disebabkan karena serat panjang dapat mengalirkan beban maupun tegangan dari titik tegangan kearah serat.

Penelitian Wahono (2008) meneliti tentang komposit berbahan dasar buah kepala sawit dengan matrik *polyester*. Penelitian ini menyatakan bahwa perendaman serat menggunakan NaOH mengakibatkan penurunan jumlah lignin dan pengotor lainnya yang menempel pada serat sehingga permukaan serat menjadi semakin kasar yang menyebabkan ikatan *interface* serat dan resin menjadi kuat. Semakin kuat ikatan serat dengan resin maka beban tarik dapat didistribusikan ke setiap serat secara efektif, akan tetapi perendaman NaOH yang terlalu lama menyebabkan serat semakin rapuh karena banyaknya lignin yang hilang. Perendaman NaOH yang dilakukan selama 2, 4, 6, 8 jam dan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada perendaman NaOH selama 2 jam sebesar 20,94 MPa.

Penelitian Andriyanto (2011) meneliti lama perlakuan alkali terhadap sifat mekanik serat pandan semak dengan matrik *Unsaturated Polyester*, fraksi volume serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30%. Dalam penelitiannya

membuktikan, lama perendaman NaOH mempengaruhi kekuatan tarik komposit. Kekuatan tarik maksimum yaitu pada lama perendaman NaOH 120 menit sebesar 21,25 MPa.

Najib (2010) meneliti komposit berbahan dasar serat rami dengan matrik *Unsaturated Polyester*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik. Dalam penelitiannya fraksi volume serat yang digunakan adalah 20%, 30%, 40%, dan 50%, kekuatan tarik terbesar berada pada fraksi volume serat 39,68% sebesar 29,54 MPa.

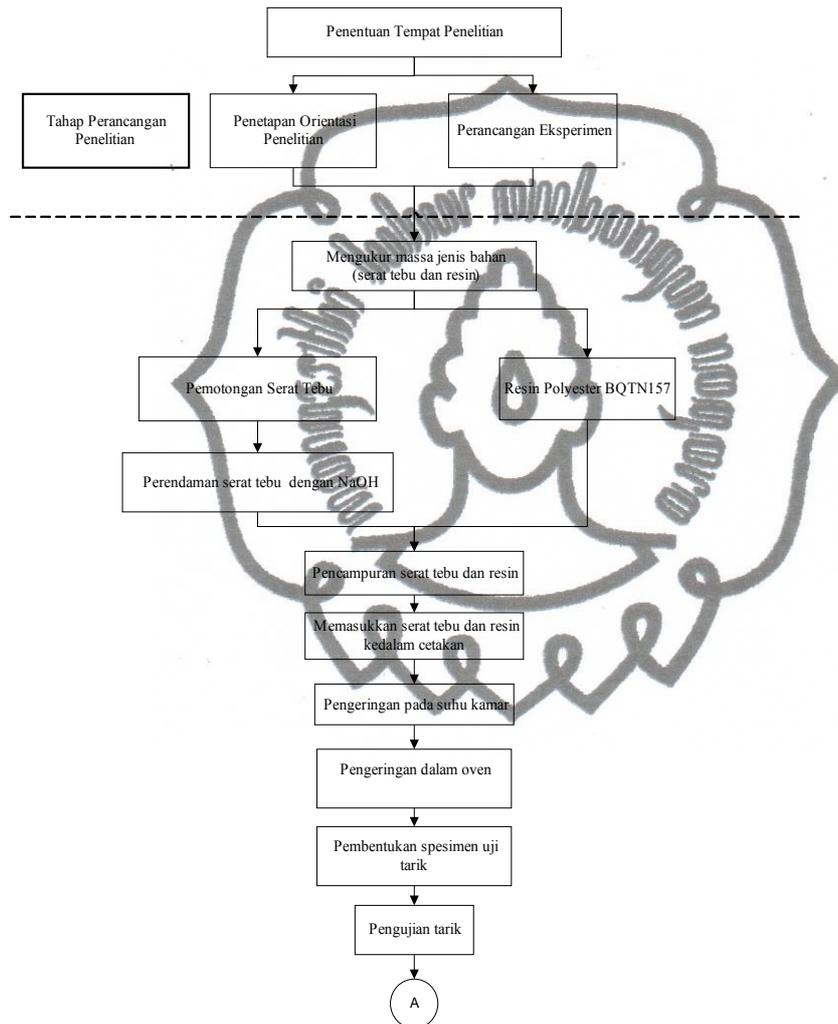
Prasetyo (2007) meneliti komposit berbahan serat aren dengan matrik polyester. Dalam penelitiannya membuktikan, semakin kecil fraksi volume serat maka kekuatan tarik akan semakin kecil. Penelitian ini menggunakan fraksi volume serat 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %. Kekuatan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume serat 40 % sebesar 1,4 Kg/mm².

Ghosh,dkk (2011) meneliti pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan tarik komposit serat pisang. Penelitian ini menggunakan fraksi volume serat 0 %, 10 %, 20%, 30%, dan 40%. Dalam penelitian ini membuktikan, terdapat peningkatan kekuatan tarik dari mulai fraksi volume 10% sampai 40 %, akan tetap peningkatan kekuatan tarik secara signifikan terjadi pada fraksi volume serat 35 %.

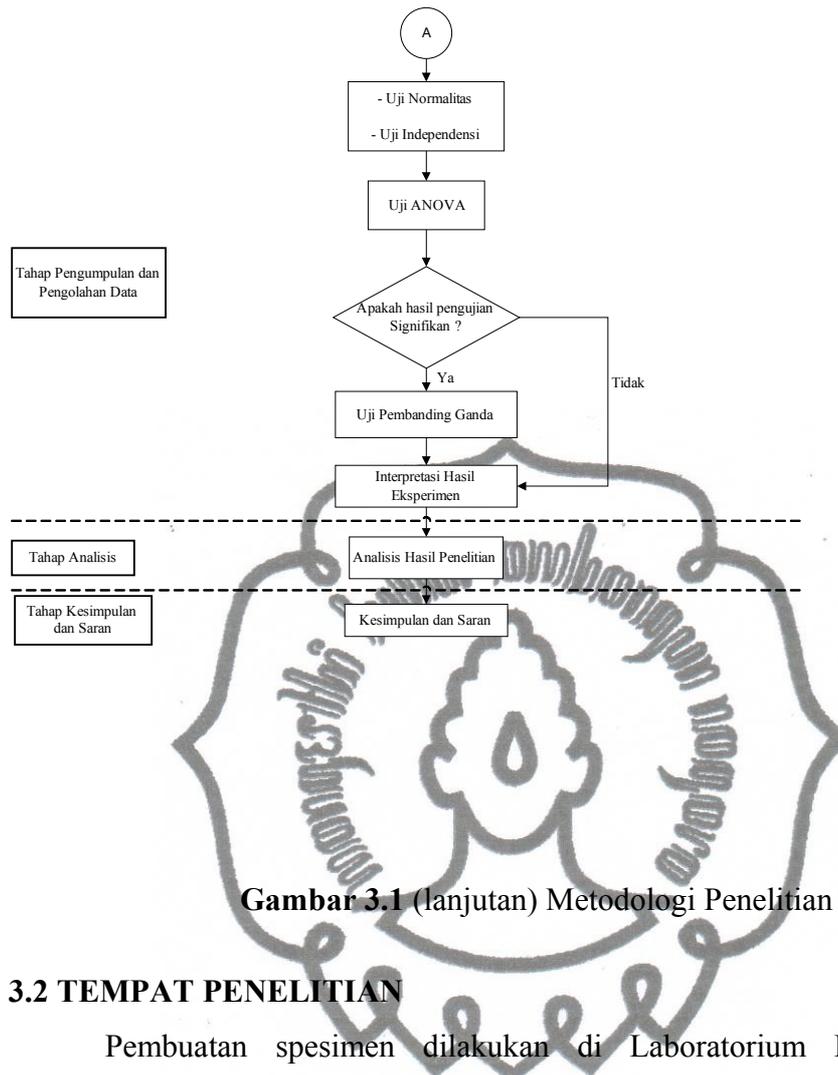
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang waktu dan tempat penelitian, perancangan penelitian, dan orientasi penelitian.

3.1 KERANGKA PENELITIAN



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 (lanjutan) Metodologi Penelitian

3.2 TEMPAT PENELITIAN

Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Perancangan dan Perencanaan Produk (P3) Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS), sedangkan pengujian tarik spesimen serta pengambilan data dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS).

3.3 RANCANGAN PENELITIAN

Tahap rancangan penelitian meliputi orientasi penelitian dan perancangan eksperimen.

Orientasi Penelitian

Orientasi penelitian diperlukan untuk menyederhanakan kompleksitas permasalahan yang diteliti. Orientasi penelitian yang digunakan antara lain:

commit to user

1. Kandungan benda asing (debu) yang ikut terbawa pada proses pembuatan spesimen diabaikan, karena jumlahnya sangat kecil sehingga dianggap tidak mempengaruhi kekuatan tarik spesimen komposit.
2. Jenis tebu dan dimensi/ukuran serat tebu dianggap homogen dan tidak menimbulkan perbedaan hasil pada pengujian kekuatan tarik, karena dimensi serat alam yang cukup beragam.

Rancangan Eksperimen

Dalam tahap ini, dilakukan beberapa langkah awal (tahap pra eksperimen) sebagai persiapan dalam pelaksanaan eksperimen. Penelitian akan menguji pengaruh kombinasi tiga faktor, yaitu perlakuan alkali (A), faktor fraksi volume serat (B), dan faktor panjang serat (C) terhadap kekuatan tarik *skin* komposit berbahan dasar serat tebu. Penentuan faktor-faktor beserta level-level tiap faktor tersebut berdasarkan penelitian terdahulu dan juga berdasar *trial and error*.

1. Penentuan level-level faktor perlakuan alkali berdasar *trial and error*. Perendaman dilakukan dengan range waktu 0 sampai 2 jam, perendaman serat dengan 5 % NaOH selama 10 menit belum menunjukkan perubahan berarti terhadap bentuk fisik serat, untuk itu range variasi waktu perendaman diperpanjang selama 30 menit, 60 menit, dan 120 menit. Perendaman serat selama 120 menit menjadikan serat getas karena terlalu banyak lignin yang hilang. Untuk itu level yang digunakan untuk perlakuan alkali adalah 0 menit, 30 menit, dan 60 menit.
2. Penentuan level-level faktor fraksi volume serat berdasar penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2010) yang menggunakan fraksi volume serat tebu sebesar 40 % dalam penelitiannya. Sedangkan Prasetyo (2007) dalam penelitiannya memvariasikan fraksi volume serat aren bermatrik *polyester* 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %, kekuatan tarik terbesar yaitu pada fraksi volume serat 40 %. Najib (2010) dalam penelitiannya menggunakan variasi fraksi volume serat rami 20%, 30%, 40%, serta 50%, kekuatan tarik terbesar berada pada fraksi volume 39,6% mendekati 40%. Sedangkan Ghosh dkk (2011) memvariasikan fraksi volume serat 0% sampai 50% dalam penelitiannya, kekuatan tarik tertinggi berada pada fraksi volume serat 35%.

Berdasar penelitian tersebut, maka level fraksi volume yang dipilih adalah 20 %, 30 %, dan 40 %.

3. Penentuan level-level faktor panjang serat berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2010) yang memvariasikan panjang serat 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi panjang serat 40 mm, maka level panjang serat yang dipilih dalam penelitian ini yaitu level kelipatan 20 mm yaitu 20 mm, 40 mm, dan 60 mm.

Selain untuk menentukan faktor-faktor dan level-level yang dilibatkan dalam eksperimen ini, tahap pra eksperimen juga dilakukan untuk menentukan jumlah kadar NaOH yang digunakan dalam proses perendaman serat dan lama waktu perendaman serat dengan NaOH.

1. Penentuan kadar NaOH yang digunakan dalam perendaman serat tebu.
Tahap pra eksperimen ini dilakukan percobaan untuk menentukan kadar NaOH yang digunakan dalam perendaman serat tebu dengan presentase NaOH 5%, 10 %, 15 %. Kadar NaOH 5 % dipilih untuk melakukan eksperimen karena telah cukup untuk menghilangkan lignin yang terdapat pada serat tebu tanpa membuat serat tebu menjadi getas. Sedangkan kadar NaOH 10 % dan 15 % tidak dipilih karena saat dilakukan perendaman banyak lignin terurai dan menyebabkan serat menjadi getas.
2. Penentuan lama waktu perendaman serat tebu dengan NaOH.
Pada percobaan pertama, dilakukan percobaan perendaman serat tebu dengan kadar NaOH 5% selama 5 menit, kemudian dilakukan perendaman selama 10 menit. Akan tetapi pada perendaman 5 dan 10 menit belum menunjukkan perubahan fisik yang berarti untuk serat sehingga waktu perendaman diperlama. Pada percobaan selanjutnya dilakukan perendaman dengan waktu 90 menit, serta 120 menit. Pada saat perendaman 90 menit dan 120 menit serat tebu menjadi getas sehingga waktu perendaman lebih dipersingkat dan ditetapkan lama perendaman 30 menit dan 60 menit.
3. Penentuan waktu pengeringan spesimen.
Penetapan waktu pengeringan spesimen pada suhu kamar selama 3 hari dilakukan agar spesimen benar-benar telah kering sebelum dilakukan proses pengeringan didalam oven. Spesimen yang belum benar-benar kering dan

langsung dilakukan proses pengeringan dalam oven mengakibatkan hasil pengeringan spesimen tidak optimal dan hasil pengeringan dalam oven menjadi lembek (tidak kaku). Oleh karena itu, proses pengeringan dalam suhu kamar dilakukan selama 3 hari.

Setelah melakukan tahap pra eksperimen, langkah selanjutnya adalah melakukan tahap eksperimen yang terdiri dari tiga tahapan, yaitu *planning phase*, *design phase* dan *analysis phase*.

1. Tahap Perencanaan (*Planning Phase*)

a. Membuat *problem statement* :

Problem statement dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat terhadap karakteristik kekuatan tarik komposit berbahan dasar serat tebu.

b. Menentukan variabel respon atau kriteria atau ukuran performansi.

1) Variabel respon : nilai kekuatan tarik *skin* komposit.

2) Unit eksperimen : 81 spesimen *skin* komposit.

c. Menentukan faktor-faktor yang ingin diuji pengaruhnya dalam eksperimen.

1) Faktor yang ingin diuji:

a) perlakuan alkali (A)

b) fraksi volume serat (B)

c) panjang serat (C)

2) Sifatnya : semua faktor bersifat kuantitatif.

d. Menentukan banyaknya level dari setiap faktor yang diuji. Level-level dipilih secara *fix* berdasar penelitian terdahulu dan *trial and error*.

1) Faktor perlakuan alkali (A) terdiri dari tiga level, yaitu:

a) Tanpa perlakuan (a_1)

b) 5 menit (a_2)

c) 10 menit (a_3)

2) Faktor fraksi volume serat (B) terdiri dari tiga level, yaitu:

a) fraksi volume 20 % (b_1)

b) fraksi volume 30 % (b_2)

c) fraksi volume 40 % (b_3)

3) Faktor panjang serat (C) terdiri dari tiga level, yaitu:

- a) 20 mm (c₁)
- b) 40 mm (c₂)
- c) 60 mm (c₃)
- e. Menentukan jenis desain eksperimen yang dipakai.
 - 1) Desain eksperimen yang dipakai adalah *Factorial Experiment Completely Randomized Design*.
 - 2) Tabulasi *Factorial Experiment Completely Randomized Design* adalah seperti tabel 3.1.

Tabel 3.1 Layout pengumpulan data eksperimen 3x3x3

Panjang Serat (C)	Perlakuan Alkali (A)								
	0 menit (a ₁)			30 menit (a ₂)			60 menit (a ₃)		
	Volume serat 20 %	Volume serat 30 %	Volume serat 40%	Volume serat 20 %	Volume serat 30 %	Volume serat 40%	Volume serat 20 %	Volume serat 30 %	Volume serat 40%
(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)	(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)	(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)	
20 mm (c ₁)	i _{1j1k1l1}	i _{1j2k1l1}	i _{1j3k1l1}	i _{2j1k1l1}	i _{2j2k1l1}	i _{2j3k1l1}	i _{3j1k1l1}	i _{3j2k1l1}	i _{3j3k1l1}
	i _{1j1k1l2}	i _{1j2k1l2}	i _{1j3k1l2}	i _{2j1k1l2}	i _{2j2k1l2}	i _{2j3k1l2}	i _{3j1k1l2}	i _{3j2k1l2}	i _{3j3k1l2}
	i _{1j1k1l3}	i _{1j2k1l3}	i _{1j3k1l3}	i _{2j1k1l3}	i _{2j2k1l3}	i _{2j3k1l3}	i _{3j1k1l3}	i _{3j2k1l3}	i _{3j3k1l3}
40 mm (c ₂)	i _{1j1k2l1}	i _{1j2k2l1}	i _{1j3k2l1}	i _{2j1k2l1}	i _{2j2k2l1}	i _{2j3k2l1}	i _{3j1k2l1}	i _{3j2k2l1}	i _{3j3k2l1}
	i _{1j1k2l2}	i _{1j2k2l2}	i _{1j3k2l2}	i _{2j1k2l2}	i _{2j2k2l2}	i _{2j3k2l2}	i _{3j1k2l2}	i _{3j2k2l2}	i _{3j3k2l2}
	i _{1j1k2l3}	i _{1j2k2l3}	i _{1j3k2l3}	i _{2j1k2l3}	i _{2j2k2l3}	i _{2j3k2l3}	i _{3j1k2l3}	i _{3j2k2l3}	i _{3j3k2l3}
60 mm (c ₃)	i _{1j1k3l1}	i _{1j2k3l1}	i _{1j3k3l1}	i _{2j1k3l1}	i _{2j2k3l1}	i _{2j3k3l1}	i _{3j1k3l1}	i _{3j2k3l1}	i _{3j3k3l1}
	i _{1j1k3l2}	i _{1j2k3l2}	i _{1j3k3l2}	i _{2j1k3l2}	i _{2j2k3l2}	i _{2j3k3l2}	i _{3j1k3l2}	i _{3j2k3l2}	i _{3j3k3l2}
	i _{1j1k3l3}	i _{1j2k3l3}	i _{1j3k3l3}	i _{2j1k3l3}	i _{2j2k3l3}	i _{2j3k3l3}	i _{3j1k3l3}	i _{3j2k3l3}	i _{3j3k3l3}

2. Tahap Desain (*Design Phase*)

- a. Menentukan jumlah observasi atau jumlah replikasi

Menurut Hanafiah (2005) jumlah ulangan suatu perlakuan tergantung pada derajat ketelitian yang diinginkan oleh peneliti terhadap kesimpulan hasil percobaan, secara umum jumlah replikasi (r) dapat dibuat sekecil mungkin selagi hasil percobaan dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya. Pada umumnya r sebanyak empat di lapangan dan tiga di laboratorium. Jumlah ulangan dianggap cukup baik bila telah memenuhi rumus :

$$(t-1)(r-1) \geq 15 \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

- t = jumlah perlakuan
- r = jumlah ulangan

- b. Urutan eksperimen : secara random.

c. Menentukan Hipotesis yang diuji

Hipotesis umum yang diajukan dalam eksperimen ini adalah faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik *skin* komposit, dimana faktor tersebut mungkin berdiri sendiri ataupun berinteraksi dengan faktor yang lain. Hipotesis umum ini disebut sebagai hipotesis nol (H_0).

Adapun hipotesis nol dari eksperimen dalam penelitian ini adalah:

- H_{01} : Perlakuan alkali tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kekuatan tarik.
- H_{02} : Perbedaan fraksi volume serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kekuatan tarik.
- H_{03} : Perbedaan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kekuatan tarik.
- H_{04} : Perbedaan interaksi perlakuan alkali dan fraksi volume serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kekuatan tarik.
- H_{05} : Perbedaan interaksi perlakuan alkali dan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kekuatan tarik.
- H_{06} : Perbedaan interaksi fraksi volume serat dan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kekuatan tarik.
- H_{07} : Perbedaan interaksi perlakuan alkali, fraksi volume serat dan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kekuatan tarik.

Urutan eksperimen (pengujian spesimen) ditentukan secara random (*complete randomization*) seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Urutan eksperimen *factorial experiment completely randomized design 3x3x3*

Replikas	Panjang Serat (C)	Perlakuan Alkali (A)								
		0 menit (a)			30 menit (a)			60 menit (a)		
		Volume serat 20 %	Volume serat 30 %	Volume serat 40%	Volume serat 20 %	Volume serat 30 %	Volume serat 40%	Volume serat 20 %	Volume serat 30 %	Volume serat 40%
		(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)	(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)	(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)
1	20 mm (c ₁)	38	39	80	17	39	43	70	5	31
2		7	10	68	36	21	14	60	19	39
3		14	40	30	81	14	81	38	13	18
1	40 mm (c ₂)	17	12	80	81	77	12	75	61	21
2		35	1	70	51	78	59	13	33	68
3		13	75	26	52	42	78	76	80	44
1	60 mm (c ₃)	69	14	4	27	44	2	41	27	51
2		35	53	16	75	9	22	70	1	37
3		17	75	68	31	76	76	57	40	51

3.4 PELAKSANAAN PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian meliputi persiapan alat dan bahan serta pembuatan dan pengujian spesimen.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen adalah:

1. Gunting
Gunting digunakan untuk memotong serat tebu sepanjang 20 mm, 40 mm, dan 60 mm.
2. Baskom
Baskom digunakan sebagai tempat hasil potongan serat tebu.
3. Timbangan digital
Timbangan digital digunakan untuk menimbang massa serat tebu dan resin yang akan dicetak menjadi komposit.
4. Gelas ukur
Gelas ukur digunakan untuk mengukur massa jenis bahan komposit.
5. Cetakan kaca

commit to user

Cetakan kaca digunakan sebagai tempat pengepresan bahan komposit menjadi ukuran sesuai standar uji (ASTM D 638). Dimensi cetakan kaca ini adalah 170mm x 20mm x 3mm ($p \times l \times t$).



Gambar 3.2 Cetakan kaca

6. Penggaris besi

Penggaris besi digunakan untuk mengukur dimensi spesimen uji.

7. *Universal Testing Machine* (UTM)

Mesin ini digunakan pada uji tarik komposit untuk mengetahui besarnya beban tekan kontinyu yang menyebabkan spesimen komposit patah.

Spesifikasi UTM:

Merk : SANS (*Servo Hydraulic Universal Testing Machine*)

Tipe : SHT 4106

Kapasitas : 1000 KN

Voltase : 220/240VAC, 50-60 Hz

Fungsi : *Performing tensile, compressing, bending, shearing, peeling, and tearing test specimen.*

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antar lain:

1. Serat tebu

Serat tebu dipotong-potong sesuai dengan ukuran yang diinginkan, gambar serat tebu dengan panjang 6 cm dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Serat Tebu

2. NaOH
NaOH dicampurkan pada air dengan kadar 5 %, kemudian digunakan untuk proses perendaman serat tebu.
3. UPRs
Resin yang digunakan adalah *Unsaturated Polyester Resin* (UPRs) BQTN-EX 157 yang berfungsi sebagai matrik (pengikat).
4. Katalis
Katalis yang digunakan untuk proses pengeringan resin adalah katalis jenis *Metyl Etyl Keton Peroksida* (MEKPO).
5. Air
Air digunakan untuk perendaman NaOH dengan serat tebu.

Pembuatan Spesimen

Eksperimen akan me-*running* 27 buah *treatment* dengan 3 replikasi untuk setiap *treatment*. Berikut adalah contoh alur pembuatan spesimen uji (fraksi volume serat 40 %, perlakuan alkali 30 menit, dan panjang serat 40 mm). Ada beberapa tahap dalam pembuatan spesimen. Adapun cara-cara yang di tempuh dalam pembuatan spesimen adalah sebagai berikut :

1. Mengukur massa jenis masing-masing bahan untuk menentukan perhitungan massa masing-masing bahan dalam campuran komposit. Berikut contoh langkah-langkah mengukur massa jenis serat tebu:
 - a. Menimbang dan mencatat massa gelas ukur dengan timbangan digital.
 - b. Memasukkan air sebanyak 50 ml ke dalam gelas ukur.
 - c. Memasukkan potongan serat tebu dengan panjang 20 mm sebanyak 0,7 gram ke dalam gelas ukur.
 - d. Mencatat kenaikan air setelah diberi potongan serat tebu (dalam satuan ml).
 - e. Menghitung massa jenis serat dengan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(3.)$$

2)

Keterangan:

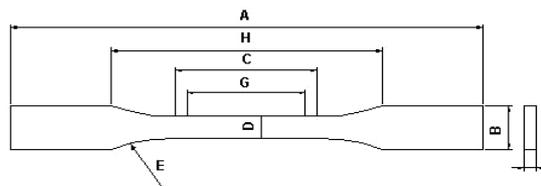
commit to user

ρ = massa jenis serat tebu (gr/cm^3).

m = massa serat tebu (gr).

v = volum serat tebu, yang dihitung dari kenaikan tinggi air/selisih tinggi air sebelum dan sesudah dimasuki serat tebu.

2. Memotong serat sesuai dengan ukuran yaitu 40 mm.
3. Merendam serat kedalam NaOH dengan kadar 5 % dengan variasi perendaman 30 menit.
4. Mengukur massa masing-masing bahan berdasarkan fraksi volume dengan timbangan digital.
5. Mencampur serat tebu dengan resin UPRs serta katalis ± 1 % dari massa resin sampai merata.
6. Menuangkan campuran serat tebu, resin, dan katalis kedalam cetakan kaca dan diberikan pembebanan minimum (± 4 kilogram), kemudian ditunggu 90 menit agar resin mengeras.
7. Spesimen dikeluarkan dari cetakan dan didiamkan pada suhu kamar selama tiga hari.
8. Dilakukan *post cure* terhadap spesimen dengan pemanasan di dalam oven pada suhu 60°C selama 60 menit untuk mendapatkan ikatan sempurna komposisi bahan dan mengurangi kadar air (sesuai SNI 01-4449-2006, kadar air yang diijinkan $\leq 13\%$).
9. Pembentukan spesimen uji tarik sesuai standar ASTM D638-97.



Gambar 3.4 Bentuk spesimen uji tarik tipe I berdasar standar D 638-97

Keterangan Gambar :

- A. Overall length 165 mm
- B. Width overall 19 mm
- C. Length of narrow section 57 mm
- D. Width of narrow section 13 mm
- E. Radius of fillets 76 mm
- F. Thickness 3 mm
- G. Gage length 50 mm

commit to user

H. *Distance between grips* 115 mm

Pengujian Spesimen

Tahapan pengujian tarik dilakukan sesuai dengan langkah berikut:

1. Mengukur dimensi spesimen meliputi: panjang, lebar dan tebal.
2. Pemberian label pada setiap spesimen yang telah diukur untuk menghindari kesalahan pembacaan.
3. Pemasangan spesimen uji pada mesin.
4. Pengujian kekuatan tarik menggunakan *Universal Testing Machine*.

3.5 TAHAP PENGOLAHAN DATA

Tahap pengolahan data dilakukan setelah menentukan teknik desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian. Pengolahan data dimulai dengan uji asumsi, uji ANOVA, dan uji perbandingan ganda. Pengujian data hasil perhitungan kuat tarik perlu dilakukan agar metode dalam penelitian dapat diyakini memberikan hasil yang valid. Adapun pengujian data yang harus dilakukan sebelum uji ANOVA, yaitu:

1. Uji Asumsi

Pengujian asumsi perlu dilakukan agar metode dalam penelitian dapat diyakini memberikan hasil/analisis yang valid, yaitu :

a) Uji Normalitas,

Uji normalitas dilakukan terhadap keseluruhan data hasil observasi, dengan tujuan untuk mengetahui apakah data hasil observasi tersebut berdistribusi secara normal atau tidak.

Langkah-langkah perhitungan uji *lilliefors* (Wijaya, 2000), sebagai berikut:

- 1) Urutkan data dari yang terkecil sampai terbesar.
- 2) Hitung rata-rata (\bar{x}) dan standar deviasi (S) data tersebut.

$$\bar{x} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n} \dots\dots\dots$$

(3.3)

commit to user

$$s = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}} \dots\dots\dots(3.4)$$

3) Transformasikan data tersebut menjadi nilai baku (Z).

$$z_i = (x_i - \bar{x}) / s \dots\dots\dots$$

(3.5)

Keterangan :

x_i = nilai pengamatan ke-i

\bar{x} = rata-rata

s = standar deviasi

4) Berdasarkan nilai baku (Z), tentukan nilai probabilitasnya P(Z) berdasarkan sebaran normal baku, sebagai probabilitas pengamatan. Gunakan tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal, atau dengan bantuan Ms. Excel dengan *function NORMSDIST*.

5) Tentukan nilai probabilitas harapan kumulatif P(x) dengan rumus, sebagai berikut:

$$P(x_i) = i / n \dots\dots\dots$$

(3.6)

6) Tentukan nilai maksimum dari selisih absolut P(Z) dan P(X) yaitu:

maks | P(Z) - P(X) | , sebagai nilai L hitung. Tentukan nilai maksimum dari selisih absolut P(x_{i-1}) dan P(Z) yaitu

$$\text{maks } | P(x_{i-1}) - P(Z) | \dots\dots\dots$$

(3.7)

Tahap berikutnya adalah menganalisis apakah data observasi dalam beberapa kali replikasi berdistribusi normal. Hipotesis yang diajukan adalah:

H₀ : data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi normal

H₁ : data observasi berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal

Taraf nyata yang dipilih $\alpha = 0,05$, dengan wilayah kritik Lhitung > L α (n).

Apabila nilai L_{hitung} < L_{tabel} , maka terima H₀ dan simpulkan bahwa data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

b) Uji Independensi,

Uji independensi dilakukan untuk mengetahui bahwa *error* yang terjadi tidak berkorelasi (tidak terlihat adanya pola tertentu jika *error* diplotkan). Setelah dilakukan uji asumsi-asumsi dan data hasil observasi dinyatakan normal, homogen dan independen, maka uji signifikansi dapat dilakukan.

2. **Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)**

Data yang telah memenuhi syarat uji asumsi, kemudian dilanjutkan dengan uji ANOVA. Uji ANOVA perbedaan kombinasi yang terbentuk dalam penelitian ini merupakan tahap analisis dalam desain eksperimen.

Pada Uji ANOVA dihitung harga-harga (Hicks, 1993) sebagai berikut :

a. Faktor Koreksi (FK) :

$$FK = \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 Y_{ijkl} \right)^2 / (abcn) \dots\dots\dots (3.12)$$

b. Jumlah kuadrat total (SS_{total}) :

$$SS_{total} = \sum_i^3 \sum_j^2 \sum_k^3 \sum_l^3 Y_{ijkl}^2 - FK \dots\dots\dots (3.13)$$

c. Jumlah kuadrat nilai pengamatan yang terdapat dalam taraf ke-*i* faktor *A* (SS_A):

$$SS_A = \left(\frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^3 A_i^2 \right) - FK \dots\dots\dots (3.14)$$

d. Jumlah kuadrat nilai pengamatan yang terdapat dalam taraf ke-*j* faktor *B* (SS_B):

$$SS_B = \left(\frac{1}{acn} \sum_{i=1}^2 B_i^2 \right) - FK \dots\dots\dots (3.15)$$

e. Jumlah kuadrat nilai pengamatan yang terdapat dalam taraf ke-k faktor C (SS_C) :

$$SS_C = \left(\frac{1}{abn} \sum_{i=1}^3 C_i^2 \right) - FK \dots\dots\dots (3.16)$$

f. Jumlah kuadrat nilai pengamatan yang terdapat dalam interaksi taraf ke-ij antara faktor A dan faktor B (SS_{AxB}) :

$$SS_{AxB} = \left(\frac{1}{cn} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 (AiBj)^2 \right) - FK - SS_A - SS_B \dots\dots\dots (3.17)$$

g. Jumlah kuadrat nilai pengamatan yang terdapat dalam interaksi taraf ke-ik antara faktor A dan faktor C (SS_{AxC}) :

$$SS_{AxC} = \left(\frac{1}{bn} \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 (AiCk)^2 \right) - FK - SS_A - SS_C \dots\dots\dots (3.18)$$

h. Jumlah kuadrat nilai pengamatan yang terdapat dalam interaksi taraf ke-jk antara faktor B dan faktor C (SS_{BxC}) :

$$SS_{BxC} = \left(\frac{1}{an} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 (BjCk)^2 \right) - FK - SS_B - SS_C \dots\dots\dots (3.19)$$

i. Jumlah kuadrat nilai pengamatan yang terdapat dalam interaksi taraf ke-ijk antara faktor A, faktor B, dan faktor C (SS_{AxBxC})

$$SS_{AxBxC} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 (AiBjCk)^2 \right) - FK - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AxB} - SS_{AxC} - SS_{BxC} \dots\dots\dots (3.20)$$

j. Jumlah kuadrat error (SS_E) :

$$SS_E = SS_{total} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC} \dots\dots\dots (3.21)$$

Tabel 3.3 Skema ANOVA eksperimen faktorial dengan tiga faktor desain acak sempurna

Sumber Variansi	Derajat Bebas (df)	Jumlah Kuadrat (SS)	Kuadrat Tengah (MS)	F
-----------------	--------------------	---------------------	---------------------	---

Faktor <i>A</i>	$a - 1$	SS_A	SS_A/df_A	MS_A/MS_E
Faktor <i>B</i>	$b - 1$	SS_B	SS_B/df_B	MS_B/MS_E
Faktor <i>C</i>	$c - 1$	SS_C	SS_C/df_C	MS_C/MS_E
Interaksi <i>AxB</i>	$(a - 1)(b - 1)$	SS_{AxB}	SS_{AxB}/df_{AxB}	MS_{AxB}/MS_E
Interaksi <i>AxC</i>	$(a - 1)(c - 1)$	SS_{AxC}	SS_{AxC}/df_{AxC}	MS_{AxC}/MS_E
Interaksi <i>BxC</i>	$(b - 1)(c - 1)$	SS_{BxC}	SS_{BxC}/df_{BxC}	MS_{BxC}/MS_E
Interaksi <i>AxBxC</i>	$(a-1)(b-1)(c-1)$	SS_{AxBxC}	SS_{AxBxC}/df_{AxBxC}	MS_{AxBxC}/MS_E
<i>Error</i>	$abc(n - 1)$	SS_E	SS_E/df_E	
Total	$abcn$	SS_{Total}		

3. Uji Pembandingan Ganda

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan yang terjadi dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, dimana dalam hal ini adalah untuk mengetahui jenis komposit yang terbaik dari segi kuat tarik. Pengujian setelah ANOVA menggunakan uji Tukey atau biasa disebut HSD (*Honestly Significant difference*). Untuk melakukan teknik ini, memerlukan salah satu tes statistic yaitu *Q* yang dianalogikan dari statistik-*t* yang didefinisikan secara matematis:

$$Q = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{\sqrt{MS_E / n}} \dots\dots\dots$$

(3.22)

3.6 ANALISIS HASIL PENELITIAN

Pada tahap ini dilakukan analisis dan interpretasi hasil penelitian untuk memberikan gambaran secara menyeluruh sebagai bahan pertimbangan dalam rekomendasi desain *skin* komposit.

3.7 KESIMPULAN DAN SARAN

Tahap ini merupakan bagian akhir dari penelitian yang membahas kesimpulan dari hasil yang diperoleh serta usulan atau rekomendasi untuk implementasi lebih lanjut dan bagi penelitian selanjutnya

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini membahas proses pengumpulan data eksperimen dan proses pengolahan data hasil eksperimen. Data yang dikumpulkan meliputi langkah-langkah serta hasil pengumpulan dan pengolahan data diuraikan pada sub bab berikut ini.

4.1 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan dalam penelitian yaitu nilai kuat tarik dari benda uji yang dieksperimentasikan dan pengujian data hasil pengukuran.

4.1.1 Penentuan Teknik Eksperimen

Teknik eksperimen yang dipilih yaitu *Factorial Experiment Completely Randomized Design*. Teknik ini digunakan karena eksperimen ini terdiri dari tiga faktor, yaitu faktor perlakuan alkali, faktor fraksi volume serat, dan faktor panjang serat. Urutan eksperimen ditentukan secara random (*complete randomization*) seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2. Eksperimen dilakukan untuk pengujian terhadap kekuatan tarik spesimen.

4.1.2 Identifikasi Karakteristik Kualitas

Papan serat dengan kualitas baik adalah papan serat yang mempunyai nilai kuat tarik yang tinggi (satuan kgf/cm²). Menurut SNI 01-4449-2006 tentang papan serat kerapatan sedang standar nilai kuat tarik sebesar $\geq 0,5$ kgf/cm² untuk tipe 30, $\geq 0,4$ kgf/cm² untuk tipe 25, $\geq 0,3$ kgf/cm² untuk tipe 15, dan $\geq 0,2$ kgf/cm² untuk tipe 5. Sedangkan untuk papan serat kerapatan tinggi nilai minimal kuat tarik adalah 0,4 kgf/cm².

4.1.3 Pra Eksperimen

Pra eksperimen dilakukan untuk menentukan level-level pada faktor perlakuan alkali dan menentukan cara pembuatan spesimen sebelum eksperimen. Pra eksperimen yang dilakukan adalah sebagai berikut :

commit to user

1. Penentuan kadar NaOH yang digunakan dalam perendaman serat tebu.

Pada pra eksperimen, dilakukan perendaman serat tebu kedalam NaOH dengan kadar 5 % dan 10 %. Kadar NaOH 5 % dipilih untuk melakukan eksperimen karena telah cukup untuk menghilangkan lignin yang terdapat pada serat tebu tanpa membuat serat tebu menjadi getas.

2. Penentuan lama waktu perendaman serat dengan NaOH.

Pada percobaan pertama, dilakukan percobaan perendaman serat tebu dengan kadar NaOH 5% selama 5 menit, kemudian dilakukan perendaman selama 10 menit. Akan tetapi pada perendaman 5 dan 10 menit belum menunjukkan perubahan fisik yang berarti untuk serat sehingga waktu perendaman diperlama. Pada percobaan selanjutnya dilakukan perendaman dengan waktu 90 menit, serta 120 menit. Pada saat perendaman 90 menit dan 120 menit serat tebu menjadi getas sehingga waktu perendaman lebih dipersingkat dan ditetapkan lama perendaman 30 menit dan 60 menit.

4.1.4 Hasil Eksperimen

Spesimen untuk uji tarik berdasarkan ASTM D-638 memiliki panjang 165 mm. Spesimen sebelum dilakukan pengujian dan sesudah dilakukan pengujian *tarik* ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(a)

(b)

Gambar 4.1 a. Spesimen sebelum pengujian uji tarik; b. Spesimen setelah pengujian uji tarik

Spesimen yang telah dicetak dan diberi perlakuan *post cure*, diuji dengan mesin uji tarik di Laboratorium Material Teknik Mesin UNS. Spesimen diletakkan pada mesin uji tarik dengan sesuai dengan standar ASTM D 638-97.

Gambar 4.2 berikut adalah gambar saat dilakukannya uji tarik.



Gambar 4.2 Spesimen saat pengujian tarik

Eksperimen dilakukan sesuai dengan kombinasi level faktor yang telah ditentukan pada desain eksperimen. Data hasil eksperimen diolah untuk mendapatkan kombinasi level faktor optimal yang diharapkan dapat menghasilkan kualitas komposit dengan nilai kuat tarik yang optimum. Perhitungan dengan rumus nilai kuat tarik dari data hasil pengujian sebagai berikut:

Besar nilai kuat tarik dari benda uji dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan :

P = Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)

A = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m²)

σ =Engineering Stress (Pa)

Satuan P adalah kgf (*kilogram force*), sedangkan pada saat pengujian, satuan yang digunakan dalam pembebanan adalah kilo Newton (kN). Oleh karena itu satuan kilo Newton (kN) perlu dikonversi ke dalam satuan kgf dengan cara mengalikan hasil yang diperoleh dengan 1000 dan mengalikannya lagi dengan 0,1019 (1N = 0,1019 kgf). Data untuk luas spesimen sebesar 7,41 cm², dan sama untuk setiap data.

Contoh perhitungan Pmaks dan nilai kuat tarik sebagai berikut :

$$P_{maks} = 0,0869 \text{ kN}$$

$$P_{maks} = 0,0869 \times 1000 \times 0,1019 = 88.613 \text{ kgf}$$

$$\sigma = \frac{88,613 \text{ kgf}}{0,39 \text{ cm}^2} = 227,214 \text{ kgf/cm}^2$$

Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama sehingga diperoleh data nilai kuat tarik selengkapnya yang ditunjukkan oleh tabel L2.1.

Berdasar tabel L2.1 diperoleh bahwa nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada eksperimen ke-66 dengan faktor fraksi volume serat 40% dengan perlakuan NaOH selama 30 menit dan panjang serat 60 mm. Sedangkan nilai kuat tarik terendah diperoleh dari eksperimen ke-37 dengan fraksi volume serat 20% tanpa perlakuan NaOH dan panjang serat 20 mm.

4.2 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data dilakukan uji asumsi dasar, uji ANOVA, dan uji pembandingan ganda untuk mengetahui tingkat signifikansi variabel respon. Setelah itu dilakukan pemilihan spesimen berdasarkan nilai kuat tarik spesimen.

4.2.1 Uji Asumsi Dasar

Uji asumsi dasar merupakan langkah awal dalam pengolahan data, yang meliputi uji normalitas dan uji independensi. Proses pengujian asumsi dasar dilakukan terhadap data hasil pengukuran nilai kuat tarik pada masing-masing perlakuan.

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan terhadap data observasi di tiap perlakuan dengan tujuan untuk mengetahui apakah data observasi berdistribusi normal. Jumlah perlakuan yang terdapat pada eksperimen adalah 81 perlakuan. Cara perhitungan uji normalitas sampel data observasi dilakukan dengan metode *lilliefors*. Data nilai kuat tarik yang telah didapat melalui pengukuran, selanjutnya dibuat dalam suatu tabel interaksi. Adapun bentuk tabulasi seperti dijelaskan pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran nilai kuat tarik (kgf/cm²)

Panjang Serat (C)	Perlakuan Alkali (A)								
	0 menit (a ₁)			30 menit (a ₂)			60 menit (a ₃)		
	Vf serat 20 %	Vf serat 30 %	Vf serat 40%	Vf serat 20 %	Vf serat 30 %	Vf serat 40%	Vf serat 20 %	Vf serat 30 %	Vf serat 40%
	(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)	(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)	(b ₁)	(b ₂)	(b ₃)
20 mm (c ₁)	67,458	80,096	109,990	142,150	154,352	158,361	93,430	111,384	144,242
40 mm (c ₂)	116,091	131,343	167,425	170,650	179,278	192,787	147,554	147,815	181,544
60 mm (c ₃)	191,044	209,695	242,292	221,810	262,773	271,314	181,544	229,916	264,603

Langkah-langkah perhitungan uji *lilliefors*, sebagai berikut :

Urutkan data observasi dari yang terkecil sampai terbesar,

64,843; 67,458; 70,073; ...; 274,278 sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.2

Hitung rata-rata (\bar{x}) dan standar deviasi (s) data tersebut,

$$\bar{x} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{64,843 + 67,458 + 70,073 + \dots + 274,278}{81} = 169,29$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(64,843^2 + 67,458^2 + 70,073^2 + \dots + 274,278^2) - \frac{(64,843 + 67,458 + 70,073 + \dots + 274,278)^2}{81}}{81-1}}$$

$$s = 55,18$$

Transformasikan data (x) tersebut menjadi nilai baku (z),

$$z_i = (x_i - \bar{x}) / s$$

$$z_1 = (64,843 - 169,29) / 55,18 = -1,89$$

Dengan cara yang sama diperoleh seluruh nilai baku, sebagaimana ditunjukkan pada kolom z tabel 4.2 di bawah ini.

d) Berdasarkan nilai baku (z), tentukan nilai probabilitasnya $P(z)$ berdasarkan sebaran normal baku, sebagai probabilitas pengamatan. Gunakan tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal atau dengan bantuan *Ms.Excel* dengan *function NORMSDIST*, sebagaimana dapat dilihat pada kolom $P(z)$ tabel 4.3.

e) Tentukan nilai probabilitas harapan kumulatif $P(x)$ dengan cara, sebagai berikut:

$$P(x_i) = i / n$$

$$P(x_1) = 1/81 = 0,012$$

Dengan cara yang sama akan diperoleh seluruh nilai $P(x)$ sebagaimana pada kolom $P(x)$ tabel 4.2 dibawah ini.

f) Tentukan nilai maksimum dari selisih absolut $P(z)$ dan $P(x)$, yaitu :
maks $|P(z) - P(x)|$, sebagai nilai L hitung 1.

$$\text{maks } |P(z) - P(x)| = 0,08$$

g) Tentukan nilai maksimum dari selisih absolut $P(x_{i-1})$ dan $P(z)$, yaitu:
maks $|P(x_{i-1}) - P(z)|$, sebagai nilai L hitung 2.

$$\text{maks } |P(x_{i-1}) - P(z)| = 0,07$$

h) Tentukan nilai maksimum antara maks $|P(z) - P(x)|$ dan maks $|P(x_{i-1}) - P(z)|$. Nilai maks tersebut merupakan nilai L hitung uji *lilliefors*.

$$\text{Maks } [|P(z) - P(x)| \text{ dan } |P(x_{i-1}) - P(z)|] = 0,08$$

i) Tahap berikutnya adalah menganalisis apakah semua sampel data observasi berdistribusi normal. Hipotesis yang diajukan adalah :

H_0 : Sampel data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi normal

H_1 : Sampel data observasi berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal.

Hasil perhitungan manual uji *lilliefors* untuk eksperimen spesimen komposit secara lengkap dapat dilihat pada L 3.1. Untuk hasil perhitungan uji *lilliefors* dengan menggunakan *software* SPSS dapat dilihat pada tabel 4.2.

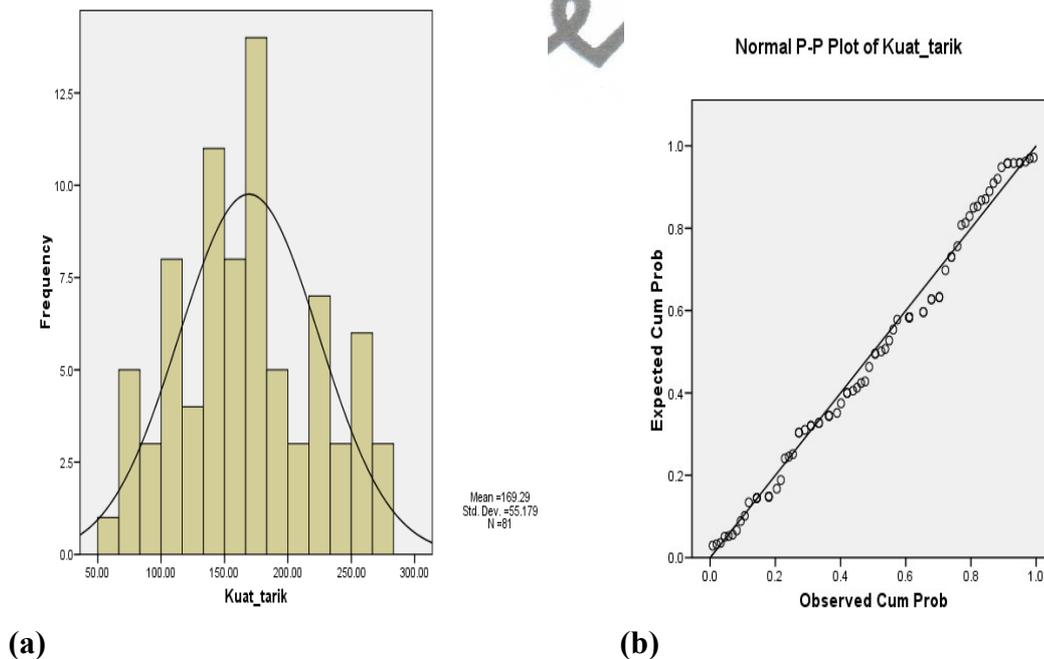
Tabel 4.2 Uji normalitas dengan *software* SPSS

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kuat_tarik	.083	81	.200*	.970	81	.054

Sumber: Pengolahan Data SPSS, 2011

Berdasarkan tabel 4.2 [kolom *kolmogorov-smirnov^a* bagian *sig.*], terlihat bahwa nilai signifikansi 0,2 lebih besar dari 0,05. Selain itu berdasarkan tabel 4.3 dimana taraf nyata yang dipilih $\alpha = 0,05$, dengan wilayah kritik penolakan terhadap $L_{hitung} > L_{(\alpha,n)}$. Nilai L_{tabel} dari distribusi L yaitu $L_{(\alpha,n)} = L_{(0,05, 81)} = 0,098$, diperoleh hasil perhitungan uji normalitas semua perlakuan $L_{hitung} < L_{tabel}$ (0,098), maka terima H_0 , dan hasil tersebut menyatakan bahwa seluruh data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi normal. Kedua kriteria yakni signifikansi dan nilai statistik hitung menunjukkan penerimaan terhadap H_0 dan dapat disimpulkan bahwa 81 data observasi berasal dari populasi berdistribusi normal.

Bentuk sebaran normal pada perlakuan diperkuat oleh *normal probability plot* (P-P) dan histogram yang ditunjukkan dalam Gambar 4.3.

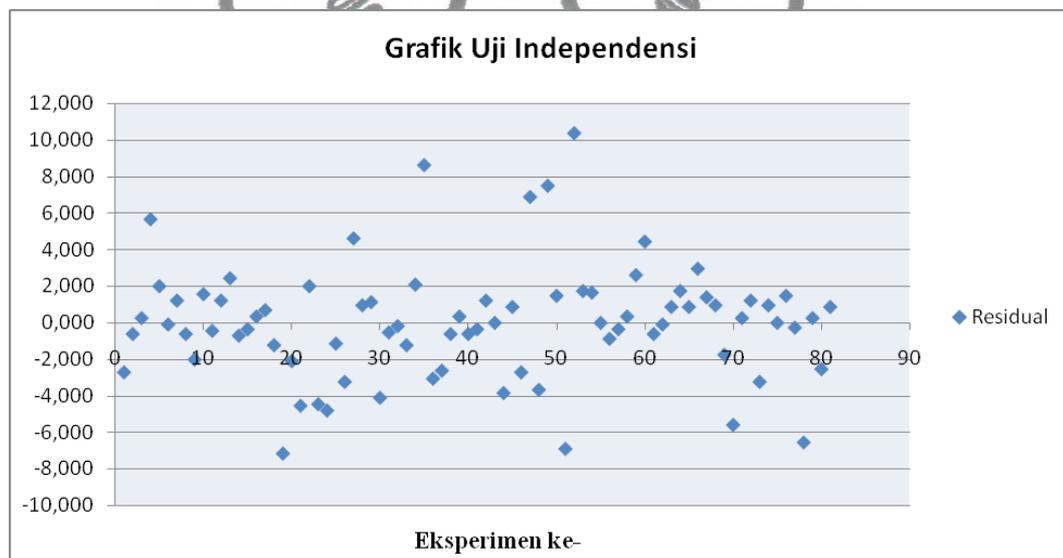


Gambar 4.3 Histogram data hasil pengujian tarik (a) dan *Normal probability plot* (b)

2. Uji Independensi

Pengujian independensi eksperimen dilakukan dengan melakukan pengacakan terhadap observasi. Pengujian independensi eksperimen dapat dilakukan dengan uji *run test* (uji deret). Data yang skala pengukurannya ordinal dimana untuk mengukur urutan suatu kejadian. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur kerandoman populasi yang didasarkan atas data hasil pengamatan melalui data sampel. Tujuan uji deret adalah untuk menentukan apakah keacakan akan terjadi atau apakah terdapat suatu pola yang mendasari urutan data sampel. Pengujian independensi dilakukan dengan membuat plot residual data untuk setiap perlakuan berdasarkan urutan pengambilan data pada eksperimen. Nilai residual tersebut merupakan selisih data observasi dengan rata-rata tiap perlakuan. Hasil perhitungan nilai residual untuk tiap perlakuan terdapat pada L 3.2.

Data residual kemudian diplotkan berdasarkan urutan pengambilan data eksperimen seperti Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Plot residual data nilai kuat tarik

Gambar 4.4 menunjukkan nilai residual tersebar merata dan tidak membentuk pola tertentu, sehingga dapat disimpulkan bahwa data hasil eksperimen memenuhi syarat independensi.

commit to user

Berdasarkan hasil uji asumsi yang telah dilakukan, diketahui bahwa data observasi yang dilakukan memenuhi asumsi normalitas, homogenitas, dan independensi. Oleh karena itu, data observasi tersebut dapat digunakan untuk pengolahan *Analysis of Variance* (ANOVA).

4.2.2 Uji ANOVA

Pengujian ANOVA dilakukan terhadap nilai kuat tarik untuk mengetahui apakah faktor-faktor yang diteliti berpengaruh signifikan terhadap variabel respon tersebut. Hipotesis umum yang diajukan adalah ada perbedaan yang signifikan antar faktor maupun level dalam setiap faktor yang diteliti. Hipotesis umum ini disebut sebagai hipotesis nol (H_0).

Hipotesis nol yang diajukan dalam analisis variansi, adalah:

- H_{01} : Perbedaan perlakuan alkali tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kuat tarik.
- H_{02} : Perbedaan volume serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kuat tarik.
- H_{03} : Perbedaan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kuat tarik.
- H_{04} : Perbedaan interaksi perlakuan alkali dan volume serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kuat tarik.
- H_{05} : Perbedaan interaksi perlakuan alkali dan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kuat tarik.
- H_{06} : Perbedaan interaksi volume serat dan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kuat tarik.
- H_{07} : Perbedaan interaksi perlakuan alkali, volume serat dan panjang serat tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kuat tarik.

Model matematik yang dipakai dalam analisis ini, adalah:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{l(ijk)} \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan :

- Y_{ijkl} = variabel respon
 A_i = faktor komposisi perlakuan alkali
 B_j = faktor volume serat
 C_k = faktor panjang serat
 AB_{ij} = interaksi faktor A dan faktor B

- AC_{ik} = interaksi faktor A dan faktor C
- BC_{jk} = interaksi faktor B dan faktor C
- ABC_{ij} = interaksi faktor A , faktor B , dan faktor C
- $\epsilon_{l(ijk)}$ = random error
- i = jumlah faktor perlakuan alkali (A), $i = 1, 2, 3$
- j = jumlah faktor volume serat (B), $j = 1, 2, 3$
- k = jumlah faktor panjang serat (C), $k = 1, 2, 3$
- l = jumlah replikasi $l = 1, 2, 3$,

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai-nilai yang dibutuhkan untuk perhitungan ANOVA. Prosedur perhitungan nilai-nilai tersebut dijelaskan oleh pembahasan di bawah ini. Adapun data yang digunakan adalah data eksperimen nilai kuat tarik (kgf/cm^2) yang dapat dilihat pada tabel 4.1. Sedangkan pengolahan data seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 ANOVA untuk nilai kuat tarik (kgf/cm^2)

Panjang Serat (C)	Perlakuan Alkali (A)									Jumlah	Rata-rata
	0 menit (a)			30 menit (a)			60 menit (a)				
	Vf serat 20 %	Vf serat 30 %	Vf serat 40 %	Vf serat 20 %	Vf serat 30 %	Vf serat 40 %	Vf serat 20 %	Vf serat 30 %	Vf serat 40 %		
	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)		
20 mm (k)											
Jumlah	202,374	240,287	329,970	426,45	463,056	475,083	280,29	334,15	432,726	3184,39	
Rata-rata	67,458	80,096	109,990	142,15	154,352	158,361	93,430	111,38	144,242		117,940
40 mm (k)											
Jumlah	348,272	394,029	502,276	511,950	537,835	578,362	442,66	443,44	544,633	4303,46	
Rata-rata	116,091	131,343	167,425	170,650	179,278	192,787	147,554	147,813	181,544		159,388
60 mm (k)											
Jumlah	573,133	629,086	726,875	665,430	788,319	813,943	544,63	689,747	793,810	6224,97	
Rata-rata	191,044	209,695	242,292	221,810	262,773	271,314	181,544	229,915	264,603		230,553
Total	1123,780	1263,402	1559,121	1603,830	1789,210	1867,388	1267,588	1467,341	1771,169		
Rata-rata Total	140,473	157,925	194,890	200,479	223,651	233,424	158,448	183,418	221,396	13712,83	169,294

Kemudian dilakukan perhitungan jumlah kuadrat/*sum of square* (SS) dari masing-masing faktor dan interaksinya. Proses perhitungan SS dan hasilnya, adalah:

- FK (Faktor Koreksi) :

commit to user

$$\begin{aligned}
 FK &= \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 Y_{ijkl} \right)^2 / (abcn) \\
 &= 13.712,83^2/81 \\
 &= 2.321.502,508
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (SS_{total}) :

$$SS_{total} = \sum_i^3 \sum_j^2 \sum_k^3 \sum_l^3 Y_{ijkl}^2 - FK$$

$$\begin{aligned}
 SS_{total} &= (70,073^2 + 64,843^2 + \dots + 264,865^2) - 2.321.502,508 \\
 &= 243.574,258
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat faktor perlakuan alkali (SS_A) :

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \left(\frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^3 A_i^2 \right) - FK \\
 &= 1/3 \times 3 \times 3 (3946,302^2 + 5260,428^2 + 4506,1^2) - 2.321.502,508 \\
 &= 32.213,754
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat faktor volume serat (SS_B) :

$$\begin{aligned}
 SS_B &= \left(\frac{1}{acn} \sum_{i=1}^2 B_i^2 \right) - FK \\
 &= 1/3 \times 3 \times 3 (3995,196^2 + 4519,957^2 + 5197,677^2) - 2.321.502,508 \\
 &= 26.921,455
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat model panjang serat (SS_C) :

$$\begin{aligned}
 SS_C &= \left(\frac{1}{abn} \sum_{i=1}^3 C_i^2 \right) - FK \\
 &= 1/3 \times 3 \times 3 (3184,391^2 + 4303,464^2 + 6224,975^2) - 2.321.502,508 \\
 &= 175.181,301
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat interaksi antara faktor A dan B (SS_{AxB}) :

$$\begin{aligned}
 SS_{AxB} &= \left(\frac{1}{cn} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 (A_i B_j)^2 \right) - FK - SS_A - SS_B \\
 &= \frac{1}{9} (1123,780^2 + 1263,402^2 + \dots + 1771,169^2) - 2.321.502,508 - \\
 &\quad 32.213,754 - 26.921,455 \\
 &= 2419,757
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat interaksi antara faktor A dan C (SS_{AxC}) :

commit to user

$$\begin{aligned}
 SS_{A \times C} &= \left(\frac{1}{bn} \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 (AiCk)^2 \right) - FK - SS_A - SS_C \\
 &= \frac{1}{9} (772,631^2 + 1244,577^2 + \dots + 2028,189^2) - 2.321.502,508 - 32.213,754 \\
 &\quad - 26.921,455 \\
 &= 2198,237
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat interaksi antara faktor B dan C ($SS_{B \times C}$):

$$\begin{aligned}
 SS_{B \times C} &= \left(\frac{1}{an} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 (BjCk)^2 \right) - FK - SS_B - SS_C \\
 &= \frac{1}{9} (909,116^2 + 1302,884^2 + \dots + 2334,627^2) - 2.321.502,508 \\
 &\quad - 26.921,455 - 26.921,455 \\
 &= 2598,614
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat interaksi antara faktor A, B, dan C ($SS_{A \times B \times C}$):

$$\begin{aligned}
 SS_{A \times B \times C} &= \\
 &= \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 (AiBjCk)^2 \right) - FK - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{A \times B} - SS_{A \times C} - SS_{B \times C} \\
 &= \frac{1}{3} (202,374^2 + 348,272^2 + 573,133^2 + \dots + 793,810^2) - 2.321.502,508 - \\
 &\quad 32.213,754 - 26.921,455 - 26.921,455 - 2419,757 - 2198,237 - \\
 &\quad 2598,614 \\
 &= 1223,914
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat error (SS_E):

$$\begin{aligned}
 SS_E &= SS_{total} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC} \\
 &= 32.213,754 - 26.921,455 - 26.921,455 - 2419,757 - 2198,237 - \\
 &\quad 2598,614 - 1223,914 \\
 &= 817,227
 \end{aligned}$$

Mean of square (MS) atau disebut juga kuadrat tengah (KT), dihitung dengan membagi antara jumlah kuadrat (SS) yang diperoleh dengan derajat bebasnya (df).

Contoh perhitungan MS, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} MS_A &= \frac{SS_A}{(a-1)} \\ &= \frac{32.213,754}{2} \\ &= 16.106,877 \end{aligned}$$

Besarnya F_{hitung} didapat dari pembagian antara MS faktor yang ada dengan MS_{error} dari eksperimen. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{MS_A}{MS_E} \\ &= \frac{16.106,877}{15,134} \\ &= 1.064,3 \end{aligned}$$

Berpedoman pada contoh yang telah disebutkan, maka didapat MS dan F_{hitung} semua faktor selengkapnya yang dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Keputusan terhadap hipotesis nol didasarkan pada nilai F_{hitung} , yakni hipotesis nol (H_0) ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan diterima jika $F_{hitung} < F_{tabel}$. F_{tabel} diperoleh dari tabel distribusi F kumulatif, dengan $df_1 = df$ yang bersangkutan dan $df_2 = df_{error}$. Perhitungan F_{tabel} dengan menggunakan Microsoft excel dengan rumus:

$$= \text{FINV}(\text{probability}, df_1, df_2)$$

Contoh perhitungan F_{tabel} adalah F_{tabel} untuk perlakuan alkali, $df_1 = 2$ dan $df_2 = 54$. Berdasarkan hasil perhitungan Microsoft excel diperoleh $F_{tabel} = \text{FINV}(0.05, 2, 54) = 3,168$.

commit to user
Tabel 4.4 Hasil perhitungan ANOVA untuk nilai kuat tarik

Faktor	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Faktor utama					
Perlakuan alkali (a)	32213,822	2	16106,911	1064,271	0,000
Fraksi volume (b)	26921,548	2	13460,774	889,427	0,000
Panjang serat(c)	175181,519	2	87590,754	5787,599	0,000
Interaksi 2 faktor					
Perlakuan alkali (a) dengan Fraksi volume (b)	2419,755	4	604,939	39,972	0,000
Perlakuan alkali (a) dengan Panjang serat (c)	2198,294	4	549,573	36,313	0,000
Fraksi volume (b) dengan Panjang serat (c)	2598,624	4	649,656	42,926	0,000
Interaksi 3 faktor					
Perlakuan alkali (a)xFraksi volume (b)xPanjang serat (c)	1223,9	8	152,988	10,109	0,000
Error	817,248	54	15,134		
Total	2565078,276	81			

Sumber: Pengolahan Data SPSS, 2011

Hasil perhitungan ANOVA nilai kuat tarik dengan menggunakan SPSS, terdapat pada tabel 4.4. Pengujian ANOVA menggunakan SPSS menunjukkan nilai signifikansi semua level sebesar 0,00 lebih kecil dari taraf nyata yang dipilih $\alpha = 0,05$, sehingga H_0 ditolak dan terima H_1 yang berarti semua level serta interaksi antar level mempengaruhi kuat tarik. Penggunaan F_{hitung} memberikan kesimpulan tentang hasil uji hipotesis analisis variansi. Keputusan yang diambil terhadap hasil analisis variansi data eksperimen untuk nilai kuat tarik, yaitu:

1. Ditinjau dari faktor perlakuan alkali (faktor A), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan simpulkan bahwa perlakuan alkali berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tarik.
2. Ditinjau dari faktor volume serat (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan simpulkan bahwa volume serat berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tarik.
3. Ditinjau dari faktor panjang serat (faktor C), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan simpulkan bahwa panjang serat berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tarik.
4. Ditinjau dari interaksi antara faktor perlakuan alkali (faktor A) dan volume serat (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan simpulkan bahwa

interaksi antara faktor perlakuan alkali (faktor *A*) dan volume serat (faktor *B*) berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tarik.

5. Ditinjau dari interaksi antara faktor perlakuan alkali (faktor *A*) dan panjang serat (faktor *C*), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan simpulkan bahwa interaksi antara faktor perlakuan alkali (faktor *A*) dan panjang serat (faktor *C*) berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tarik.

6. Ditinjau dari interaksi antara faktor volume serat (faktor *B*) dan panjang serat (faktor *C*), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan simpulkan bahwa interaksi antara volume serat (faktor *B*) dan panjang serat (faktor *C*) berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tarik.

7. Ditinjau dari interaksi antara faktor perlakuan alkali (faktor *A*), volume serat (faktor *B*), dan panjang serat (faktor *C*), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan simpulkan bahwa interaksi antara perlakuan alkali (faktor *A*), volume serat (faktor *B*), dan panjang serat (faktor *C*) berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tarik.

4.2.3 Uji Pembandingan Ganda

Uji ANOVA yang dilakukan hanya menjelaskan apakah ada perbedaan yang signifikan antar *treatment* yang diuji dalam eksperimen atau menjelaskan apakah variasi antar *treatment* itu signifikan atau tidak. Namun demikian, bilamana terdapat faktor yang dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap variabel respon, maka ANOVA belum memberikan informasi tentang level mana saja dari faktor tersebut yang memberikan perbedaan, ANOVA belum dapat menggambarkan model matematis akibat pengaruh suatu faktor terhadap variabel respon.

Informasi yang belum diberikan ANOVA, diberikan oleh uji pembandingan ganda. Uji pembandingan ganda banyak jenisnya. Penggunaan salah satu jenis uji pembandingan ganda disesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai atau informasi yang ingin diperoleh lebih jauh. Misalnya ingin mengetahui bentuk pengaruh suatu faktor variabel bebas (*independent*) terhadap variabel respon (*dependent*), maka model regresi bisa menjadi pilihan tepat. Karena tujuan *post hoc test* ini ingin mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antar level-level atau *treatment* yang diuji dalam eksperimen atau menjelaskan apakah variasi antar

treatment itu signifikan atau tidak maka pengolahan data menggunakan uji Tukey. Syarat melakukan uji Tukey adalah jumlah antar level setiap perlakuan harus sama serta data yang diuji harus memenuhi syarat homogenitas, karena pada eksperimen ini memenuhi syarat maka uji Tukey dapat dilakukan. Uji Tukey dilakukan dengan bantuan *software* minitab 15, *software* minitab dipilih karena pada *software* SPSS *output* interaksi antar level tidak dapat ditampilkan.

Untuk melihat kombinasi faktor yang memberikan nilai kuat tarik terbaik maka pengujian Tukey dilakukan pada interaksi tiga faktor yaitu interaksi antara faktor perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat. Berikut adalah perhitungan uji tukey interaksi tiga faktor berdasarkan *software* mini tab.

- **Uji Tukey Perlakuan Interaksi Faktor Perlakuan Alkali, Fraksi Volume Serat, dan Panjang Serat.**

Berdasarkan perhitungan pada L3.3 diketahui bahwa beberapa interaksi memiliki nilai *p-value* lebih besar dari nilai α (0,05) yang berarti terima H_0 dan menunjukkan bahwa antar interaksi tidak berbeda. Berikut adalah interaksi yang memiliki nilai *p-value* lebih besar dari nilai α (0,05).

Tabel 4.5 Interaksi yang memiliki nilai *p-value* lebih besar dari nilai α

Interaksi antar faktor	Nilai <i>p-value</i>	Interaksi antar faktor	Nilai <i>p-value</i>
a1b1c2 vs a1b3c1	0,9690	a2b1c2 vs a2b2c2	0,5702
a1b1c2 vs a3b2c1	0,9989	a2b1c2 vs a3b1c3	0,1604
a1b1c3 vs a2b2c2	0,0830	a2b1c2 vs a3b3c2	0,1604
a1b1c3 vs a2b3c2	1,000	a2b1c3 vs a3b2c3	0,6870
a1b1c3 vs a3b1c3	0,3796	a2b2c1 vs a2b3c1	0,9999
a1b1c3 vs a3b3c2	0,3796	a2b2c1 vs a3b1c2	0,9113
a1b2c2 vs a2b1c1	0,1701	a2b2c1 vs a3b2c2	0,9379
a1b3c1 vs a3b2c1	1,000	a2b2c1 vs a3b3c1	0,2679
a1b3c2 vs a2b1c2	1,000	a2b2c2 vs a3b1c3	1,000
a1b3c2 vs a2b2c2	0,0776	a2b2c2 vs a3b3c2	1,000
a1b3c2 vs a2b3c1	0,4716	a2b2c3 vs a2b3c3	0,5883
a2b1c1 vs a2b2c1	0,0581	a2b2c3 vs a3b3c3	1,000
a2b1c1 vs a3b1c2	0,9926	a2b3c1 vs a3b1c2	0,1705
a2b1c1 vs a3b2c2	0,9867	a2b3c1 vs a3b2c2	0,2035
a2b1c1 vs a3b3c1	1,000	a2b3c1 vs a3b2c2	0,1239
a2b3c1 vs a3b3c1	0,1239	a3b1c2 vs a3b3c1	1,000
a3b1c2 vs a3b2c2	1,000	a3b1c3 vs a3b3c2	1,000
a3b2c2 vs a3b3c1	1,000		

Nilai kuat tarik terbesar berada pada kombinasi faktor $a_2b_3c_3$ (perlakuan alkali 30 menit, volume serat 40% dan panjang serat 60 mm) sebesar 274,278 kgf/cm².



commit to user

BAB V ANALISIS HASIL

Pada bab ini akan diuraikan analisis terhadap hasil pengolahan data. Pembahasan diawali dengan analisis hasil pengujian tarik dan analisis proses pembuatan spesimen *skin* komposit *sandwich*. Analisis hasil tersebut diuraikan dalam sub bab berikut ini.

5.1 ANALISIS HASIL UJI TARIK

Analisis hasil uji tarik meliputi analisis mengenai kekuatan tarik *skin* komposit *sandwich*, analisis pengaruh faktor perlakuan alkali, volume serat, dan panjang serat serta interaksi dua faktor maupun ketiga faktor terhadap kekuatan tarik.

Analisis Kekuatan Tarik *Skin* Komposit *Sandwich*

Berdasarkan pengujian tarik menggunakan mesin *Universal Testing Machine* diperoleh data pembebanan maksimal. Data-data dari pengujian kemudian dimasukkan dalam persamaan untuk memperoleh besarnya kekuatan tarik. Hasil pengujian tarik komposit berbahan dasar serat tebu pada 27 perlakuan ditunjukkan oleh grafik berikut.



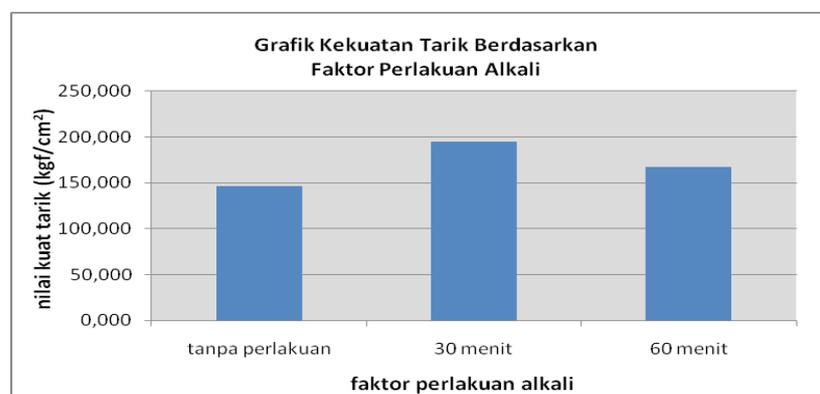
Gambar 5. 1 Grafik perbandingan kekuatan tarik dengan ANSI A135.4 2004

Berdasarkan SNI 01-4449-2006 untuk papan serat, kerapatan *skin* komposit *sandwich* ini tergolong papan serat kerapatan tinggi dengan nilai

kerapatan yaitu $0,84 \text{ g/cm}^3$. Untuk itu selain menggunakan SNI 01-4449-2006, standar lain yang digunakan untuk perbandingan adalah standar khusus untuk papan serat berkerapatan tinggi yaitu ANSI A135.4 2004. Gambar 5.1 menunjukkan grafik nilai kekuatan tarik *skin* komposit berada diatas nilai kekuatan tarik yang disyaratkan oleh SNI 01-4449-2006 dan sebagian besar berada di atas garis standar nilai tarik papan serat kerapatan tinggi (*hardboard*) berdasar ANSI A135.4 2004 untuk papan serat kerapatan tinggi. Hal ini berarti rata-rata hasil pengujian tarik dari ketiga replikasi pada seluruh sebagian besar telah memenuhi standar ANSI A135.4 2004 yaitu sebesar $154,9 \text{ kgf/cm}^2$. Nilai kekuatan tarik terbesar pada perlakuan ke-24, yaitu *skin* komposit dengan faktor perendaman alkali selama 30 menit, volume serat 40% dan panjang serat tebu 60 mm dengan nilai kekuatan tarik $274,278 \text{ kgf/cm}^2$ dan yang terendah pada perlakuan ke-1, yaitu *skin* komposit dengan faktor tanpa perendaman alkali, volume serat 20% dan panjang serat tebu 20 mm dengan nilai kekuatan tarik $70,073 \text{ kgf/cm}^2$.

Analisis Faktor Perlakuan Alkali

Hasil uji ANOVA untuk faktor perlakuan alkali menunjukkan bahwa faktor perlakuan alkali berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan berdasarkan hasil uji Tukey diketahui bahwa tiap level perlakuan alkali berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Faktor perlakuan alkali dengan NaOH selama 30 menit menghasilkan kekuatan tarik lebih besar dibandingkan perlakuan alkali selama 60 menit dan tanpa perlakuan alkali. Besarnya kekuatan tarik *skin* komposit faktor perlakuan alkali terdapat pada Gambar 5.2 berikut ini.

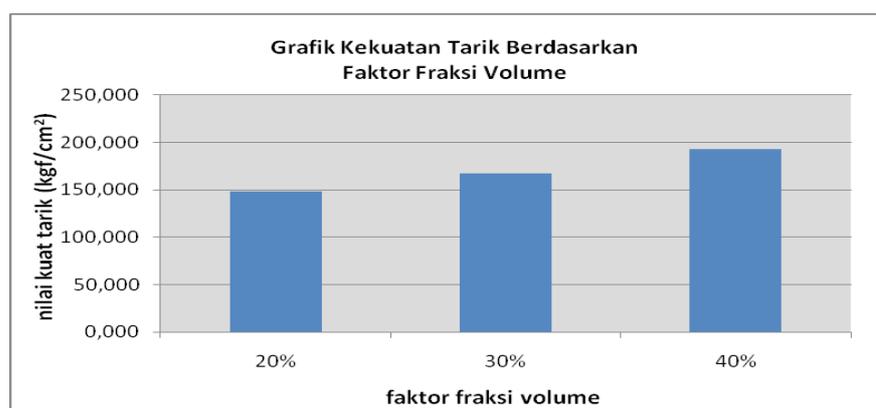


Gambar 5. 2 Grafik kekuatan tarik berdasarkan faktor perlakuan alkali

Dari Gambar 5.2 diketahui rata-rata kekuatan tarik *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu tanpa perlakuan alkali sebesar 146,159 kgf/cm², sedangkan serat dengan perlakuan alkali selama 30 menit sebesar 194,831 kgf/cm², untuk perlakuan alkali selama 60 menit kekuatan tariknya sebesar 166,893 kgf/cm². Hasil ini sejalan dengan penelitian Wahono (2008) dan penelitian Andriyanto (2011) yang menyatakan perlakuan alkali mempengaruhi kekuatan tarik komposit. Apabila dalam penelitian Wahono (2008) nilai kuat tarik tertinggi yaitu pada perendaman selama 2 jam dan menurun seiring lamanya waktu perendaman, dalam penelitian ini kekuatan tarik tertinggi terdapat pada lama perendaman selama 30 menit dan menurun pada saat perendaman selama 60 menit, hal ini diakibatkan karakteristik serat yang digunakan dalam penelitian ini dengan penelitian Wahono (2008) berbeda karena serat yang digunakan adalah serat buah kelapa sawit.

Analisis Faktor Fraksi Volume Serat

Hasil uji ANOVA untuk faktor fraksi volume serat menunjukkan bahwa faktor fraksi volume serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan berdasarkan hasil uji Tukey diketahui bahwa tiap level fraksi volume serat berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Semakin banyak volume serat maka semakin tinggi pula kekuatan tariknya. Peningkatan kekuatan tarik berdasarkan fraksi volume serat ditunjukkan pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5. 3 Grafik kekuatan tarik berdasarkan faktor fraksi volume

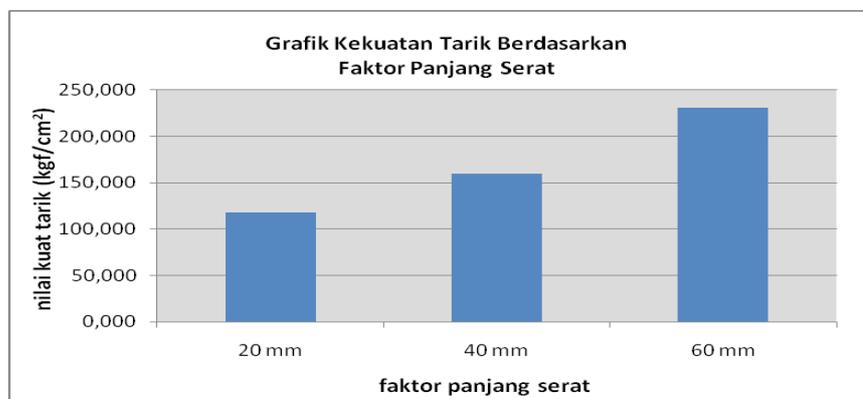
Berdasarkan hasil trial fraksi volume serat terbanyak hanya terbatas pada 40 %, karena apabila menggunakan fraksi volume serat lebih dari 40 % sulit

dalam proses pencetakan komposit karena proses pencetakan dilakukan secara manual, selain itu perbandingan antara volume serat dan matriks yang tidak sebanding sehingga matriks tidak dapat mengikat serat secara sempurna.

Dari Gambar 5.3 diketahui rata-rata kekuatan tarik *skin* komposit dengan faktor fraksi volume serat 20% sebesar 147,970 kgf/cm², untuk fraksi volume serat 30% rata-rata kekuatan tariknya sebesar 167,406 kgf/cm², pada fraksi volume serat 40% rata-rata kekuatan tarik sebesar 192,507 kgf/cm². Hasil ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Najib (2010) dan Prasetyo (2007) serta Ghosh,dkk (2011) yang menyatakan bahwa fraksi volume serat mempengaruhi kekuatan tarik komposit. Penelitian Najib (2010) memvariasikan fraksi volume serat rami 20%, 30%, 40%, dan 50%, kekuatan tarik terbesar berada pada fraksi volume serat 39,68% dan menurun pada fraksi volume serat 50%. Berdasarkan penelitian tersebut penurunan kekuatan tarik dapat saja terjadi karena perbandingan antara serat dengan matriks yang tidak sebanding yang mengakibatkan matriks kurang dapat mengikat serat dengan sempurna.

Analisis Faktor Panjang Serat

Hasil uji ANOVA untuk faktor panjang serat menunjukkan bahwa faktor panjang serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan berdasarkan hasil uji Tukey diketahui bahwa tiap level fraksi volume serat berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Semakin panjang serat maka semakin tinggi pula kekuatan tariknya. Peningkatan kekuatan tarik berdasarkan panjang serat ditunjukkan pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5. 4 Grafik kekuatan tarik berdasarkan faktor panjang serat

commit to user

Dari Gambar 5.4 diketahui rata-rata kekuatan tarik *skin* komposit dengan faktor panjang serat 20 mm sebesar 117,940 kgf/cm², untuk panjang serat 40 mm rata-rata kekuatan tarik komposit sebesar 159,388 kgf/cm², pada panjang serat 60 mm rata-rata kekuatan tarik sebesar 230,555 kgf/cm². Hasil ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Kurniawan (2010) yang menyatakan bahwa panjang serat mempengaruhi kekuatan tarik komposit dan panjang serat tertinggi pada panjang serat 40 mm. Berdasarkan hasil trial panjang serat terpanjang adalah 60 mm, akan tetapi tidak menutup kemungkinan apabila serat yang digunakan lebih panjang dari 60 mm maka dapat terjadi peningkatan kekuatan tarik.

Analisis Interaksi Faktor Perlakuan Alkali dan Fraksi Volume Serat

Selain faktor perlakuan alkali, fraksi volume dan panjang serat tersebut yang diuji, maka diuji pula apakah ada interaksi yang terjadi antar faktor-faktor tersebut. Hubungan antara faktor perlakuan alkali dengan fraksi volume serat dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



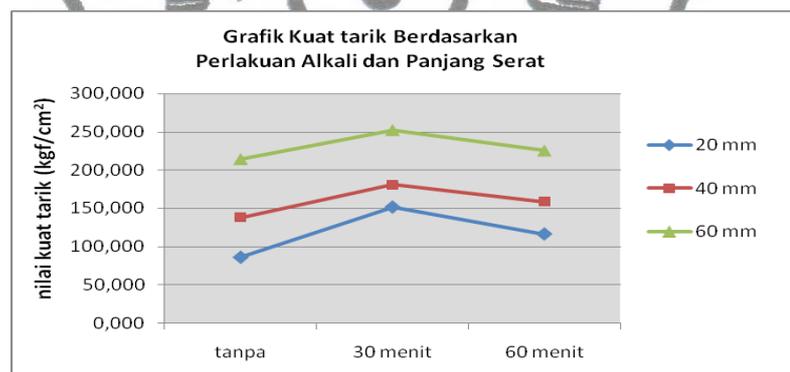
Gambar 5.5 Grafik kekuatan tarik berdasarkan interaksi faktor perlakuan alkali dan fraksi volume serat

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara faktor perlakuan alkali dengan fraksi volume serat. Berdasarkan Gambar 5.5 terlihat bahwa ketiga garis nyaris sejajar dan linier, dimana antara level perlakuan alkali pada kenaikan level fraksi volume sama-sama menghasilkan kenaikan kekuatan tarik dan sama-sama menghasilkan penurunan kekuatan tarik pada level perlakuan alkali 60 menit, akan tetapi kenaikan maupun penurunan kekuatan tarik tidak sama persis antar kedua faktor, sehingga dapat dikatakan terjadi interaksi antara faktor perlakuan alkali dengan fraksi volume serat pada level-level tersebut.

Interaksi yang terjadi pada hasil uji ANOVA kemungkinan disebabkan oleh galat (*error*). Interaksi tidak selalu merupakan akibat dari suatu interaksi sejati antara perlakuan-perlakuan eksperimental. Jika terdapat satu interaksi signifikan, ada tiga kemungkinan penyebabnya. Penyebab pertama adalah interaksi sejati, yaitu varian ditimbulkan oleh interaksi yang sungguh-sungguh terjadi antara dua variabel dalam bersama-sama mempengaruhi sebuah variabel ketiga. Kemungkinan kedua adalah galat (*error*). Dapat terjadi, suatu interaksi signifikan yang muncul karena kebetulan sematamata. Kemungkinan ketiga adalah, interaksi terjadi karena adanya pengaruh yang bekerja pada satu tingkat eksperimen namun tidak bekerja pada tingkat eksperimen lain (Kerlinger, 2000).

Analisis Faktor Interaksi Perlakuan Alkali dan Panjang Serat

Hubungan antara faktor perlakuan alkali dengan panjang serat dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



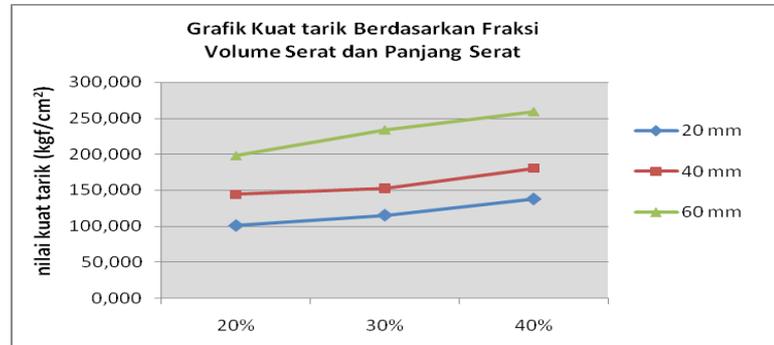
Gambar 5.6 Grafik kekuatan tarik berdasarkan interaksi faktor perlakuan alkali dan panjang serat

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara faktor perlakuan alkali dengan panjang serat. Berdasarkan Gambar 5.6 terlihat bahwa ketiga garis nyaris sejajar, dimana antara level perlakuan alkali pada level panjang sama-sama menghasilkan kenaikan kekuatan tarik dan sama-sama menghasilkan penurunan kekuatan tarik pada level perlakuan alkali 60 menit, akan tetapi kenaikan maupun penurunan kekuatan tarik tidak sama persis antar ketiga faktor sehingga dapat dikatakan terjadi interaksi antara faktor perlakuan alkali dengan panjang serat pada level-level tersebut.

commit to user

Analisis Interaksi Faktor Fraksi Volume Serat dan Panjang Serat

Hubungan antara faktor fraksi volume serat dengan panjang serat dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.

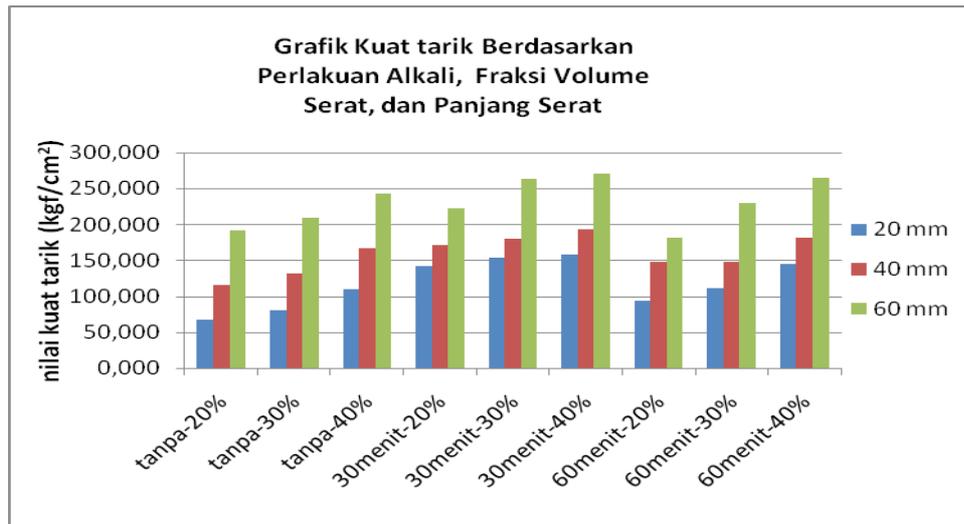


Gambar 5.7 Grafik kekuatan tarik berdasarkan interaksi faktor fraksi volume dan panjang serat

Berdasarkan hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara faktor fraksi volume serat dan panjang serat. Berdasarkan Gambar 5.7 menunjukkan bahwa antara garis level 20 mm dan 40 mm nyaris sejajar dan linier (tidak berpotongan) akan tetapi penurunan kekuatan tarik pada fraksi volume 30 % tidak sama antara level 20, 40, serta 60 mm, dimana antara level perlakuan alkali pada level panjang sama-sama menghasilkan kenaikan kekuatan tarik, sehingga dapat dikatakan berdasarkan grafik terjadi interaksi antara faktor fraksi volume serat dan panjang serat pada level-level tersebut. Pada panjang serat 20 mm dan 40 mm sama-sama menghasilkan kenaikan fraksi volume serat pada volume 20 % ke 30 % mengalami penurunan kekuatan tarik sedangkan pada fraksi volume serat 30% ke 40 % mengalami peningkatan kekuatan tarik. Hasil yang berbeda terdapat pada panjang serat 60 mm, dimana kenaikan fraksi volume serat menghasilkan kenaikan kekuatan tarik. Sehingga antar faktor fraksi volume serat dan panjang serat mengalami interaksi.

Analisis Interaksi Faktor Perlakuan Alkali, Fraksi Volume Serat dan Panjang Serat

Hubungan antara faktor fraksi volume serat dengan panjang serat dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



Gambar 5.8 Grafik kekuatan tarik berdasarkan interaksi faktor perlakuan alkali, fraksi volume dan panjang serat

Hasil uji ANOVA untuk interaksi faktor perlakuan alkali, fraksi volume serat dan panjang serat menunjukkan bahwa terjadi interaksi diantara ketiganya. Pada Gambar 5.8 pola kenaikan data maupun penurunan kekuatan tarik hampir serupa. akan tetapi kenaikan maupun penurunan kekuatan tarik tidak sama persis antar ketiga faktor, sehingga dapat dikatakan terjadi interaksi antara faktor perlakuan alkali dengan fraksi volume serat dan panjang serat.

Analisis Permukaan Patah Uji Tarik

Pengamatan permukaan patah uji tarik skin komposit dilakukan melalui pengamatan secara visual. Hal ini bertujuan untuk mengamati patahan dan kondisi ikatan komposit. Gambar 5.9 menunjukkan permukaan patah pada *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu tanpa perlakuan alkali.



Gambar 5.9 Permukaan patah pada skin komposit tanpa perlakuan alkali

commit to user

Jenis patahan pada permukaan spesimen komposit pada Gambar 5.9 tersebut adalah *fiber pull out* yang ditandai dengan keluarnya serat tebu pada permukaan patahan. *Fiber pull out* dapat terjadi karena kekuatan matrik mengikat serat lebih rendah dibanding kekuatan serat itu sendiri. Jika matrik dapat mengikat serat dengan kuat melebihi kekuatan serat, maka jenis patahan yang terbentuk adalah *fiber break* yang ditandai dengan patahnya serat pada permukaan patahan (Hosford, 2005).

Permukaan patah pada *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu dengan perlakuan alkali dengan 5% NaOH tidak menimbulkan patahan jenis *fiber pull out*, hal ini menandakan bahwa perlakuan alkali dapat meningkatkan ikatan antara serat dengan matrik sehingga *fiber pull out* tidak terjadi pada *skin* komposit dengan perlakuan alkali. Pada perendaman alkali selama 30 menit, jenis patahan yang terjadi bukan jenis patahan *fiber pull out*, pada perendaman alkali 30 menit memberikan kekuatan tarik tertinggi. Berdasarkan jenis patahan dapat dilihat bahwa matriks dapat mengikat serat dengan baik setelah dilakukan perendaman dengan 5 % NaOH selama 30 menit, sehingga patahan yang terjadi pada permukaan merupakan patahnya matriks dan serat secara bersama-sama. Gambar 5.10 menunjukkan permukaan patahan pada *skin* komposit yang mengalami perlakuan alkali.



Gambar 5.10 Permukaan patah pada skin komposit dengan perlakuan alkali

5.2 ANALISIS PROSES PEMBUATAN SPESIMEN

Data hasil pengujian kekuatan tarik dengan replikasi sebanyak tiga kali dalam satu perlakuan yang sama memiliki nilai yang bervariasi. Variasi data tersebut disebabkan proses pembuatan spesimen *skin* komposit *sandwich* dilakukan secara manual, mulai dari tahap pemotongan/panjang serat tebu, pencampuran bahan

(serat tebu, resin, serta katalis), sampai dengan tahap pencetakan spesimen. Pembuatan spesimen secara manual ini berpotensi menimbulkan variabel-variabel *error* yang sebenarnya tidak ingin diikutsertakan dalam penelitian ini. Berikut adalah beberapa proses yang berpotensi menimbulkan variasi data dalam satu perlakuan:

1. Pemotongan serat tebu sepanjang 20 mm, 40 mm, dan 60 mm dilakukan secara manual dengan menggunakan gunting. Karena proses pemotongan dilakukan secara manual, maka hasil potongan serat tidak semuanya memiliki dimensi panjang yang sama. Secara teoritis komposit yang menggunakan serat panjang akan memberikan nilai penguatan yang lebih efisien dan seragam dibanding serat pendek dikarenakan beban yang terjadi disalurkan secara merata sepanjang serat (Schwart, 1984). Selain itu diameter serat tebu juga tidak seragam karena serat tebu merupakan serat alam dimana dimensinya cenderung beragam. Diameter serat tebu berbeda-beda meskipun berasal dari satu batang tebu. Ukuran serat dapat mempengaruhi kekuatan komposit. Panjang serat kritis dipengaruhi oleh kekuatan dan diameter serat serta kekuatan ikatan serat dengan matriks (Callister, 2007).
2. Pada proses memasukkan campuran serat dan resin ke dalam cetakan, sangat sulit untuk mengatur dan menjaga agar distribusi serat tebu merata dalam cetakan. Distribusi serat yang kurang merata sebelum dicetak akan mempengaruhi hasil pengujian kekuatan tarik. Penyusunan/orientasi serat, konsentrasi serat, dan distribusi serat berpengaruh signifikan terhadap kekuatan komposit berpenguat serat. Keseluruhan sifat mekanis komposit lebih baik ketika distribusi serat homogen (Callister, 2007).
3. Proses pencampuran resin dan katalis, campuran katalis yang digunakan pada proses pembuatan komposit ini adalah 1% dari berat resin. Karena katalis yang digunakan sangat sedikit, sehingga sulit untuk menimbang katalis yang akan digunakan. Selain itu pencampuran resin dan katalis dilakukan secara manual, pencampuran secara manual dapat mengakibatkan adanya gelembung-gelembung udara yang nantinya akan menyebabkan terjadinya *void* pada spesimen yang akan mempengaruhi kekuatan tarik. Selain itu *void* terjadi juga karena proses pencetakan skin komposit yang dilakukan dengan

pemberian beban secara manual pada cetakan kaca. Pembentukan *void* merupakan mode kegagalan tarik dominan dalam komposit, pengurangan jumlah *void*/rongga ini akan menambah luas permukaan komposit yang mampu mentransfer beban, sehingga kekuatan tarik komposit semakin meningkat (Smallman, dkk., 2000).



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan yang diperoleh berdasar pengolahan data dan pembahasan mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu, serta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut. Penjelasan dari kesimpulan dan saran tersebut diuraikan pada subbab berikut ini.

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketiga faktor dalam penelitian ini yaitu perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu. Interaksi antar faktor (perlakuan alkali dengan fraksi volume serat, perlakuan alkali dengan panjang serat, fraksi volume serat dan panjang serat, serta interaksi antara perlakuan alkali, fraksi volume serat, dan panjang serat) mempengaruhi kekuatan tarik *skin* komposit *sandwich* berbahan dasar serat tebu.
2. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen komposit dengan kombinasi faktor perlakuan alkali selama 30 menit, fraksi volume serat 40%, dan panjang serat 60 mm dan hasil kekuatan tarik tersebut telah memenuhi standar minimal kekuatan tarik papan serat menurut SNI 01-4449-2006.

6.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian untuk langkah pengembangan atau penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan *core* komposit sehingga menjadi struktur komposit *sandwich* yang utuh.