

PENGARUH ARAH SERAT TERHADAP SIFAT MEKANIS KOMPOSIT TENUANAN SUTRA



SUBIR

D021 19 1046



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**PENGARUH ARAH SERAT TERHADAP SIFAT MEKANIS PADA
KOMPOSIT TENUNAN SUTRA**

SUBIR

D021 19 1046



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**PENGARUH ARAH SERAT TERHADAP SIFAT MEKANIS PADA KOMPOSIT
TENUNAN SUTRA**

SUBIR

D021 19 1046

Skripsi,

Telah dipertahankan depan panitia ujian sarjana s1 pada 22 oktober 2024 dan dinyatakan telah memenuhi persyaratan kelulusan pada

Program Studi Sarjana Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Gowa

Mengesahkan :

Pembimbing tugas akhir,



Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT
NIP. 19650630 119103 1 004

Mengetahui :

Ketua Program Studi,



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200501 1

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pengaruh arah serat terhadap sifat mekanis pada komposit tenunan sutra" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, 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, 22 oktober 2024



Subir

D021 19 1046

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Pengaruh Arah Serat Terhadap Sifat Mekanis Pada Komposit Tenunan Sutra." Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dengan penuh kesabaran selama proses penulisan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT dan Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT. selaku dosen penguji, yang telah memberikan masukan, saran, dan kritik yang sangat berharga demi penyempurnaan skripsi ini.
3. Keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti kepada penulis.
4. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan moral dan berbagi pengalaman selama masa perkuliahan hingga penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat menjadi kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik ilmu komposit.

Gowa, 14 Agustus 2024
Penulis,

Subir

ABSTRAK

SUBIR. Pengaruh Arah Serat Terhadap Sifat Mekanis Pada Komposit Tenunan Sutra (dibimbing oleh Zulkifli Djafar)

Penggunaan dan pemanfaatan material komposit sekarang ini semakin berkembang, salah satu penguat komposit yang sering dipakai adalah dari serat alam. Serat sutra merupakan serat alam yang memiliki kekuatan yang lebih baik dari pada serat alam lainnya, namun penentuan arah serat dapat mempengaruhi kekuatan pada komposit. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh arah serat terhadap sifat mekanis komposit yang berpenguat tenunan sutra. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental, Epoxy Resin bisphenol A-Epichlorohy drin dan Epoxy Hardener Polyaminoamide yang digunakan pada penelitian ini sebagai bahan untuk pembuatan matriks pada komposit. Komposit dibuat menggunakan tiga lapis serat tenunan sutra dengan variasi arah (90/60/45) dan (90/90/90) untuk setiap panel komposit. Spesimen Uji tarik menggunakan standar ASTM D638 *type* 2, spesimen uji bending menggunakan standar ASTM D790 *type* 2, dan pengujian impak menggunakan standar ASTM D5942-96. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi arah serat (90/60/45) memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat yang tidak memiliki variasi arah (90/90/90) dalam setiap pengujian. Pada uji tarik, komposit dengan arah serat (90/60/45) memiliki tegangan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang memiliki arah serat (90/90/90). Hasil serupa juga diperoleh pada pengujian kekuatan bending dan kekuatan impak. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa memberikan variasi arah serat pada komposit akan menghasilkan sifat mekanis yang lebih kuat.

Kata kunci : Komposit, Serat alam, Variasi Arah serat, Uji tarik, Uji bending, Uji impak

ABSTRACT

SUBIR. The Effect of Fiber Orientation on the Mechanical Properties of Silk Woven Composites (supervised by Zulkifli Djafar)

The use and application of composite materials are continuously evolving, with natural fibers being one of the commonly used reinforcements in composites. Silk fiber is a natural fiber that has better strength compared to other natural fibers; however, the orientation of the fibers can affect the strength of the composite. The aim of this study is to analyze the effect of fiber orientation on the mechanical properties of composites reinforced with silk fabric. This research uses an experimental method, with Bisphenol A-Epichlorohydrin Epoxy Resin and Polyaminoamide Epoxy Hardener as the materials for making the composite matrix. The composites are made using three layers of silk fabric with fiber orientation variations of (90/60/45) and (90/90/90) for each composite panel. The tensile test specimens follow ASTM D638 Type 2 standards, the bending test specimens follow ASTM D790 Type 2 standards, and the impact test specimens follow ASTM D5942-96 standards. The results of the study show that the fiber orientation variation of (90/60/45) has higher mechanical strength compared to the non-varied fiber orientation of (90/90/90) in all tests. In the tensile test, the composite with a (90/60/45) fiber orientation exhibited higher tensile strength than the one with a (90/90/90) fiber orientation. Similar results were obtained in the bending strength and impact strength tests. Therefore, it can be concluded that varying the fiber orientation in composites will result in stronger mechanical properties.

Keywords: Composites, Natural fibers, Fiber orientation variation, Tensile test, Bending test, Impact test

DAFTAR ISI

Halaman sampul.....	i
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan keaslian	iii
Ucapan terimakasih	iv
Abstrak.....	v
Daftar isi.....	vii
Daftar gambar	ix
Daftar tabel	ix
Daftar lampiran.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kain Sutra	4
2.1.1. Karakterisasi morfologi kain sutra.....	5
2.1.2. Karakteristik fisik kain sutra.....	6
2.1.3. Sifat Khas Serat Sutra	6
2.2. Serat Alam	6
2.3. Komposit.....	7
2.3.1. Jenis Material Komposit.....	8
2.3.2. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Komposit	9
2.4. Resin <i>Epoxy</i>	9
2.5. Katalis	10
2.6. Pengujian Sifat Mekanik	10
2.6.1. Uji tarik.....	10
2.6.2. Uji Impak	12
2.6.3. Uji Bending.....	13
2.7. Tenunan pada kain	14
BAB III METODOLIGI PENELITIAN	17
3.1. Alat dan Bahan	17
3.1.1. Bahan	17
3.1.2. Alat.....	18
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.3. Proses Pelaksanaan Penelitian	22
3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan	22
3.3.2. Cetakan dan Komposisi Material	23
3.3.3. Langkah Pencetakan Komposit	24
3.3.4. Pembuatan Spesimen.....	24
3.4. Diagram Alir	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27

4.1. Hasil Data Pengujian Tensil.....	28
4.1.1. Hasil pengujian tensil sutra variasi arah (90/60/45)	28
4.1.2. Hasil pengujian tensil tanpa variasi arah (90/90/90)	28
4.2. Hasil Data Pengujian Bending	31
4.2.1. Hasil Pengujian Bending Variasi Arah (90/60/45).	31
4.2.2. Hasil Pengujian Bending Tanpa Variasi Arah (90/90/90).	31
4.3. Hasil Data Pengujian Impak.....	34
4.3.1. Hasil Pengujian Impak Sutra Variasi Arah (90/60/45).	34
4.3.2. Hasil Pengujian Impak Sutra Variasi Arah (90/90/90).	34
4.4. Hasil Pengujian Tarik Serat Tenunan Sutra	37
4.4.1. Tenunan Sutra motif A	37
4.4.2. Tenunan Sutra motif B	38
4.4.3. Tenunan sutra motif C	39
BAB V PENUTUP	41
5.1. Kesimpulan	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Grafik tegangan regangan serat sutra (Padaki et al., 2015).....	4
Gambar 2. 2. Serat sutra (Freddi et al., 2003)	5
Gambar 2. 3.a.Benang lusi, b-c. Benang pakan. (Freddi et al., 2003)	5
Gambar 2. 4. Klasifikasi komposit serat (dwi, 2013)	8
Gambar 2. 5. ASTM D-638-1	11
Gambar 2. 6. Penampang Uji Bending (Standart ASTM D 790 type 2)	14
Gambar 2. 7. Plain weave (Ajeng et al., 2023)	15
Gambar 2. 8. Twill Weave (Ajeng et al., 2023)	15
Gambar 2. 9. Satin Weave (Ajeng et al., 2023)	16
Gambar 3. 1. Kain sutra.....	17
Gambar 3. 2. Epoxy	17
Gambar 3. 3. Hardener	18
Gambar 3. 4. Mold Release Wax	18
Gambar 3. 5. Cetakan.....	18
Gambar 3. 6. Gelas ukur.....	19
Gambar 3. 7. Gelas plastik	19
Gambar 3. 8. Dongkrak dan Press.....	19
Gambar 3. 9. Gunting	20
Gambar 3. 10. Busur derajat.....	20
Gambar 3. 11. Scroll Saw	20
Gambar 3. 12. Mesin Amplas.....	21
Gambar 3. 13. Kuas.....	21
Gambar 3. 14. Water Pass	21
Gambar 3. 15. Pisau Cat	21
Gambar 3. 16. Universal Testing Machines	22
Gambar 3. 17. Impack testing machines.....	22
Gambar 3. 18. Desain Cetakan panel Komposit.....	23
Gambar 3. 19. Bentuk spesimen uji tarik standar ASTM D638 type I	25
Gambar 3. 20. Spesimen uji Bending Standar Astm D0790 tipe 2.....	25
Gambar 3. 21. Ukuran spesimen uji bending	26
Gambar 4. 1. Grafik perbandingan kekuatan tarik	29
Gambar 4. 2. Grafik perbandingan regangan tarik.....	30
Gambar 4. 3. Grafik perbandingan tegangan bending	32
Gambar 4. 4. Grafik perbandingan regangan bending.....	33
Gambar 4. 5. Grafik perbandingan tenaga patahan	35
Gambar 4. 6. Grafik perbandingan kekuatan impak	36
Gambar 4. 7. Arah lusi H	38
Gambar 4. 8. Arah Pakan H.....	38
Gambar 4. 9. Arah Lusi B	39
Gambar 4. 10. Arah pakan B	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Physical properties of silk fibers (Padaki et al., 2015)	6
Tabel 2. 2. Sifat mekanik beberapa serat (Shubhra et al., 2011)	7
Tabel 2. 3. Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638-I dan toleransi	11
Tabel 3. 1. Spesifikasi tenunan sutra	17
Tabel 3. 2. keterangan gambar ukuran ASTM D638 type I	25
Tabel 4. 1. Hasil data uji tarik variasi arah (90/60/45)	28
Tabel 4. 2. Hasil data uji tarik tanpa variasi arah (90/90/90)	28
Tabel 4. 3. Hasil data uji bending variasi arah (90/60/45)	31
Tabel 4. 4. Hasil data uji bending tanpa variasi arah (90/90/90)	31
Tabel 4. 5. Hasil data uji impak variasi arah (90/60/45)	34
Tabel 4. 6. Hasil data uji impak tanpa variasi arah (90/90/90)	34
Tabel 4. 7. Arah Lusi	37
Tabel 4. 8. Arah Pakan	37
Tabel 4. 9. Arah Lusi B	38
Tabel 4. 10. Arah pakan B	38
Tabel 4. 11. Arah Lusi M	39
Tabel 4. 12. Arah pakan M	39
Tabel 4. 13. Arah Lusi M	40
Tabel 4. 14. Arah Pakan M	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data uji tarik sutra motif A (90/90/90).....	46
Lampiran 2. Data uji tarik sutra motif B (90/90/90).....	46
Lampiran 3. Data uji tarik sutra motif C (90/90/90).....	46
Lampiran 4. Data uji tarik sutra motif C (90/60/45).....	47
Lampiran 5. Data uji tarik serat motif B (90/60/45).....	47
Lampiran 6. Data uji tarik serat motif B (90/60/45).....	47
Lampiran 7. Data uji dampak serat motif A (90/60/45).....	47
Lampiran 8. Data uji dampak serat motif B (90/60/45).....	48
Lampiran 9. Data uji dampak serat motif C (90/60/45).....	48
Lampiran 10. Data uji dampak serat motif A (90/90/90).....	48
Lampiran 11. Data uji dampak serat motif B (90/90/90).....	49
Lampiran 12. Data uji dampak serat motif C (90/90/90).....	49
Lampiran 13. Data uji bending serat motif A (90/60/45).....	49
Lampiran 14. Data uji bending serat motif B (90/60/45).....	50
Lampiran 15. Data uji bending serat motif C (90/60/45).....	50
Lampiran 16. Data uji bending serat motif A (90/90/90).....	50
Lampiran 17. Data uji bending serat motif B (90/60/45).....	51
Lampiran 18. Data uji bending serat motif C (90/60/45).....	51
Lampiran 19. Fraksi ukuran penyusun komposit.....	51
Lampiran 20. Spesimen uji bending.....	52
Lampiran 21. Spesimen uji tarik.....	52
Lampiran 22. Spesimen uji dampak.....	52
Lampiran 23. Proses pengolahan.....	53
Lampiran 24. Serat tenunan sutra.....	53

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan dan pemanfaatan material komposit sekarang ini semakin berkembang, seiring dengan meningkatnya penggunaan bahan tersebut yang semakin meluas mulai dari yang sederhana seperti alat-alat rumah tangga sampai sektor industri baik industri skala kecil maupun industri skala besar. Komposit mempunyai keunggulan tersendiri dibandingkan dengan bahan teknik alternatif lain seperti kuat, ringan, tahan korosi, ekonomis dan sebagainya. Komposit telah lama digunakan dalam dunia industri seperti otomotif, perkapalan, dirgantara, bahkan sampai pada kendaraan pelindung yang berbagai macam ancaman serangan dari ledakan. Pemanfaatan material komposit memberikan efisiensi massa dengan peningkatan kemampuan bertahan untuk berbagai kendaraan tempur dan perangkat perlindungan.

Ulat sutra *Bombyx mori*, serat hewan yang mewakili kilau dan kehalusannya, telah digunakan dalam industri tekstil selama berabad-abad. Secara struktural sutra terdiri dari protein inti berserat yang bernama fibroin, Adapun lem bernama serisin yang mengelilingi benang-benang fibroin untuk menyatukannya. Kristalinitas tinggi dari lembaran (sekitar 50%) serta orientasi yang baik dari nanokristalin ini dalam filamen inti (Porter & Vollrath, 2009). Ulat sutra memberikan sifat mekanik yang luar biasa, terutama kekuatan (0,4 GPa) dan kemampuan diperpanjang (20%) (Shao et al., 2005) Sifat fisikokimia yang homogen dari sutra ulat sutra sebagai serat kontinu memungkinkan untuk fasilitas fabrikasi melalui proses penggulangan filamen. Baru-baru ini, ulat sutra sutra telah mendapat perhatian besar sebagai bahan pengisi dalam komposit. Misalnya, sutra cincang dan kain sutra komersial telah digunakan untuk memperkuat polimer yang dapat terurai secara hayati atau sintesis. Akan tetapi, sutra yang dicacah kehilangan manfaat mekanis sebagai serat kontinu, dan komersial kain sutra mengalami masalah pembasahan dari fibroin yang bengkok benang dalam matriks, yang keduanya dapat mengakibatkan tidak kompetitif kinerja mekanik dari komposit sutra yang dilaporkan (Yuan et al., 2010).

Serat sutra sendiri memiliki kekuatan yang lebih kuat dibanding serat yang lainnya, salah satu keunggulan dari serat sutra ini adalah kekuatan tarik yang tinggi diatas resin komposit *flowable* yaitu 600 Mpa sedangkan kekuatan tarik diametral resin komposit *flowable* Mpa dan *extensibility* sebesar 18% (Murdiyanto & Hadyan, 2020). Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah serat sutra yang dihasilkan oleh ulat sutra *Bombyx mori* murni telah terbukti memiliki kekerasan yang cukup untuk menggantikan filler inorganik, dengan nilai kekerasan sebesar 66 VHN. Sebelum digunakan sebagai filler, serat sutra dari *B.mori*. terlebih dahulu menjalani proses degumming untuk menghilangkan lapisan serisin, kemudian digiling hingga menjadi partikel serat sutra yang lebih kecil (1-3 mm). Serisin adalah lapisan lengket seperti lem yang membungkus bagian luar kokon ulat sutra *B. mori* L (Puspita et al., 2020).

Serat sutra memiliki karakteristik yang sangat mungkin untuk dikembangkan (sifat fisik maupun kimia) untuk menjadi bahan baku produk unggulan selain untuk sandang,

dalam hal ini dapat di manfaatkan unutm menjadi bahan baku dari rompi anti peluru. Banyak peneliti menggunakan serat sutra sebagai bahan pengujian dari uji tembak dengan menambahkan berbagai perlakuan dan material. Telah diketahui bahwa daya rekat antar komponen (misalnya, fase serat dan fase matriks) sangat penting untuk kinerja mekanis komposit. Di satu sisi, memodifikasi kain sutra dengan tabung nano karbon untuk meningkatkan kompatibilitasnya dengan poli butilena suksinat- co-butilena adipat, dan memperoleh komposit dengan sifat mekanik yang cukup meningkat. secara langsung mengkomposisikan kain sutra dengan regenerated silk fibroin, namun sifat mekanik komposit secara keseluruhan masih kurang memuaskan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketidakcocokan antara struktur halus fibroin sutra yang berbeda, yaitu, b-sheet yang tersusun dengan baik dalam serat sutra (Shao et al., n.d.) dan keadaan amorf, atau b-sheet yang disejajarkan secara acak. Perekrayaan serat sutra untuk perlengkapan militer merupakan suatu usaha alternatif pemberdayaan sumber daya dalam negeri dalam rangka peningkatan kemampuan perlengkapan dan peralatan militer nasional (Chen et al., 2001).

Serat kepompong ulat sutra (*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. Sutra *Bomby x mori* lebih baik dari Kevlar atau baja dalam hal perpanjangan, memiliki kapasitas yang baik untuk menyerap energi dan membuang energi dalam waktu yang sangat lama seperti sutra berubah bentuk. Sifat-sifat serat sutera, khususnya kekuatan tarik dan perpanjangan putus, adalah yang tertinggi di antara semua serat alami. Hal ini menjadikan serat sutera sebagai salah satu serat alami yang penting dan potensial untuk digunakan sebagai penguat pada polimer biodegradable. Serat ini dapat terurai secara hayati, sehingga tidak meninggalkan jejak berbahaya di bumi setelah dibuang. Serat sutera banyak dimanfaatkan dalam industri tekstil, seperti pada alat tenun tangan dan pembuatan sari (Sharma et al., 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian uji sifat mekanis pada serat sutra dengan memberikan variasi arah serat.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan malah dalam penelitian ini adalah ;

1. Bagaimana pengaruh arah serat terhadap uji tarik pada material komposit tenunan sutra dengan epoksi resin ?
2. Bagaimana pengaruh arah serat terhadap uji bending pada material komposit tenunan sutra dengan epoksi resin ?
3. Bagaimana pengaruh arah serat terhadap uji dampak pada material komposit tenunan sutra dengan epoxy resin?

1.3. Tujuan Penelitian

Dengan mengacu pada rumusan masalah di atas tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh arah serat terhadap kekuatan tarik pada material komposit tenunan sutra.

2. Menganalisis pengaruh arah serat terhadap kekuatan bending pada material komposit tenunan sutra.
3. Menganalisis pengaruh arah serat terhadap kekuatan tumpak pada material komposit tenunan sutra.

1.4. Batasan Masalah

1. Menggunakan tenunan sutra asli 3 lapis
2. Ukuran spesimen uji tarik menggunakan standar uji ASTM D638-I
3. Ukuran Spesimen uji bending menggunakan standar uji ASTM D790-II
4. Ukuran Spesimen uji bending menggunakan standar uji ASTM D5942-96.
5. Menggunakan matrix perekat komposit *Epoxy Resin* jenis *Bisphenol A-Epicloroydrin* dan *Epoxy Hardener* jenis *Polyaminoamide*.
6. Pengujian sifat mekanis dari meterial komposit serat sutra

1.5. Manfaat Penelitian

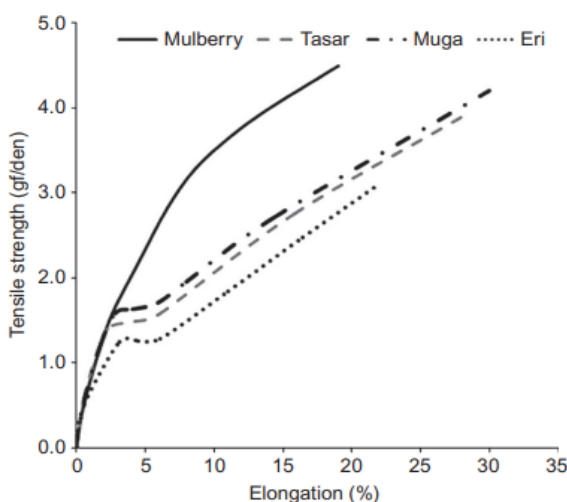
1. Bagi penulis :
 - Sebagai syarat dalam menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program studi sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
 - Dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang telah diperoleh semasa kuliah.
2. Bagi Akademik
 - Dapat menjadi referensi bagi penelitian terkait material komposit serat sutera dan penyusunan tugas akhir generasi selanjutnya.
3. Bagi Industri
 - Sebagai referensi bagi industri dalam pembuatan komposit yang lebih spesifik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kain 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. Kain sutra merupakan salah satu kearifan lokal yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi, selain itu jika diberi pewarna, kain sutera ini cukup mudah untuk menyerap. Kerajinan kain sutera telah menjadi kearifan lokal khususnya di daerah Sulawesi Selatan yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi.

Sutra merupakan serat komposit alami yang dihasilkan oleh ulat sutra *Bombyx mori* untuk membangun kepompong yang menyediakan kondisi ideal bagi larva untuk bermetamorfosis menjadi dewasa. Pada tahun 1865, ahli kimia *Emil Cramer* melaporkan bahwa ada dua komponen utama dalam sutra, yaitu fibroin yang bersifat hidrofobik dan serisin yang bersifat hidrofilik. Serisin berfungsi untuk mengikat dan melapisi dua filamen fibroin pada sutra mentah (Silva et al., 2022).

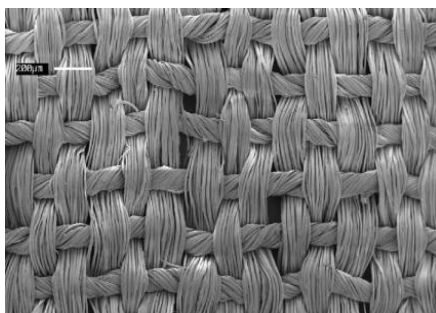


Gambar 2. 1. Grafik tegangan regangan serat sutra (Padaki et al., 2015)

Kurva pemanjangan kekuatan yang umum untuk serat murbei, tasar, muga, dan eri serat sutra disajikan pada Gambar 2.1. dari gambar tersebut terlihat bahwa sutera liar memiliki pemanjangan yang lebih baik dibandingkan dengan sutra murbei. Eri memiliki kekuatan tarik dan modulus yang paling rendah diantara serat sutera, 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.

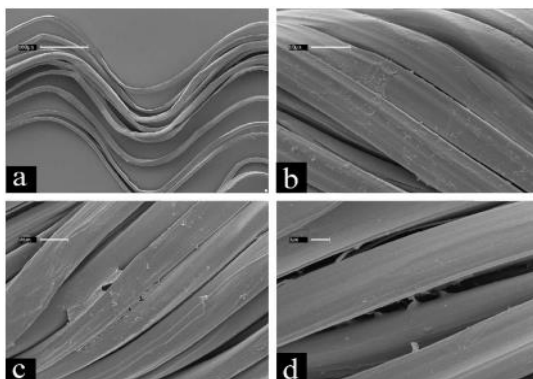
2.1.1. Karakterisasi morfologi kain sutra



Gambar 2. 2. Serat sutra (Freddi et al., 2003)

Morfologi permukaan kain sutra setelah degumming standar (proses pemurnian) dan enzimatis ditunjukkan pada Gambar 2.2 di atas. Penghilangan serisin 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 kerapatan 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 enzimatis, 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.



Gambar 2. 3.a.Benang lusi, b-c. Benang pakan. (Freddi et al., 2003)

2.1.2. 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.

Tabel 2. 1. Physical properties of silk fibers (Padaki et al., 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

2.1.3. 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.(Yuan et al., 2010)

2.2. 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.

Tabel 2. 2. Sifat mekanik beberapa serat (Shubhra et al., 2011)

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

2.3. Komposit

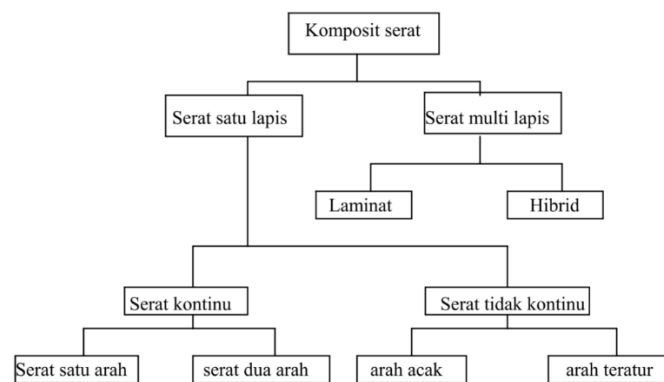
Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. (Yasa Utama et al., 2016). Definisi komposit ini dari beberapa tahap adalah sebagai berikut :

- Tahap/Peringkat Atas Suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih atom yang berbeda dikatakan sebagai bahan komposit. Ini termasuk alloy polimer dan keramik.
- Tahap/Peringkat Mikrostruktur Suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih struktur molekul atau fasa merupakan suatu komposit.
- 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 et al., 2005).

2.3.1. Jenis Material Komposit



Gambar 2. 4. Klasifikasi komposit serat (dwi, 2013)

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* (TiB_2), *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.

2.3.2. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Komposit

Kekuatan material komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti komposisi material, kondisi lingkungan, dan sifat mekaniknya. Faktor-faktor ini dapat memengaruhi kinerja dan ketahanan komposit secara signifikan dalam berbagai aplikasi. Tanggapan ini mengeksplorasi faktor-faktor utama yang memengaruhi kekuatan komposit, dengan mengambil wawasan dari makalah penelitian yang tersedia.

1. Faktor serat

Dalam komposit yang diperkuat dengan serat, faktor-faktor seperti panjang serat, orientasi, dan perawatan permukaan sangat penting. Serat yang lebih panjang dan ikatan yang kuat antara serat dan matriks meningkatkan kekuatan komposit, sementara orientasi serat secara signifikan mempengaruhi kekuatan lentur dan modulus elastisitas. (Nugroho & Budiyanoro, 2022)

2. Faktor matriks

Sifat mekanik matriks, seperti perpindahan pembukaan ujung retak (*Crack Tip Opening Displacement* atau CTOD), mempengaruhi konsentrasi tegangan di sekitar serat. CTOD yang lebih tinggi berhubungan dengan peningkatan faktor konsentrasi tegangan (*Stress Concentration Factor* atau SCF). (Yamamoto et al., 2021)

2.4. 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 et al., 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 namun juga terdapat komposisi lain epoxy selain BPA, diantaranya resin epoxy *cycloaliphatic*, *Trifunctional*, *Tetrafunctional*, *Novolac*, *Biobased*, *Fluorine-containing*, dan *Silicon-containing* (Jin et al., 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. 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.

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 (Tg) resin epoxy tergantung pada struktur molekul zat bahan curing. Bahan curing dapat dibagi menjadi bahan curing type Amine, alkali, anhydrides, dan catalytic (Jin et al., 2015). Epoxy yang paling banyak digunakan adalah *diglycidyl ether dari bisphenol A*, BPA memberikan sifat termal dan mekanik yang baik serta resistensi kimia yang baik. Karakteristik resin epoxy sebagai termosetting dipengaruhi jenis bahan/zat dan proporsi zat curing serta siklus curing dan aditif yang dapat ditambahkan selama proses formulasi. Untuk termosetting epoxies, rentang kekuatan tarik dari 90 hingga 120 MPa dengan modulus tarik mulai dari 3100 hingga 3800 MPa. Selain itu, resin termosetting ini biasanya memiliki temperatur glass transition (Tg) berkisar antara 150 hingga 220°C (Ramon et al., 2018).

2.5. 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. MEKPO sering digunakan sebagai katalis dalam proses pengerasan resin ester. Kemampuannya untuk menghasilkan radikal bebas menjadikannya sangat efektif untuk memulai reaksi polimerisasi, yang merupakan langkah penting dalam pembuatan berbagai material berbasis resin (Yasa Utama et al., 2016). Dalam pengembangan hantu indeks dosis CT, MEKPO berfungsi sebagai katalis dalam campuran resin poliester. Penggunaan ini menunjukkan perannya dalam mempercepat proses pengerasan resin, yang penting untuk menghasilkan material dengan karakteristik fisik tertentu. (Irdawati et al., 2019)

2.6. Pengujian Sifat Mekanik

2.6.1. 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.

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 hidrolik, 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 :

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

Keterangan : σ = Tegangan (MPa)

F = Beban (N)

A = Luas penampang mula-mula (mm²)

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

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

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 :

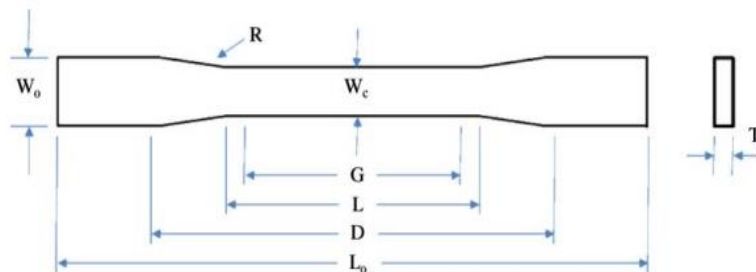
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.3)$$

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. 5. ASTM D-638-1

Tabel 2. 3. Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638-I dan toleransi

<i>Dimension (mm)</i>	<i>Type I</i>	<i>Tolerances</i>
W_c - Width of narrow section	12.00	± 0.508
L- Length of narrow section	57.150	± 0.508
W_o - Width overall	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.

2.6.2. 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:

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

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:

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

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

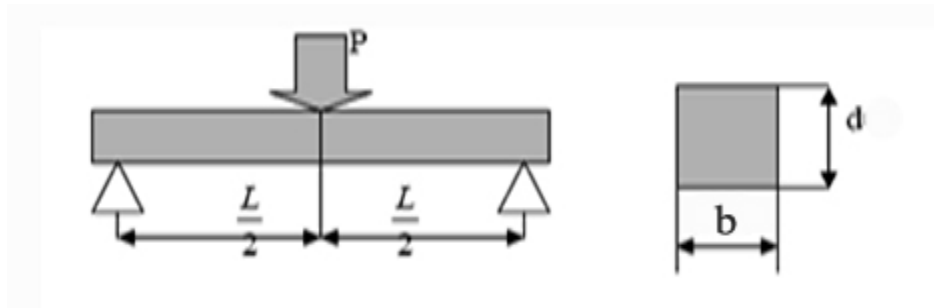
1. Patah getas
Patahan yang terjadi pada benda yang getas misalnya: besi tuang dapat dianalisis permukaan rata dan mengkilap, potongan dapat dipasangkan kembali, keretakan tidak dibarengi deformasi, nilai pukulan takik rendah
2. Patah liat
Patahan yang terjadi pada benda yang lunak, misalnya: baja lunak,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

2.6.3. 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 6. di bawah ini dengan standar (ASTM D 790-02).



Gambar 2. 6. Penampang Uji Bending (Standart ASTM D 790 type 2)

Menentukan kekuatan bending dengan menggunakan persamaan

$$\sigma = \frac{3 \cdot L \cdot P}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (2.6)$$

Sedangkan untuk menentukan modulus elastisitas bending dapat menggunakan rumus sebagai berikut

Sedangkan untuk regangan bending dapat dicari dengan persamaan

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot D \cdot d}{L^2} \quad (2.7)$$

Dimana :

D = Defleksi maksimum (mm)

d = Tebal (mm)

L = Panjang Span (mm)

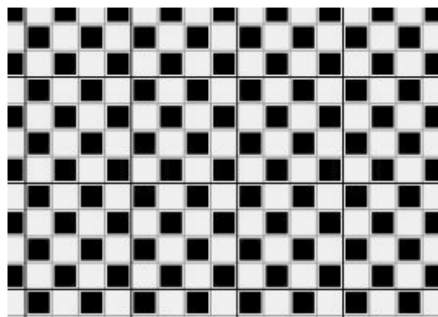
2.7. Tenunan pada kain

Susunan tenunan pada kain terjadi karena ada dua struktur pembentuk yaitu benang lungsin 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

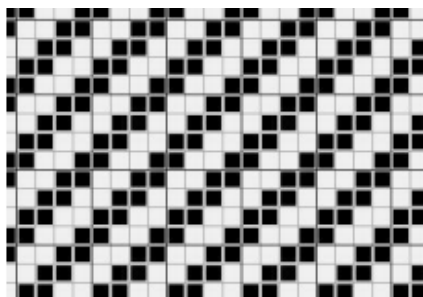
dan bagian buruk. Disebut silang linen karena semua kain berbahan linen menggunakan jenis tenunan ini. Beberapa jenis kain yang umumnya ditenun menggunakan cara ini yaitu kain belacu, mori, berkolin, muslin dan organdi



Gambar 2. 7. *Plain weave* (Ajeng et al., 2023)

2. Tenunan *Twill* (kepar)

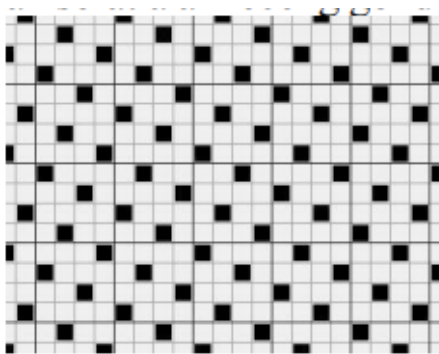
Penerapan jenis tenunan ini adalah dengan menjalin benang benang pakan setiap melewati dua atau lebih benang lungsin secara terus-menerus. Pada baris berikutnya, posisi benang pakan akan berpindah satu benang lungsin dari posisi sebelumnya. Dengan demikian, kain akan membentuk pola tenun diagonal. Kain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



Gambar 2. 8. *Twill Weave* (Ajeng et al., 2023)

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 menampilkan lebih banyak sisi benang lungsin pada permukaannya, sebaliknya, silang satin pakan menampilkan 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.



Gambar 2. 9. *Satin Weave* (Ajeng et al., 2023)