

**KOMPOSIT TENUNAN SERAT SUTRA SEBAGAI
MATERIAL ALTERNATIF**

***SILK FIBER WOVEN COMPOSITE AS
ALTERNATIVE MATERIALS***



MUHAMMAD YUSUF ALI

D043182001

PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



**KOMPOSIT TENUNAN SERAT SUTRA SEBAGAI
MATERIAL ALTERNATIF**

MUHAMMAD YUSUF ALI

D043182001



PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

PENGAJUAN DISERTASI

**KOMPOSIT TENUNAN SERAT SUTRA
SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF**

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Program Studi Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

ttd

MUHAMMAD YUSUF ALI

D043182001

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Komposit Tenunan Serat Sutera Sebagai Material Alternatif
Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD YUSUF ALI
NIM D043182001

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian
Studi Program Doktor Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 25 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Promotor



Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, M.T
NIP.196506301991031004

Co-promotor 1



Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T
NIP.197707072005011001

Co-promotor 2



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T.
NIP.197404151999031001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,
S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng.
NIP.197309262000121002

Ketua Program Studi
S3 Teknik Mesin



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc.
NIP.197602162010121002

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, Disertasi berjudul “Komposit Tenunan Serat Sutra Sebagai Material Alternatif” adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT, Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT, Dr.Eng Lukmanul Hakim Arma, ST.MT Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 26 Oktober 2024



Muhammad Yusuf Ali
NIM. D043182001

Ucapan Terima Kasih

Puji Syukur kehadirat Allah Azza Wa Jallah atas izin dan ridhonya saya ucapkan karena atas berkah rahmatnya jumlah penulisan disertasi yang berjudul “Komposit Tenunan Serat Sutra Sebagai Material Alternatif” ini dapat saya selesaikan meski dengan serba keterbatasan dan kelemahan yang ada.

Dengan selesainya penulisan disertasi ini, ucapan terimakasih kami haturkan serta penghargaan yang setinggi-tingginya saya ucapkan khusus kepada terhormat promotor saya Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar MT. Yang dengan segala kesibuykan beliau telah banyak memberikan waktu dalam konsultasi dalam rangka bimbingan dan arahan, bahkan telah banyak motivasi saya baik dalam rangka penulisan disertasi maupun selama dalam proses pendalaman keilmuan program studi doktor ini. Demikian pula ucapan yang sama saya sampaikan kepada Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT, sebagai KoPromotor 1 dan Dr.Eng Lukmanul Hakim Arma, ST.MT sebagai Ko Promotor 2 atas bimbingan dan arahannya. Selanjutnya ucapan terima kasih sebesar-besarnya Ketua Program studi S3 Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin dan sekretaris departemen Teknik Mesin beserta seluruh staf tenaga penunjang akademik departemen Teknik Mesin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Beserta jajarannya. Teman-teman sejawat para mahasiswa Program Doktor Departemen Teknik Mesin yang telah membantu dalam mendukung penelitian kami. Begitupun kami ucapkan terima kasih kepada seluruh rekan sejawat Universitas Fajar Makassar terkhusus kedua orang tua dan kedua mertua kami yang tercinta saya mengucapkan limpah terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada isteri tercinta beserta kelima anak-anak kami dan seluruh keluarga kakak/adik dan seluruh ipar dan keluarganya atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada :

1. Prof. Dr.Ir. Ilyas Renreng, MT., Dr. Hairul Arsyad ST., MT, Dr.Eng, Andi Amijoyo Mochtar, ST.,MT, Azwar Hayat, ST.,MT.,Ph.D sebagai Tim penguji kami yang selalu memberikan masukan dan motivasi dalam pembuatan disertasi kami.
2. Rektor Universitas Hasanuddin
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT., Selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Fauzan, ST.,MT.,Ph.D. Selaku Sekretaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Dr.Eng, Andi Amijoyo Mochtar, ST.,MT, Selaku ketua program studi S3 Teknik Mesin Deparytemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Harapan dan doa menyertai kehadiran disertasi ini dengan segala keterbatasan yg ada. Semoga dapat memberi manfaat dan sumbangsi bagi pengembangan keilmuan khususnya ilmu keteknik mesinan dibidang material komposit. Semoga Allah SWT selalu memberikan berkah dan hidayahnya dalam kehidupan kita. Amiin.

Penulis,

Muhamammad Yusuf Ali

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan komposit berbasis serat sutra yang diperkuat resin epoxy, dengan fokus pada pengaruh variasi motif, kualitas tenunan, dan pewarnaan serat terhadap sifat mekanis komposit. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap yang mencakup pengujian kekuatan tarik, sobek, jebol, bending, dan dampak pada berbagai variasi tenunan serat sutra. Pada tahap pertama, penelitian difokuskan pada karakterisasi kekuatan tarik dan mulur tenunan serat sutra asli dan imitasi. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa tenunan serat sutra 100% motif A memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 41,73 MPa dan regangan sebesar 7,34%, sementara serat imitasi 100% memiliki kekuatan tarik lebih rendah meskipun elastisitasnya tinggi. Serat campuran 50% menunjukkan performa yang lebih rendah dengan variabilitas hasil yang lebih besar, menandakan bahwa serat sutra asli memiliki kekuatan tarik dan elastisitas yang lebih unggul. Pada tahap kedua, penelitian difokuskan pada kekuatan sobek dan jebol tenunan serat sutra. Tenunan serat sutra 100% motif B menunjukkan kekuatan sobek tertinggi sebesar 6735,42 Joule/m² pada arah pakan, sementara tenunan serat sutra 100% motif A mencapai nilai 4031,84 Joule/m², lebih rendah daripada motif B. Selain itu, kekuatan sobek serat imitasi 100% lebih tinggi dibandingkan campuran 50%, menunjukkan pentingnya kandungan serat dalam menentukan kekuatan mekanik. Pada tahap ketiga, pengujian fokus pada pengaruh variasi motif dan kualitas serat terhadap kekuatan mekanis komposit. Motif B (3 corak warna) menghasilkan performa mekanis tertinggi, dengan nilai uji tarik sebesar 41,73 MPa, uji bending sebesar 90,52 MPa, dan uji dampak sebesar 6735,42 Joule/m². Namun, motif C (4 corak warna) menunjukkan penurunan performa mekanis, dengan kekuatan tarik sebesar 40,12 MPa dan regangan 5,99%, disebabkan oleh pewarnaan yang berlebihan yang mempengaruhi interaksi serat dengan resin. Serat sutra asli (100%) menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik, bending, dan dampak lebih tinggi dibandingkan dengan serat imitasi dan campuran. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa serat sutra asli dan motif yang optimal dapat menghasilkan komposit dengan sifat mekanis unggul, sedangkan pewarnaan berlebihan dapat menurunkan kekuatan mekanis serat. Penggunaan serat sutra dalam komposit memiliki potensi besar untuk aplikasi teknik yang membutuhkan material ramah lingkungan, ringan, dan kuat. Namun, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kelembaban, pewarnaan, dan modifikasi serat untuk meningkatkan kinerja dan daya tahan komposit di lingkungan yang lebih luas.

Kata Kunci: Komposit, Sutra, Tenunan serat sutra, Material alternatif, Serat sintetik

ABSTRACT

This research aims to develop a silk fiber-based composite reinforced with epoxy resin, focusing on the influence of motif variation, weave quality, and fiber coloring on the mechanical properties of the composite. The research was carried out in three stages, which included testing the tensile strength, tear, break, bending, and impact on various variations of silk woven fibers. In the first stage, the research was focused on characterizing the tensile and creep strength of original and imitation silk woven fibers. The results of the tensile test show that 100% silk woven fiber pattern A has the highest tensile strength of 41.73 MPa and strain of 7.34%, while 100% imitation fiber has a lower tensile strength despite its high elasticity. 50% blended fibers exhibit lower performance with greater yield variability, signaling that the original silk fibers have superior tensile strength and elasticity. In the second stage, the research focused on the tear and breakdown strength of silk woven fibers. 100% silk woven fiber pattern B shows the highest tear strength of 6735.42 Joule/m² in the weft direction, while 100% silk woven fiber pattern A reaches a value of 4031.84 Joule/m², lower than pattern B. In addition, the tear strength of 100% imitation fiber is higher than that of 50% blend, indicating the importance of fiber content in determining mechanical strength. In the third stage, the test focuses on the influence of pattern variation and fiber quality on the mechanical strength of the composite. Pattern B (3 color patterns) produced the highest mechanical performance, with a tensile test value of 41.73 MPa, a bending test of 90.52 MPa, and an impact test of 6735.42 Joule/m². However, the C pattern (4 shades) showed a decrease in mechanical performance, with a tensile strength of 40.12 MPa and a strain of 5.99%, caused by excessive staining that affected the interaction of the fibers with the resin. Natural silk fibers (100%) produce composites with higher tensile, bending, and impact strengths compared to imitation and blended fibers. The conclusion of this study is that original silk fibers and optimal motifs can produce composites with superior mechanical properties, while over-staining can decrease the mechanical strength of the fibers. The use of silk fibers in composites has great potential for engineering applications that require environmentally friendly, lightweight, and strong materials. However, more research is needed regarding the effects of moisture, staining, and modification of fibers to improve the performance and durability of composites in a wider environment.

Keywords: Composite, Silk, Silk fiber woven, Alternative materials, Synthetic fibers

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN DISERTASI	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
Ucapan Terima Kasih.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Kebaruan / Novelty Penelitian	6
BAB 2 KERANGKA KONSEPTUAL	8
2.1 Serat Sutra	8
2.2 Karakterisasi morfologi kain sutra.....	10
2.3 Karakteristik fisik kain sutra	11
2.4 Sifat Khas Serat Sutra	12
2.5 Sifat fisik Serat Sutra	13
2.6 Serat Alam.....	15

2.7	Komposit.....	17
2.8	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Komposit.....	19
2.9	Serat Sintetik	21
2.10	Resin	23
2.11	Resin <i>Epoxy</i>	24
2.12	Katalis.....	26
2.13	Pengujian Sifat Mekanik	27
2.14	Jenis Tenunan	37
2.15	Pengertian SEM (Scanning Electron Microscope).....	40
2.16	FTIR.....	43
2.17	Proses Serapan Inframerah.....	44
2.18	Kegunaan Spektrum Inframerah.....	45
BAB III PENELITIAN TOPIK 1 SIFAT TARIK DAN MULUR TENUNAN SUTRA		
UNTUK APLIKASI MATERIAL KOMPOSIT		
3.1	Abstrak	46
3.2	Pendahuluan.....	46
3.3	Metode.....	55
3.4	Sampel dan Populasi.....	56
3.5	Instrumen.....	56
3.6	Hasil.....	57
3.7	Kesimpulan.....	62
DAFTAR PUSTAKA		63

BAB IV PENELITIAN TOPIK 2 KEKUATAN SOBEK DAN JEBOL TENUNAN	
SUTRA UNTUK APLIKASI MATERIAL KOMPOSIT	66
4.1 Abstrak	66
4.2 Pendahuluan.....	67
4.3 Metode.....	71
4.4 Hasil.....	75
4.5 Kesimpulan.....	83
DAFTAR PUSTAKA	85
BAB V PENELITIAN TOPIK 3 ANALISIS KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT	
DIPERKUAT TENUNAN SUTRA DENGAN MATRIKS EPOXY RESIN	
5.1 Abstrak	89
5.2 Pendahuluan.....	90
5.3 Hasil.....	90
5.4 Kesimpulan.....	144
DAFTAR PUSTAKA	145
BAB VI PEMBAHASAN UMUM.....	149
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....	157
DAFTAR PUSTAKA	160

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Strength elongation curves of silk fibers. (Padaki dkk., 2015)	9
Gambar 2. 2 Serat sutra (Giuliano, 2003).	10
Gambar 2. 3 a. Benang lusi, b-c. Benang pakan. (Giuliano, 2003).	11
Gambar 2. 4 Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matriks (Haryanti, 2017).....	18
Gambar 2. 5 Kurva-tegangan regangan. (Syamsuddin, 2021).....	28
Gambar 2. 6 ASTM D-638-1	30
Gambar 2. 7. Penampang Uji Bending (Standart ASTM D 790-02)	35
Gambar 2. 8. Silang Polos (Nanang, 2016).....	38
Gambar 2. 9. Silang Kepar (Nanang,2016).....	39
Gambar 2. 10. Silang Satin (Nanang, 2016).	40
Gambar 2. 11. Hasil mikroskop cahaya dan elektron.....	41
Gambar 2. 12. Deteksi sinyal yang dihasilkan SEM.....	42
Gambar 2. 13. Proses penelitian dengan menggunakan alat SEM Sumber (Humayatul Ummah. 2015)	43
Gambar 3. 1 Kokon	47
Gambar 3. 2 Kain Tenunan Sutra	49
Gambar 3. 3 1. Lusi 2. Pakan.....	50
Gambar 3. 4 Grafik perbandingan Tegangan tarik kualitas tenunan serat sutra	51
Gambar 3. 5 Grafik perbandingan regangan motif tenunan serat sutra a	53
Gambar 3. 6 Desain Penelitian	55
Gambar 3. 7 Type 168 E test equipment brand MESDAN LAB S.p.a.	57

Gambar 3. 8 Perbandingan antara variasi jenis warna dengan kekuatan tarik serat tenun sutra, pakan dan lusi	59
Gambar 3. 9 Perbandingan antara variasi jenis warna dengan kekuatan mulur, serat tenun sutra, pakan dan lusi	59
Gambar 3. 10 Perbandingan antara jenis kualitas dengan kekuatan tarik serat tenun sutra, pakan dan lusi	61
Gambar 3. 11 Perbandingan antara jenis kualitas dengan kekuatan mulur serat tenun sutra, pakan dan lusi	62
Gambar 4. 1 Desain Penelitian	71
Gambar 4. 2 Dimensi sampel SNI 13937-1-2010.....	72
Gambar 4. 3 Alat Pengujian Sobek Elmendorf 2000	74
Gambar 4. 4 Perbandingan kekuatan sobek dan variasi warna dengan tenunan lusi dan pakan	77
Gambar 4. 5 Perbandingan kekuatan sobek dan variasi kualitas tenunan serat sutra dengan arah tenunan lusi dan pakan	79
Gambar 4. 6 Grafik Kekuatan jebol serat tenun sutra dengan variasi jenis warna ..	81
Gambar 4. 7 Grafik kekuatan jebol tenunan serat sutra dengan variasi kualitas.....	83
Gambar 5. 1 Grafik hubungan antara kekuatan tarik dengan jenis motif.....	91
Gambar 5. 2 Grafik hubungan antara regangan Tarik komposit serat sutra dengan jenis motif	93
Gambar 5. 3 Grafik hubungan antara kekuatan bending dengan jenis motif.....	95
Gambar 5. 4 Grafik hubungan antara regangan bending dengan jenis motif.....	96
Gambar 5. 5 Grafik hubungan antara kekuatan impak dengan jenis motif.....	98

Gambar 5. 6 Grafik perbandingan kekuatan tarik terhadap kualitas tenunan serat sutra	101
Gambar 5. 7 Grafik perbandingan regangan tarik terhadap kualitas tenunan serat sutra	102
Gambar 5. 8 Grafik perbandingan kekuatan bending terhadap kualitas tenunan serat sutra	103
Gambar 5. 9 Grafik perbandingan regangan bending terhadap kualitas tenunan serat sutra	104
Gambar 5. 10 Grafik perbandingan kekuatan terhadap kualitas tenunan serat sutra	106
Gambar 5. 11 Grafik perbandingan kekuatan tarik serat komposit terhadap variasi arah serat	108
Gambar 5. 12 Grafik perbandingan regangan tarik serat komposit terhadap variasi arah serat	109
Gambar 5. 13 Grafik perbandingan tegangan bending serat komposit tenunan sutra terhadap variasi arah serat.....	112
Gambar 5. 14 Grafik perbandingan regangan bending serat komposit tenunan sutra terhadap variasi arah serat.....	113
Gambar 5. 15 Grafik perbandingan kekuatan impak serat komposit tenunan sutra terhadap variasi arah serat.....	116
Gambar 5. 16 Response table hasil Analisa Taguchi nilai kekuatan tarik terhadap arah serat dan motif	117
Gambar 5. 17 Hubungan antara faktor dengan respon pada nilai kekuatan tarik .	119

Gambar 5. 18 Analysis of Variance pada hasil uji tarik terhadap faktor arah serat dan motif	120
Gambar 5. 19 Response table hasil Analisa Taguchi nilai kekuatan bending terhadap arah serat dan motif	121
Gambar 5. 20 Hubungan antara faktor dengan respon pada nilai kekuatan bending	122
Gambar 5. 21 Analysis of Variance pada hasil uji bending terhadap faktor arah serat dan motif	123
Gambar 5. 22 Response table hasil Analisa Taguchi nilai kekuatan bending terhadap arah serat dan motif	124
Gambar 5. 23 Hubungan antara faktor dengan respon pada nilai kekuatan impak	125
Gambar 5. 24 Analysis of Variance pada hasil uji impak terhadap faktor arah serat dan motif	127
Gambar 5. 25 FTIR kualitas serat komposit tenunan sutra	129
Gambar 5. 26 FTIR motif tenunan serat sutra sutra	131
Gambar 5. 27 SEM (Scanning Electron Microscopy) maksimum pada sutra motif C	134
Gambar 5. 28 SEM (Scanning Electron Microscopy) maksimum pada sutra motif B	135
Gambar 5. 29 SEM (Scanning Electron Microscopy) maksimum pada sutra motif A	135

Gambar 5. 30 SEM (Scanning Electron Microscopy) maksimum pada sutra kimitasi 50%	136
Gambar 5. 31 SEM (Scanning Electron Microscopy) maksimum pada sutra imitasi 100%	136
Gambar 5. 32 SEM (Scanning Electron Microscopy) minimum pada sutra motif C	138
Gambar 5. 33 SEM (Scanning Electron Microscopy) minimum pada sutra motif B	139
Gambar 5. 34 SEM (Scanning Electron Microscopy) minimum pada sutra motif A	140
Gambar 5. 35 SEM (Scanning Electron Microscopy) minimum pada sutra imitasi 50 %	140
Gambar 5. 36 SEM (Scanning Electron Microscopy) minimum pada sutra imitasi 100 %	141
Gambar 5. 37 Gambar foto makro arah lusi dan pakan pada tenunan serat sutra	142

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Physical properties of silk fibers (Padaki dkk,2015).	12
Tabel 2. 2 Sifat khas serat sutra (Mazharul,2021).....	13
Tabel 2. 3 Sifat mekanik beberapa serat (Shubra et al., 2013)	16
Tabel 2. 4. Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638-I dan toleransi	31
Tabel 3. 1 Tabel uji tarik serat tunggal benang sutra	51
Tabel 3. 2 Tabel data uji tarik serat tunggal jenis motif warna.....	53
Tabel 3. 3 Hasil uji tarik dan uji mulur serat tenunan berdasarkan warna dengan arah pakan dan lusi.	57
Tabel 3. 4 Hasil uji tarik dan uji mulur serat tenunan berdasarkan kualitas serat sutra dengan arah pakan dan lusi.	60
Tabel 4. 1 Hasil kekuatan uji sobek tenunan serat sutra 100% dengan variasi A, B, dan C.....	75
Tabel 4. 2 Hasil kekuatan uji sobek tenunan serat sutra dengan variasi kualitas....	78
Tabel 4. 3 Data Kekuatan Jebol tenunan serat sutra dengan variasi warna	80
Tabel 4. 4 Data kekuatan jebol tenunan serat sutra dengan variasi kualitas.....	82
Tabel 4. 5. tabel korelasi antara jenis vibrasi gugus fungsional dan frekuensi pada komposit tersebut;	132
Tabel 5. 1 Hasil data uji tarik komposit tenunan sutra dengan 3 motif	91
Tabel 5. 2 Hasil data uji bending komposit tenunan sutra dengan 3 motif	95
Tabel 5. 3 Hasil data uji impak komposit tenunan sutra dengan 3 motif	97
Tabel 5. 4 hasil data uji tarik kuliatas sutra.....	101
Tabel 5. 5 Uji bending pada komposit tenunan kualitas serat	103

Tabel 5. 6 hasil data uji impak kuliatas sutra.....	105
Tabel 5. 7 Hasil data uji tarik variasi arah (90/60/45)	107
Tabel 5. 8 Hasil data uji tarik tanpa variasi arah (90/90/90)	108
Tabel 5. 9 Hasil data uji bending variasi arah (90/60/45)	111
Tabel 5. 10 Hasil data uji bending tanpa variasi arah (90/90/90)	111
Tabel 5. 11 Hasil data uji impak variasi arah (90/60/45).....	115
Tabel 5. 12 Hasil data uji impak tanpa variasi arah (90/90/90).....	115
Tabel 5. 13 tabel korelasi antara jenis vibrasi gugus fungsional dan frekuensi pada komposit tersebut;	130

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada Dunia yang modern ini penggunaan material komposit mulai banyak dikembangkan dalam dunia industri manufaktur. Penggunaan material komposit yang ramah lingkungan dan bisa didaur ulang kembali yang merupakan tuntutan teknologi saat ini. Salah satu material komposit yang diharapkan di dunia industri yaitu material komposit dengan material pengisi (*filler*) baik yang berupa serat alami maupun serat buatan. Pada dasarnya material komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda menjadi suatu bentuk unit mikroskopik, yang terbuat dari bermacam-macam kombinasi sifat atau gabungan antara serat dan matrik. Saat ini bahan komposit yang diperkuat dengan serat merupakan bahan teknik yang banyak digunakan karena kekuatan dan kekakuan spesifik yang jauh di atas bahan teknik pada umumnya, sehingga sifatnya dapat didesain mendekati kebutuhan (Bhoopathi et al., 2014)

Serat merupakan salah satu bahan komposit yang menjadi perhatian. Di tengah meningkatnya kesadaran global dan dorongan untuk produk ramah lingkungan, kebutuhan untuk mencari bahan alternatif yang layak untuk serat sintetis telah meningkat. Dengan demikian, serat berbasis hewan alami dipandang sebagai alternatif yang sangat baik. Modifikasi serat alami untuk

menyaingi kinerja mekanik serat sintetis telah diteliti oleh banyak penelitian dan memperlihtakan hasil yang cukup berbanding dalam hal kekuatan.

Peningkatan pemahaman masyarakat terhadap kondisi lingkungan menyebabkan perhatian terhadap penggunaan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Salah satunya adalah serat alam yang memiliki potensi untuk berbagai aplikasi. Serat alam sebagai penguat material komposit telah mendapatkan perhatian dalam beberapa dekade terakhir. Serat ini diharapkan dapat menggantikan serat sintetis (serat gelas, serat aramid dan serat karbon) karena serat sintetis susah terdegradasi dan memerlukan energi yang besar dalam pembuatannya. Serat alam memiliki keunggulan dalam kekuatan spesifiknya, lebih ringan, mudah terdegradasi di alam dan ramah lingkungan (Mohanty dkk., 2001; Joshi dkk., 2004; Li dkk., 2008; Haque dkk., 2009). Di satu sisi serat alam memiliki beberapa kekurangan antara lain bentuk seratnya yang tidak seragam sepanjang serat dan dapat dipengaruhi oleh kelembaban udara.

Pengembangan serat yang keras berkekuatan tinggi, dan modulus yang baik telah menyebabkan penggunaan kain dan laminasi komposit yang sesuai untuk sejumlah aplikasi seperti penahanan bilah turbin, perlindungan badan pesawat, dan pelindung tubuh. Dari zaman dahulu manusia sudah menggunakan tekstil dan laminasi sebagai bahan pelindung tubuh dari penggunaan sabuk pada perisai yunani serta sutra berlapis di Jepang jaman dahulu

Komposit telah lama digunakan dalam dunia industri seperti otomotif, perkapalan, dirgantara, bahkan sampai pada kendaraan pelindung yang berbagai macam ancaman serangan dan ledakan. Bahan komposit cocok untuk peran ini karena kekakuan superior mereka dan kekuatan lebih yang dimiliki. Pemanfaatan material komposit memberikan efisiensi massa dengan peningkatan kemampuan bertahan untuk berbagai kendaraan tempur dan perangkat perlindungan.

Sutra atau sutera merupakan serat protein alami yang dapat ditenun menjadi tekstil. Jenis sutera yang paling umum adalah sutera dari kepompong yang dihasilkan larva ulat sutera murbei (*Bombyx mori*) yang ditenak (peternakan ulat itu disebut serikultur). Sutra memiliki tekstur mulus, lembut, namun tidak licin. Warna berkilauan yang menjadi daya tarik sutera berasal dari struktur seperti prisma segitiga dalam serat tersebut yang membuat kain sutera dapat membiaskan cahaya dari berbagai sudut.

Sutra secara tradisional sebagai serat tekstil profil tinggi dan telah populer digunakan dalam biomaterial, perangkat elektronik dan optik, serta untuk komposit struktural (Perrone dkk (2014), Hopkins dkk (2013)). Mirip dengan kebanyakan bahan alami, morfologi struktural serat sutera alami bersifat hierarkis, dengan makro mekanismenya yang berasal dari nano-fibrillar dan semi-kristal nano struktur

Serat kepompong ulat sutera (*Bombyx mori* L) memiliki kandungan fibroin yang menjadikan kekuatan mekanis serat cukup tinggi. Ini adalah salah satu

serat terkuat yang diproduksi di alam, kekuatan spesifik cukup tinggi dan kekakuan spesifik juga tinggi dan sangat elastis. Penelitian sebelumnya oleh Bledzki et al. [1999], Craven et al. [2000], dan Perez-Rigueriro et al. [2000] menunjukkan bahwa sutra *B. mori* lebih baik dari Kevlar atau baja dalam hal perpanjangan saat gagal. Memiliki kapasitas yang baik untuk menyerap energi dan membuang energi dalam waktu yang sangat lama seperti sutra berubah bentuk (Rigueriro et al. 2000). Oleh Karena itu, hubungan antar serat dalam komposit kain tenun yang mencegah pertumbuhan kerusakan memberikan peningkatan kekuatan mekanik khususnya ketangguhan impact serta peningkatan resistensi terhadap dampak yang diharapkan.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan untuk menganalisis dan mempelajari pengaruh aplikasi berkekuatan tinggi pada beberapa aplikasi pada komposit serat sutra dan epoksi, Kelvin Loh and Willy Tan.,(2011) dari hasil penelitiannya dengan bertambahnya volume serat sutra kekuatan lentur dan modulus lentur komposit sutra meningkat dan dengan bertambahnya persentase volume serat sutra, kekuatan lentur rata-rata dan modulus lentur komposit sutra meningkat. Namun, kedua sifat tersebut memuncak pada titik di mana sekitar 33% serat sutra ditambahkan ke dalam komposit. Hal ini menunjukkan bahwa persentase penguatan optimum hampir tercapai. Alasan bahwa kekuatan komposit mulai menurun pada fraksi volume serat yang tinggi dapat dikaitkan dengan kekurangan resin untuk membasahi semua serat dalam komposit karena lebih banyak serat yang ditambahkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka akan dikembangkan penelitian dengan Judul “ **Komposit Tenunan Sutra Sebagai Material Alternatif** ”. Selanjutnya, akan dilakukan pengujian mekanis serta morfologi dan akan dianalisis dan diidentifikasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, dari beberapa penelitian sebelumnya, maka peneliti akan merumuskan beberapa permasalahan terkait dengan penelitian yang akan dilakukan:

1. Sejah mana pengaruh sifat tarik dan mulur tenunan sutra untuk aplikasi material komposit?
2. Sejah mana pengaruh kekuatan sobek dan jebol tenunan sutra untuk aplikasi material komposit?
3. Sejah mana pengaruh kekuatan mekanis komposit diperkuat tenunan sutra dengan matriks epoxy resin?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai di dalam melakukan penelitian ini adalah hasil rumusan di atas, adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui sejah mana pengaruh sifat tarik dan mulur tenunan sutra untuk aplikasi material komposit.

2. Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kekuatan sobek dan jebol tenunan sutra untuk aplikasi material komposit.
3. Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kekuatan mekanis komposit diperkuat tenunan sutra dengan matriks epoxy resin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan pengetahuan baru dalam rekayasa serat tenunan alam (serat sutra) sebagai penguat polimer komposit.
2. Menunjang perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bahan di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya untuk aplikasi bahan teknik.

1.5 Kebaruan / Novelty Penelitian

Unsur kebaruan yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

1. Penguatan dan improvisasi pada perlakuan serat dan jenis kualitas serat dan material komposit dengan berbasis serat sutra, sehingga menghasilkan material komposit dengan sifat yang lebih baik.
2. Memberikan rekomendasi kriteria material komposit serat sutra yang terbaik dalam proses pengujian yang dilakukan melalui uji mekanik yaitu uji tarik, uji bending, uji impak

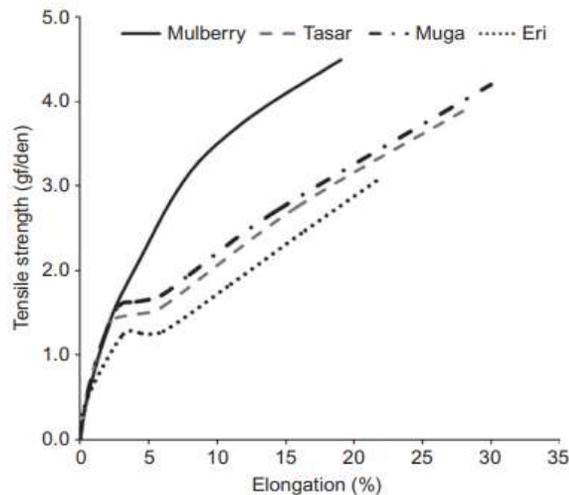
3. Memperoleh parameter alternatif panel yang sesuai dan tepat terhadap material komposit yang diperkuat serat sutra pada pengujian tembak yang dilakukan.

BAB II KERANGKA KONSEPTUAL

2.1 Serat Sutra

Sutra adalah satu-satunya serat alami yang tersedia dalam bentuk filamen, ditambah dengan keuletan, sutra memiliki keunggulan yang tak tertandingi sebagai serat yang nyaman dengan daya tahan yang kuat. (Mazharul, 2021). Kain sutra merupakan salah satu kearifan lokal yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi, selain itu jika diberi pewarna, kain sutra ini cukup mudah untuk menyerap. Kerajinan kain sutra telah menjadi kearifan lokal khususnya di daerah Sulawesi Selatan yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Sulawesi Selatan merupakan produsen sutra utama, yaitu 80 % dari total produksi nasional (Nuraeni, 2017).

Sutra yang mengalami degumming hampir sepenuhnya bebas dari endapan asing dan menunjukkan keberadaannya lurik memanjang yang berbeda, dengan ketebalan 0,4-1 μm . Karakteristik ini umum terjadi pada filamen sutra liar lainnya, yang memiliki kontras yang mencolok dengan penampilan halus dari sutra *bomby x mory* dan tingkat kilau tekstil yang lebih rendah produk yang dibuat dari sutra liar. (Guliano et al, 1994).

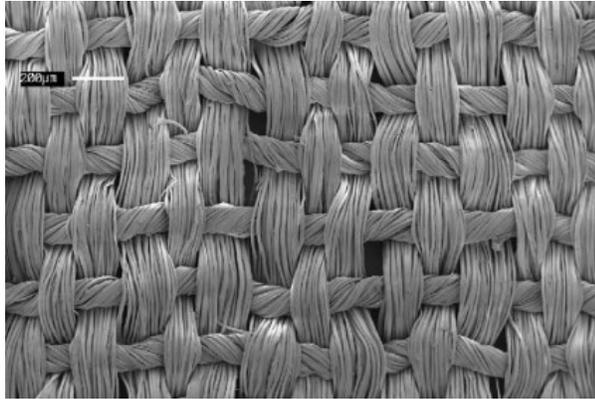


Gambar 2. 1 Kurva kekuatan serat sutra. (Padaki dkk., 2015)

Dari hasil penelitian (Padaki dkk, 2015) kurva pemanjangan kekuatan yang umum untuk serat murbei, tasar, muga, dan eri serat sutra disajikan pada Gambar 2.1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sutra liar memiliki pemanjangan yang lebih baik dibandingkan dengan sutra murbei. Eri memiliki kekuatan tarik dan modulus yang paling rendah diantara serat sutra, sedangkan murbei memiliki modulus dan kekuatan tertinggi.

Serat sutra muga dan tasar jauh lebih kuat daripada serat sutra murbei karena kemampuannya untuk diperpanjang. Secara reologi, serat sutra menunjukkan ketahanan yang baik terhadap mulur primer dan sekunder, dengan daya mulur yang rendah, tetapi pemulihan sesaat selalu lebih rendah daripada pemanjangan sesaat. Secara keseluruhan, serat sutra memiliki pemulihan elastisitas yang sangat baik. (Padaki dkk., 2015).

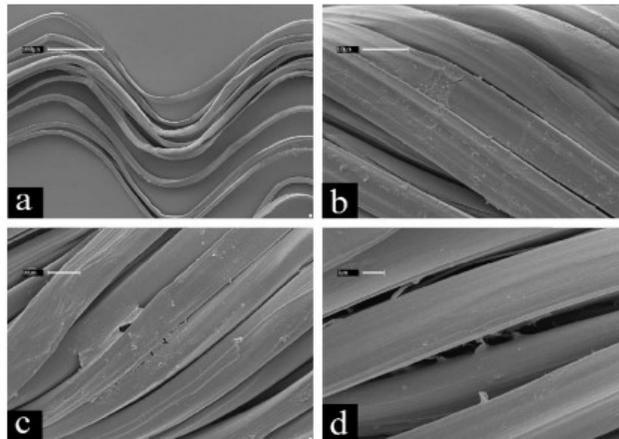
2.2 Karakterisasi morfologi kain sutra



Gambar 2. 2 Serat sutra (Giuliano, 2003).

Morfologi permukaan kain sutra setelah degumming standar (proses pemurnian) dan enzimatis ditunjukkan pada Gambar 2.2 di atas. Penghilangan serisin (protein globular yang berasal dari kepompong ulat sutra dan merupakan bagian dari serat sutra) menghasilkan pemisahan filamen sutra individu, yang direkatkan bersama oleh serisin dan zat pengatur ukuran pada kain mentah. Gambar 2.3 merupakan detail dari Gambar 2.2. yang terdiri dari benang lusi dan benang pakan. Volume benang meningkat, terutama untuk benang lusi yang tidak dipintal, sementara benang pakan menyusut karena jumlah lilitan yang tinggi. Hal ini memberikan tekstur yang lebih padat pada kain dan permukaan kasar yang khas kain sutra. Penampilan yang kusam dan pegangan yang kaku dari kain mentah menghilang, dan kain yang telah dihilangkan kelembutannya menjadi berkilau, lembut, dan halus.

Dengan membandingkan kain yang dihilangkan lemaknya dengan metode degumming standar dan enzimatik, menunjukkan permukaan yang lebih rata, sebagian besar disebabkan oleh penyusutan yang tidak sempurna pada benang pakan, yang tampak lebih lurus dan lebih tipis dibandingkan dengan kain referensi. Pemeriksaan SEM yang lebih dekat dari benang lungsin menunjukkan bahwa masing-masing filamen sutra terpisah dan permukaannya bersih dan bebas dari serisin (Gambar 2.3.a). Di sisi lain, benang pakan masih menunjukkan adanya residu serisin (Gambar 2.3.b-d). Dapat dilihat bahwa endapan-endapan tersebut sebagian besar berada pada titik-titik persilangan antara benang lungsin dan benang pakan atau di bagian yang lebih internal dari benang pakan. (Giuliano, 2003).



Gambar 2. 3 a.Benang lusi, b-c. Benang pakan. (Giuliano, 2003).

2.3 Karakteristik fisik kain sutra

Karakteristik fisik yang penting dari sutra adalah filamen sutra panjang, kehalusan serat, dan kepadatan serat. Filamen sutra diekstraksi dari

kepompong dengan proses yang dikenal sebagai reeling (penggulungan ulang). Selama proses reeling, 8-10 ujung filamen sutra diambil dari kepompong individu disatukan untuk membentuk benang sutra dengan jumlah yang diinginkan. berapa panjang filamen yang tersedia di setiap jenis kepompong untuk proses penggulungan. Panjang filamen yang tidak putus (NBFL) adalah panjang sutra filamen yang ada terus menerus di dalam kepompong. Tabel 2.1 memberikan total filamen sutra total dan NBFL yang tersedia di setiap jenis kepompong. (Padaki dkk,2015).

Tabel 2. 1 *Sifat fisik serat sutra* (Padaki dkk,2015).

Jenis kepompong sutra	kepadatan serat (g/mm ³)	kehalusan serat (den)	NBFL (m)	panjang filament (mm)
Mulberry (bivoltine)	1.34	2-3	700-800	1200-1600
mulberry (multivoltine)	1.34	2-3	400-600	900-1200
Tasar	1.31	8-12	100-250	750-900
Oak tasar	1.31	3-5	300-450	800-1000
Muga	1.3	4-7	150-250	600-800
Eri	1.3	3-4	0.05-2.0	400-500

2.4 Sifat Khas Serat Sutra

Serat sutra biasanya stabil hingga 140°C, dan suhu dekomposisi termal lebih besar dari 1500°C. Kepadatan serat sutra berada pada kisaran 1320-1400 kg/m³ dengan serisin dan tanpa serisin sekitar 1300-1380 kg/m³. Serat sutra diproduksi sebagai filamen dalam kelenjar pemintalan. Sutra mentah

sebenarnya terdiri dari dua komponen protein utama: Fibroin (sekitar 75-83 wt%) dan serisin (25-17 wt%). Dua filamen fibroin tertanam ke dalam lapisan getah sutra (serisin). Serat ini sangat berorientasi dan rantai proteinnya tersusun dalam konformasi lipit-lipit (β -keratin), yang kemudian membentuk mikrofibril dan makrofibril.

Tabel 2. 2 Sifat khas serat sutra (Mazharul,2021)

Parameter	Value
<i>Finenes</i>	1-3,5 detx
diameter	10–13 μm
Kelembaban	1.37 g / cm^3
kepadatan	1.37 g / cm^3
<i>Elongation</i>	10–25 %
Kekuatan putus	25–50 cN / tex

2.5 Sifat fisik Serat Sutra

1.Keuletan

Filamen sutra sangat kuat. Kekuatan ini disebabkan oleh polimer konfigurasi beta yang linier dan sistem polimer yang sangat kristalin. Kedua faktor ini memungkinkan lebih banyak ikatan hidrogen yang terbentuk dengan cara yang lebih teratur.

2. Berat jenis

Sutra kurang padat dibandingkan katun, rami, rayon atau wol. sutra memiliki berat jenis 1,25. Serat sutra sering kali diberi bobot dengan memungkinkan filamen untuk menyerap garam logam berat; hal ini meningkatkan kepadatan bahan dan meningkatkan sifat draping-nya.

3. Sifat elastis-plastik

Sutra dianggap lebih bersifat plastis daripada elastis karena sistem polimernya yang sangat kristalin tidak memungkinkan adanya pergerakan polimer yang dapat terjadi pada sistem yang lebih amorf (zat teratur). Oleh karena itu, jika bahan sutra diregangkan secara berlebihan, polimer sutra yang sudah dalam keadaan meregang akan meluncur satu sama lain. Proses peregangan akan memecah sejumlah besar ikatan hidrogen.

4. Pemanjangan

Serat sutra memiliki perpanjangan putus 20-25% dalam kondisi normal. Pada 100% RH, perpanjangan putus adalah 33%.

5. Sifat higroskopis / Daya serap

Karena sutra memiliki sistem polimer yang sangat kristalin, kristalinitas yang lebih besar dari sistem polimer sutra memungkinkan lebih sedikit molekul air untuk masuk daripada sistem polimer amorf dari wol, tetapi cepat kering.

6. Sifat termal

Sutra lebih sensitif terhadap panas. Hal ini karena kurangnya ikatan silang kovalen dalam sistem polimer sutra, dibandingkan dengan ikatan disulfida yang terjadi pada sistem polimer wol. Ikatan peptida yang ada, ikatan garam dan ikatan hidrogen pada sistem polimer sutra cenderung terurai setelah suhu melebihi 100°C.

7. Sifat listrik:

Sutra adalah konduktor listrik yang buruk dan cenderung membentuk muatan statis ketika ditangani. Hal ini menyebabkan kesulitan selama pemrosesan, khususnya di atmosfer yang kering. (Mazharul, 2021).

2.6 Serat Alam

Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Contoh serat yang paling sering dijumpai adalah serat pada kain. Manusia menggunakan serat dalam banyak hal antara lain untuk membuat tali, kain, atau kertas. Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alami dan serat sintetis (serat buatan manusia). Serat sintetis dapat diproduksi secara murah dalam jumlah yang besar. Namun demikian, serat alami memiliki berbagai kelebihan khususnya dalam hal kenyamanan. (Hendriwan, 2011)

Tabel 2. 3 Sifat mekanik beberapa serat (Shubra et al., 2013)

Fiber	Tensile Strength (MPa)	Youngs modulus (GPa)	Densi (g/cm)
cotton	330-585	4.5-126	1.5-1.54
Rax	345-1035	27.6-45	1.43-152
silk	650-750	16	1.3-1.38
ramie	400-1000	61.5	1.5-16
kevlar 49	3000	130	1.45

Permukaan serat alami serat kasar dan tidak rata memberikan daya rekat yang baik pada matriks dalam struktur komposit. sifat mekanik spesifik dari serat alami sangat penting untuk penggunaannya dalam komposit. (Ulrich, 2005). Pemilihan serat yang sesuai ditentukan oleh nilai kekakuan dan kekuatan tarik yang diperlukan dari komposit. Kriteria lebih lanjut untuk pemilihan penguat yang sesuai serat :

- perpanjangan putus,
- stabilitas termal,
- daya rekat serat dan matriks,
- perilaku dinamis,
- perilaku waktu yang lama,
- harga dan biaya pemrosesan.

Serat alami dapat dibagi lagi menjadi serat nabati, hewani dan serat mineral. Serat mineral tidak lagi atau hanya dalam jumlah yang sangat kecil

yang diterapkan dalam teknik baru perkembangan karena efek karsinogeniknya.

2.7 Komposit

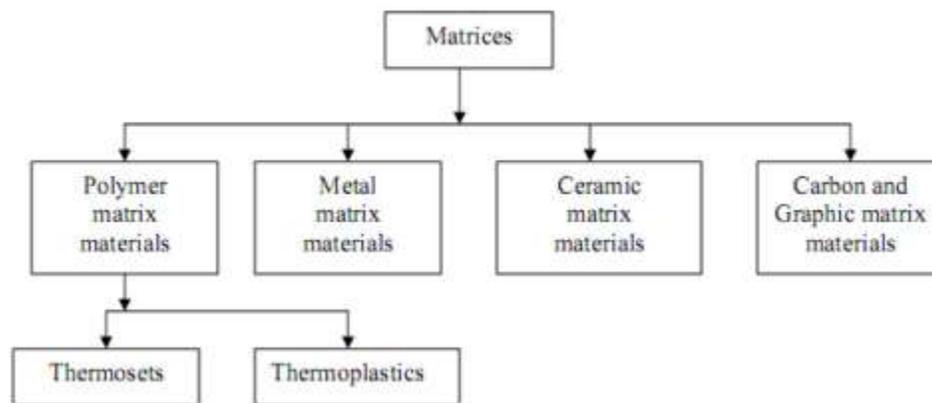
Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. (Saputra, 2016).

Definisi komposit ini dari beberapa tahap seperti yang telah digariskan oleh *Schwartz* :

- a) Tahap/Peringkat Atas Suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih atom yang berbeda dikatakan sebagai bahan komposit. Ini termasuk alloy polimer dan keramik.
- b) Tahap/Peringkat Mikrostruktur Suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih struktur molekul atau fasa merupakan suatu komposit.
- c) Tahap/Peringkat Makrostruktur Merupakan gabungan bahan yang berbeda komposisi atau bentuk untuk mendapatkan suatu sifat atau ciri tertentu. Dimana gabungan masih tetap dalam bentuk asal, dimana dapat ditandai secara fisik dan memperlihatkan muka antara satu sama lain.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa bahan komposit (atau komposit) adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisika dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). (Naik dkk., 2005).

2.3.1. Jenis Material Komposit



Gambar 2. 4 Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matriks (Haryanti, 2017)

Berdasarkan jenis matriknya, komposit dapat diklasifikasikan kedalam 4 kelompok besar yaitu:

a) Komposit matrik polimer (KMP/PMC)

Komposit ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (Kevlar) sebagai penguatannya 2

b) Komposit Matrik Logam (MMC)

Matriks logam yang menempati persentase terbesar dari komposit matriks logam adalah Aluminium. Untuk penguat pada komposit matriks ini pada umumnya adalah keramik karena titik leburnya lebih tinggi dari pada logam matriksnya. Jenis penguat yang terdapat pada komposit matriks logam adalah alumina (Al_2O_3), *silicon carbide* (SiC), *graphite*, *titanium boride* (TiB₂), *titanium carbide* (TiC), *tungsten* (W).

c) Komposit Matrik Keramik (CMC)

Jenis Komposit ini menggunakan keramik sebagai matrik seperti *Alumina*, *silicon nitride*, dan keramik gelas yang diperkuat dengan serat pendek atau serabut-serabut (*whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida atau *boron nitride*.

d) Komposit Matriks Karbon

Biasanya jenis komposit ini menggunakan silikon karbida sebagai penguatnya. Komposit matriks karbon lebih tahan terhadap suhu yang tinggi dibanding jenis komposit lainnya.

2.8 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Komposit

Suatu penelitian komposit yang menggabungkan antara matrik dan serat harus mempertimbangkan beberapa faktor yang mempengaruhi performa dan kekuatan Fiber-Matrik Composites antara lain sebagai berikut:

1. Faktor Serat

Serat adalah bahan pengisi matrik yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya

2. Panjang Serat

Ada 2 penggunaan serat dalam campuran komposit yaitu serat pendek dan serat panjang. Serat panjang lebih kuat dibanding serat pendek. Panjang serat berbanding diameter serat sering disebut dengan istilah aspect ratio. Bila aspect ratio makin besar maka makin besar pula kekuatan tarik serat pada komposit tersebut. Serat panjang lebih efisien dalam peletakannya daripada serat pendek. Akan tetapi, serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat. Pada umumnya, panjang serat lebih mudah penanganannya jika dibandingkan dengan serat pendek.

3. Bentuk Serat

Bentuk Serat yang digunakan untuk pembuatan komposit tidak begitu mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi

4. Faktor Matrik

Matrik dalam komposit berfungsi sebagai bahan mengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari perusakan eksternal,

meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matrik 8

5. Faktor Ikatan Fiber-Matrik

Pengaruh ikatan antara serat dan matrik adalah void, yaitu adanya celah pada serat atau bentuk serat yang kurang sempurna yang dapat menyebabkan matrik tidak akan mampu mengisi ruang kosong pada cetakan. Bila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah void sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut.

6. Katalis

Katalis ini digunakan untuk membantu proses pengeringan resin dan serat dalam komposit. Waktu yang dibutuhkan resin untuk berubah menjadi plastik tergantung pada jumlah katalis yang dicampurkan. Semakin banyak katalis yang ditambahkan maka makin cepat pula proses curingnya. Tetapi apabila pemberian katalis berlebihan maka akan menghasilkan material yang getas ataupun resin bisa terbakar (Schwartz, 2002).

2.9 Serat Sintetik

Serat sintetik yaitu serat yang molekulnya disusun secara sengaja oleh manusia. Sifat-sifat umum dari serat buatan, yaitu kuat dan tahan gesekan. Serat buatan terbagi menjadi 2 (dua) yaitu serat buatan selulosa (regenerasi)

antara lain Rayon, Asetat dan Tri Asetat serta serat buatan non selulosa (serat polimer) antara lain Nilon, Poliester, Spandeks, Akrilik.

Serat sintetis merupakan serat buatan yang sangat bergantung dari bahan pembentuknya, serat ini terbagi dalam dua jenis sebagai berikut:

1) Serat mineral

Serat jenis ini terbagi ke dalam tiga kelompok serat, antara lain:

a) Serat kaca atau serat gelas adalah suatu bahan sintetis yang terdiri dari Lime, Alumina, dan Borosilicate. Sering diterjemahkan menjadi kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan garis tengah sekitar 0,005 mm – 0,01 mm. Bahan cair serat gelas ditekan melalui suatu lobang kecil dari suatu dapur listrik dan ditarik menjadi sehelai serat.

b) Serat logam

c) Serat karbon

2) Serat polimer

Serat jenis ini dibuat melalui proses kimia. Bahan yang umum digunakan untuk membuat serat polimer, yaitu: Polyamina nylon, PET atau PBT polyester, digunakan untuk membuat botol plastik, Fenol-formaldehid (PF), Serat polyvinyl alcohol (PVOH), Serat polyvinyl khlorida (PVC), Poliolefin (PP dan PE), Polyethylene

Serat sintetis dibuat di industri dengan dimensi tertentu dan homogen.

Serat sintetis memiliki kekuatan hingga 1.800 Mpa, namun kekurangannya

adalah tidak ramah lingkungan, (Shackelford, 2005). Karena alasan lingkungan tersebut para pelaku bidang komposit mulai melirik substitusi penggunaan serat alam sebagai pengganti serat sintetik. Hal ini juga didukung oleh beberapa keunggulan yang dimiliki serat alam, seperti massa jenis yang rendah, tidak membutuhkan energi dalam proses, lebih ramah lingkungan, mempunyai sifat insulasi panas dan akustik yang baik serta terbarukan (Brouwer, 2000)

2.10 Resin

Resin komposit adalah suatu bahan matriks dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar atau dominan. Ada 3 tipe dari resin yang digunakan pada pembuatan produk komposit yaitu :

1. Resin Epoxy

Resin epoxy berbentuk cairan kental atau hampir padat yang memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi, daya rekat dan penahan panas yang baik. Resin epoxy memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada polyester.

2. Resin Polyester

Resin polyester mempunyai daya tahan terhadap dampak, tahan terhadap cuaca, transparan dan efek permukaan yang baik.

3. Resin Bisphenolic

Resin ini memiliki karakter yang tahan terhadap asam, basa dan garam. (Lutfi, 2018).

2.11 Resin Epoxy

Resin epoksi ditemukan pada tahun 1909 oleh *Prileschajew*. Resin ini dibentuk menggunakan berbagai macam bahan curing melalui reaksi curing, dimana sifatnya tergantung pada kombinasi spesifik dari jenis resin epoksi dan bahan curing yang digunakan (Jin, Li dan Park, 2015). Resin epoxy dibuat dengan pengabungan reaksi dimana mengandung lebih sedikit dua atom aktif hydrogen dengan *epichlorohydrin* sehingga terjadi dehidrohalogenasi diantara zat pembentuk (Kumar, 2016).

Resin epoksi dibuat dengan mencampurkan BPA dan *epiklorohidrin* (ECH), yang kemudian direaksikan untuk menciptakan unit monomer dasar resin epoksi yang disebut BADGE atau DGEBA (BIPRO, 2015) namun juga terdapat komposisi lain epoxy selain BPA, diantaranya resin epoxy *cycloaliphatic, Trifunctional, Tetrafunctional, Novolac, Biobased, Fluorine-containing, dan Silicon-containing* (Jin, Li dan Park, 2015). Dengan munculnya banyak bahan resin epoksi polimer baru, penerapan bahan-bahan resin epoksi di bidang teknik hidrolis dan industri telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir (Xie et al, 2018). Epoksi dapat digunakan baik dalam bentuk padat (SSER) atau cair (LER) tergantung pada aplikasi. Dengan demikian, jumlah BPA yang tidak bereaksi dalam aplikasi akhir juga akan tergantung pada jenis

resin epoksi yang digunakan (BIPRO, 2015). Resin epoksi telah menjadi bahan pengikat dominan yang digunakan dalam pengembangan bahan komposit masa kini karena sifatnya yang sangat baik (Sun et al, 2019), menurut Bello et al, (2015) kelebihan dari resin epoxy yaitu: daya rekat tinggi pada substrat, isolasi listrik tinggi, toksisitas rendah, susut rendah, penyusutan rendah, biaya rendah dan penerimaan tinggi untuk berbagai proses dan aplikasi, sedangkan menurut (Xie et al, 2018) resin epoxy memiliki kekuatan tinggi, ketangguhan yang baik, dan masa pembentukan yang singkat sehingga banyak diterapkan pada bidang seperti mesin, konstruksi, industri kimia dan aplikasi teknik sipil.

Zat curing mengontrol proses reaksi curing resin epoxy dimana reaksi curing pada resin epoxy bersifat eksotermik, yaitu pencampuran resin epoxy dan bahan curing akan melepaskan panas ke lingkungan tetapi dalam kasus ini, energi yang dilepaskan dalam jumlah yang kecil, oleh karena itu dapat dituangkan pada cetakan tanpa kepanasan (Kumar, 2016). Kekuatan mekanik dan glass transition (T_g) resin epoxy tergantung pada struktur molekul zat bahan curing. Bahan curing dapat dibagi menjadi bahan curing type Amine, alkali, anhydrides, dan catalytic (Jin, Li dan Park, 2015). Epoxy yang paling banyak digunakan adalah *diglycidyl ether dari bisphenol A*, BPA memberikan sifat termal dan mekanik yang baik (Ng et al, 2017) serta resistensi kimia yang baik (Ramon dan Sguazzo, 2018). Bisphenol-A (BPA) adalah salah satu bahan kimia yang paling banyak diproduksi di seluruh dunia dan banyak ditemukan pada aplikasi dalam produk konsumen termasuk wadah makanan, botol,

peralatan makan dan kertas untuk kemasan makanan dan peralatan medis (Over dkk., 2019). Resin epoxy adalah salah satu dari jenis polimer dalam kategori termoset (Bello dkk, 2015) dimana selama lima puluh tahun terakhir, keberadaan material komposit berdasarkan pengikat polimer thermosetting untuk aplikasi pesawat telah meningkat secara eksponensial, Saat ini, Airbus A350 dan Boeing 787 Dreamliner adalah pesawat penumpang berawak dengan proporsi struktur komposit mencapai lebih dari 50% dan 53% dengan pengikat polimer thermosetting terdapat pada bagian interior dan bagian sekunder. Karakteristik resin epoxy sebagai thermosetting dipengaruhi jenis bahan/zat dan proporsi zat curing serta siklus curing dan aditif yang dapat ditambahkan selama proses formulasi. Untuk thermosetting epoxies, rentang kekuatan tarik dari 90 hingga 120 MPa dengan modulus tarik mulai dari 3100 hingga 3800 MPa Selain itu, resin thermosetting ini biasanya memiliki temperatur glass transition (T_g) berkisar antara 150 hingga 220°C (Ramon dan Sguazzo, 2018).

2.12 Katalis

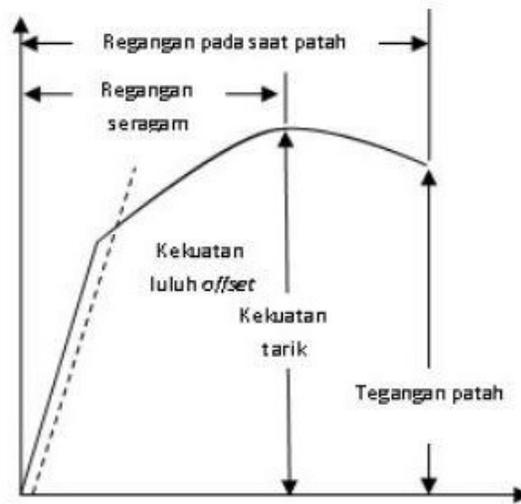
Metyl Etyl Keton Peroksida (MEKPO) yaitu bahan kimia yang dikenal dengan sebutan katalis. Katalis ini termasuk senyawa polimer dengan bentuk cair berwarna bening. Fungsi dari katalis ini adalah mempercepat proses pengeringan (curing) pada bahan matriks suatu komposit. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada matriks akan mempercepat proses laju

pengeringan, tetapi akibat mencampurkan katalis terlalu banyak akan menyebabkan komposit menjadi getas. Penggunaan katalis digunakan sesuai dengan kebutuhan. (Lutfi, 2018).

2.13 Pengujian Sifat Mekanik

2.13.1. Uji tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik dari suatu material dengan cara memberikan tegangan tarik searah sumbu material tersebut. Tegangan tarik yang diberikan merupakan tegangan aktual eksternal atau penambahan sumbu benda uji. Hasil dari pengujian tarik berupa catatan fenomena hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi selama pengujian tarik dilakukan. Pengujian tarik sering digunakan dalam penelitian untuk melengkapi informasi mengenai rancangan suatu material. Kurva tegangan – regangan hasil pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Kurva-tegangan regangan. (Syamsuddin, 2021)

Dari kurva uji tarik tersebut, hasil pengujian tarik didapatkan sifat-sifat mekanik yang dimiliki oleh benda uji, sifat-sifat tersebut antara lain

1. Kekuatan tarik,
2. Kekuatan luluh material,
3. Keuletan material,
4. Modulus elastisitas material,
5. Kelentingan material,
6. Ketangguhan material.

Pengujian tarik biasanya dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar suatu bahan dari data pendukung bagi spesifikasi beban. Pada uji tarik, kedua ujung benda kerja di jepit dengan kuat dan salah satu ujungnya ditarik dengan beban sebesar P . Regangan benda

uji terlihat pada pergerakan relatifnya. Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu regangan diukur dengan menggunakan metode hidraulik, elektro mekanik, dll. Kekuatan tarik dapat diartikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap pengaruh beban yang memutuskan hubungannya. Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat bahan selama mengalami lenturan.

Untuk menghitung kekuatan tarik (σ) digunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (MPa)} \quad (2.1)$$

Keterangan : σ = Tegangan (MPa)

F = Beban (N)

A = Luas penampang mula-mula (mm²)

Untuk regangan (ε) serat besarnya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

Keterangan : ε = Regangan

ΔL = perubahan panjang dari panjang awal (L).

L = Panjang mula-mula (m)

Jika regangan serat sudah diketahui maka besarnya modulus elastisitas juga sudah dapat diketahui dengan Perbandingan antara tegangan dan regangan elastis disebut Modulus Elastisitas (Modulus Young), yang perumusannya seperti berikut ini :

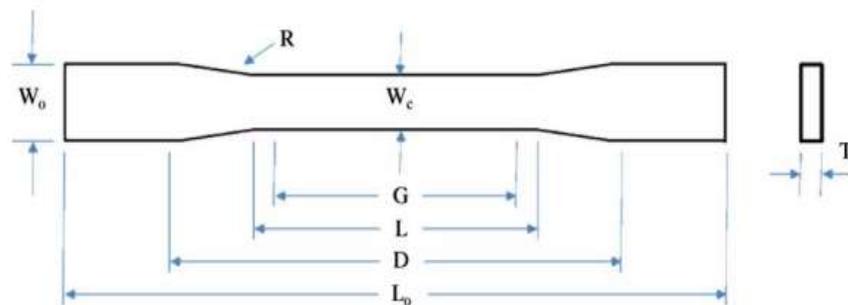
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Keterangan : E = Modulus Young (kg/mm²)

σ = Tegangan (kgf/mm²)

ε = Regangan

Berdasarkan standar pengujian yang digunakan pengujian tarik ini mengacu pada standar ASTM D638 type 1 dengan bentuk spesimen dan ukurannya.



Gambar 2. 6 ASTM D-638-1

Tabel 2. 4. Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638-I dan toleransi

<i>Dimension (mm)</i>	<i>Type I</i>	<i>Tolerances</i>
<i>W_c- Width of narrow section</i>	12.00	±0.508
<i>L- Length of narrow section</i>	57.150	±0.508
<i>W_o- Width overal</i>	19.050	+6.350
<i>L_o- Length overal</i>	165.100	No max
<i>G- Gage length</i>	50.800	±0.254
<i>D- Distance between grips</i>	114.300	±5.080
<i>R- Radius of fillet</i>	76.200	±1.016
<i>T- Thickness</i>	3.02	±0.508

Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength) adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil suatu uji tarik, tetapi padakenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan material. Untuk logam ulet, kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum, dimana logam dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangatterbatas. Pada tegangan yang lebih kompleks, kaitan nilai tersebut dengan kekuatan logam kecil sekali kegunaannya. Kecenderungan yang banyak ditemui adalah, mendasarkan rancangan statis logam ulet pada kekuatan luluhnya. Tetapi karena jauh lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan bahan, maka metode ini lebih banyak dipakai. Kekuatan tarik adalah besarnya beban maksimum dibagi dengan luas penampang lintang awal benda uji.

Korelasi empiris yang diperluas antar kekuatan tarik dengan sifat mekanik lainnya seperti kekerasan dan kekuatan lelah, sering dipergunakan. Hubungan tersebut hanya terbatas pada hasil penelitian beberapa jenis material.

2.13.2. Uji Impak

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui keuletan (toughness) suatu bahan atau material yang diberikan beban secara tiba-tiba (kejut). Cara kerja alat uji impact adalah dengan memukul benda yang akan diuji kekuatannya dengan pendulum yang berayun. Pendulum tersebut ditarik hingga ketinggian tertentu lalu dilepas, sehingga pendulum tersebut memukul benda uji hingga patah

Usaha yang digunakan untuk mematahkan bahan atau material per satuan luas penampang pada takikan dinamakan kekuatan impact bahan tersebut. Bandul kemudian dilepaskan dengan sudut yang telah ditentukan (α) pada sumbu tegak dan setelah memutuskan spesimen mengayun sampai maksimum membuat sudut β dengan sumbu tegak. Usaha untuk mematahkan material atau spesimen dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = [W X R [\cos(\beta) - \cos(\alpha)] \quad (2.4)$$

Keterangan : E = Energi (joule)

W = Weight of hammer

R = Panjang lengan bandul

β = Sudut akhir bandul

α = Sudut awal bandul

Harga impact dapat dihitung dengan rumus:

$$HI = E A_0 \quad (2.5)$$

Keterangan : HI = Harga impact (joule)

E = Energi untuk mematahkan material

A_0 = Luas penampang terkecil takik (cm^2)

Jenis-jenis Metode Uji Impak Secara umum metode pengujian impak terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Metode Charpy

Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.

2. Metode Izod

Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan.

Bentuk patahan yang terjadi pada uji impak

1. Patah getas

Patahan yang terjadi pada benda yang getas misalnya: besi tuang dapat dianalisis permukaan rata dan mengkilap, potongan dapat dipasangkan kembali, keretakan tidak dibarengi deformasi, nilai pukulan takik rendah

2. Patah liat

Patahan yang terjadi pada benda yang lunak, misalnya: baja lunak, tembaga, dapat dianalisis Permukaan tidak rata buram dan berserat, pasangan potongan tidak bisa dipasang lagi, terdapat deformasi pada keretakan, nilai pukulan takik tinggi.

3. Patah campuran.

Patahan yang terjadi pada bahan yang cukup kuat namun ulet, misalnya pada baja temper Gabungan patahan getas dan patahan liat, permukaan kusam dan sedikit berserat, potongan masih dapat dipasangkan, ada deformasi pada retakan.

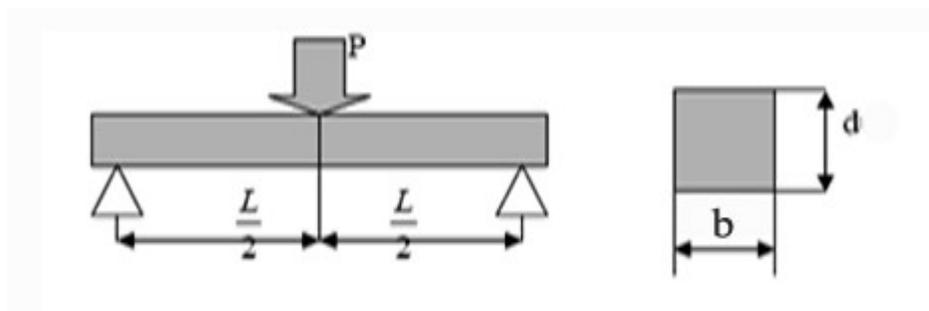
2.13.3. Uji Bending

Material komposit mempunyai sifat tekan lebih baik dibanding tarik, pada perlakuan uji bending spesimen, bagian atas spesimen terjadi proses tekan dan bagian bawah terjadi proses tarik sehingga kegagalan yang terjadi

akibat uji bending yaitu mengalami patah bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik.

Uji lentur (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Pada pengujian kekuatan lentur dan kekerasan dilakukan dengan pemberian beban pada material sehingga secara bersamaan mulai terbentuk tegangan tarik, tekan, dan geser. Proses pembebanan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan. Selanjutnya bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan.

Untuk dimensi spesimen dapat kita lihat pada Gambar 2.7 di bawah ini dengan standar (ASTM D 790-02).



Gambar 2. 7. Penampang Uji Bending (Standart ASTM D 790-02)

Momen yang terjadi pada kkomposit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$M = P/2 \cdot L/2 \quad (2.6)$$

Menentukan kekuatan bending dengan menggunakan persamaan

$$\sigma = \frac{M.Y}{I}$$

$$\sigma = \frac{\frac{P}{2} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot d}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot d^3}$$

$$\sigma = \frac{\frac{1}{8} \cdot L \cdot P \cdot d}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot d^3}$$

$$\sigma = \frac{\frac{1}{8} \cdot L \cdot P}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot d^2}$$

$$\sigma = \frac{3 \cdot L \cdot P}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (2.7)$$

Sedangkan untuk menentukan modulus elastisitas bending dapat menggunakan rumus sebagai berikut

$$Eb = \frac{L^3 \cdot P}{4 \cdot b \cdot d^3 \delta} \quad (2.8)$$

Keterangan :

σ_b = kekuatan bending (MPa)

P = beban yang diberikan (N)

L = jarak antara titik tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

δ = defleksi (mm)

Eb = Modulus elastisitas (MPa)

Sedangkan untuk kekakuan dapat dicari dengan persamaan

$$I = \frac{1}{2} bd^3 \quad (2.9)$$

$$D = EI \quad (2.10)$$

Dimana :

D = kekakuan (N/mm²)

E = modulus elastisitas (N/mm²)

I = momen inersia (mm⁴)

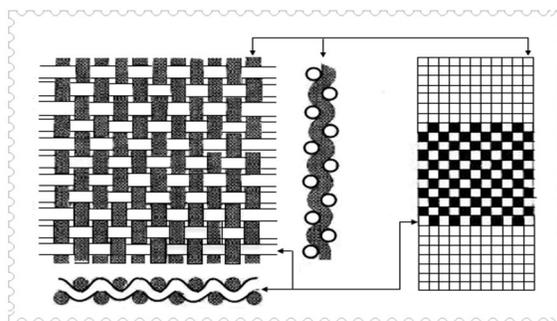
2.14 Jenis Tenunan

Susunan tenunan pada kain terjadi karena ada dua struktur pembentuk yaitu benang lungsing dan benang pakan. Benang lungsin adalah benang yang

membujur menurut panjang bahan, benang pakan adalah benang yang melintang menurut lebar bahan. Tenunan adalah proses pembuatan bahan tekstil yang dilakukan melalui persilangan antara benang lungsin dan benang pakan pada sudut yang tepat satu sama lain. Silang tenun terdiri dari bermacam macam silang dasar dan variasinya. Silang dasar dikelompokkan menjadi tiga yaitu, silang polos, silang satin dan silang kepar.

1. Tenunan plain

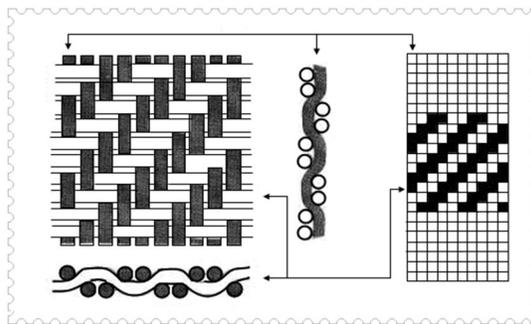
Jenis susunan tenun ini memiliki persilangan antara benang lungsin (benang yang membujur) dan benang pakan (benang yang melintang) yang paling banyak jika dibandingkan dengan jenis tenunan lain. Kain yang ditenun menggunakan jenis ini memiliki luas permukaan yang sama antara bagian baik dan bagian buruk. Disebut silang linen karena semua kain berbahan linen menggunakan jenis tenunan ini. Beberapa jenis kain yang umumnya ditenun menggunakan cara ini yaitu kain belacu, mori, berkolin, muslin dan organdi



Gambar 2. 8. Silang Polos (Nanang, 2016)

2. Tenunan *Twill* (kepar)

Penerapan jenis tenunan ini adalah dengan menjalin benang benang pakan setiap melewati dua atau lebih benang lungsin secara terus-menerus. Pada baris berikutnya, posisi benang pakan akan berpindah satu benang lungsi dari posisi sebelumnya. Dengan demikian, kain akan membentuk pola tenun diagonal. Kain yang dibuat menggunakan cara silang kepar umumnya bertekstur lebih lembut, karena benang-benang memiliki ruang yang lebih luas untuk bergerak. Kain yang ditenun menggunakan jenis silang kepar di antaranya adalah kain denim dan gabardin.

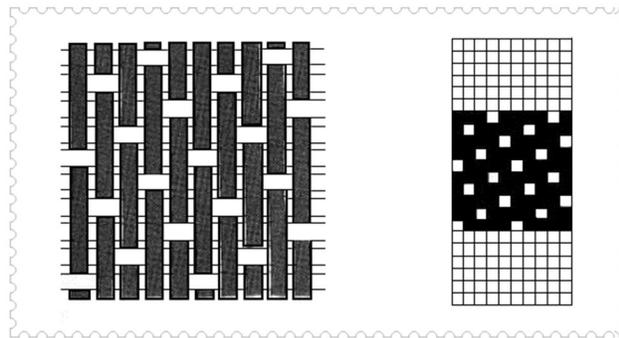


Gambar 2. 9. Silang Kepar (Nanang,2016)

3. Tenunan Satin

Kain yang dihasilkan dari jenis tenunan ini memiliki permukaan yang berkilau dan lembut karena sedikitnya himpitan antarbenang pada susunannya. Tenunan satin dapat dibagi menjadi dua ragam, yaitu satin lungsin dan satin pakan. Silang satin lungsin menampakkan lebih

banyak sisi benang lungsin pada permukaannya, sebaliknya, silang satin pakan menampakkan lebih banyak sisi benang pakan pada permukaannya. Beberapa jenis kain yang menggunakan susunan silang satin adalah kain satin, pique dan satinet. Untuk membuat silang satin dapat digunakan benang yang kurang baik, karena benang yang kurang baik ini dapat disembunyikan dari permukaan tenunan itu. (Nanang Ajim, 2016)

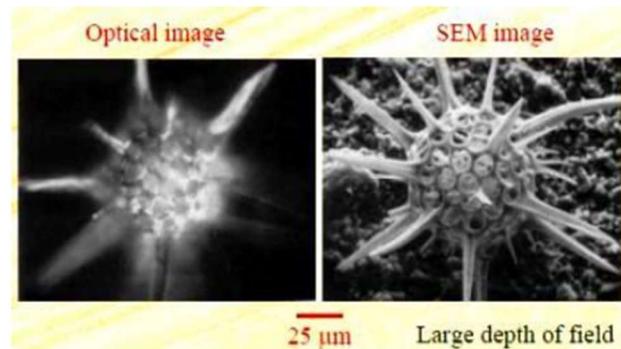


Gambar 2. 10. Silang Satin (Nanang, 2016).

2.15 Pengertian SEM (Scanning Electron Microscope)

Menurut Sanjaya (2014), Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen dengan *memindainya* menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi

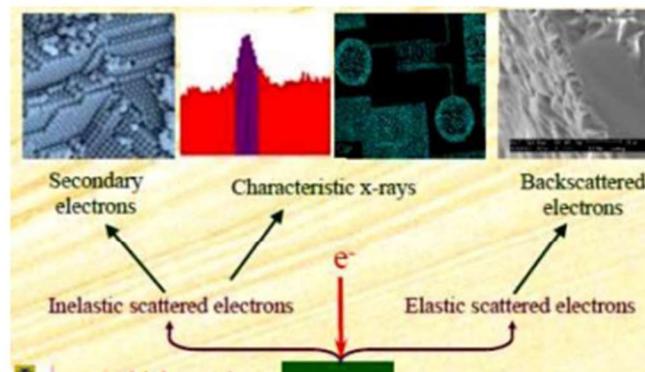
permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. Perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron, akan ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11. Hasil mikroskop cahaya dan elektron

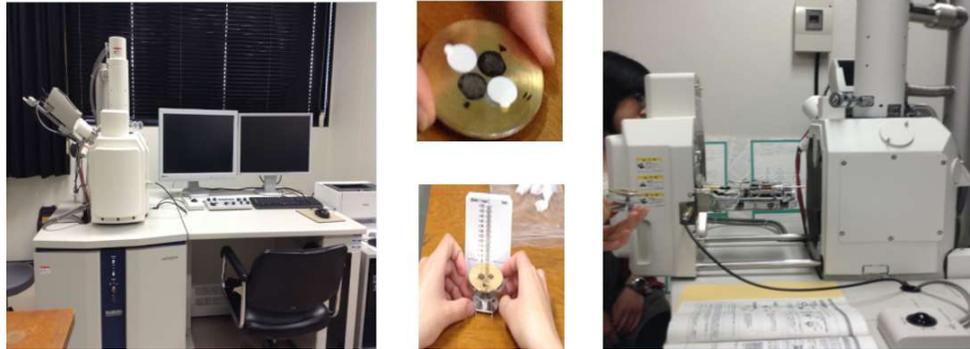
Peralatan utama yang terdapat pada mikroskop electron atau SEM diantaranya adalah: 1) Pistol elektron, umumnya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah untuk melepaskan elektron misal tungsten. 2) Lensa *untuk* elektron, berupa lensa bersifat magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet. 3) Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting. Prinsip kerja SEM adalah sebagai berikut: 1) Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. 2) Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel. 3) Sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. 4) Ketika

elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT). Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal backscattered electron. Sinyal-sinyal tersebut dijelaskan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12. Deteksi sinyal yang dihasilkan SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) seperti dapat dilihat pada Gambar 2.12 sumber Humayatul Ummah (2015) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk memperlihatkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalografi. Unsur suatu bahan dapat dilihat dengan pembesaran $5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$, $40 \mu\text{m}$, $50 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$ dan $200 \mu\text{m}$.



Gambar 2. 13. Proses penelitian dengan menggunakan alat SEM Sumber (Humayatul Ummah. 2015)

Merupakan *mikroskop* elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan senyawa atau elemen. Pada prinsip kerja SEM, dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji senyawa atau elemen dan yang lainnya CRT (*Cathode Ray Tube*) memberikan tampilan Gambar, sehingga mempunyai dua layar monitor. Gambar 2.13 memperlihatkan bahwa SEM menggunakan prinsip scanning, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada obyek. Gerakan berkas elektro dari satu titik ke titik yang ada pada suatu daerah objek merupakan gerakan membaca. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit yaitu *electron column* dan *display console*.

2.16 FTIR

Spektroskopi fourier transform infrared merupakan alat untuk mengidentifikasi jenis ikatan kimia dalam molekul dengan menghasilkan spektrum absorpsi inframerah seperti sidik jari “molekul”. Hal ini dapat

diterapkan pada analisis zat padat, cair dan gas. Fourier transform spektroskopi inframerah (FTIR) mengacu pada perkembangan sekarang, cukup dengan cara data dikumpulkan dan dikomversi dengan pola gangguan spektrum. Instrumen FTIR adalah komputer yang membuat lebih cepat dan lebih sensitif dibandingkan dengan instrumen dispersif tua.

Tahap IR instrumen awal adalah jenis dispersi, yang menggunakan prisma atau kisi monokromator. Instrumen dispersi adalah karakteristik dari scanning lambat. Sebuah transform fourier infrare spektrometer memperoleh spektrum inframerah dengan pertama-tama mengumpulkan sebuah interferogram dari sinyal sampel dengan interferometer, yang mengukur semua frekuensi inframerah secara bersamaan. Spektroskopi FTIR digunakan terutama untuk analisis kualitatif dan kuantitatif senyawa organik, dan juga untuk menentukan struktur kimia anorganik.

2.17 Proses Serapan Inframerah

Seperti halnya dengan tipe penyerapan energi yang lain maka molekul akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi bila mereka menyerap radiasi inframerah. Penyerapan radiasi inframerah akan diserap oleh molekul. Penyerapan radiasi inframerah sesuai dengan perubahan energi yang memiliki orde 2. Radiasi dalam kisaran energi ini sesuai dengan kisaran frekuensi vibrasi rentangan (stretching) dan vibrasi bengkokan (bending) dari ikatan kovalen dalam kebanyakan molekul. Dalam proses penyerapan maka energi

yang diserap akan menaikkan amplitude gerakan vibrasi ikatan dalam molekul. Namun demikian, perlu dicatat bahwa tidak semua ikatan dalam molekul dapat menyerap enersi inframerah, meskipun frekuensi radiasi tetap sesuai dengan gerakan ikatan.

2.18 Kegunaan Spektrum Inframerah

Karena setiap tipe ikatan yang berbeda mempunyai sifat frekuensi vibrasi yang berbeda, dan karena tipe ikatan yang sama dalam dua senyawa berbeda terletak dalam lingkungan yang sedikit berbeda, maka tidak ada tidak ada dua molekul yang berbeda strukturnya akan membentuk serapan inframerah atau spektrum inframerah yang tetap sama.