

TUGAS AKHIR

**EFEK PENGGURDIAN TERHADAP *THRUST FORCE* PADA KOMPOSIT
LAMINA TENUNAN RAMI SKALA LABORATORIUM**

ARMANZAH

D21116310



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

TUGAS AKHIR

**EFEK PENGGURDIAN TERHADAP *THRUST FORCE* PADA KOMPOSIT
LAMINA TENUNAN RAMI SKALA LABORATORIUM**

ARMANZAH

Oleh :

ARMANZAH

D211 16 310

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

EFEK PENGURDAN TERHADAP *THRUST FORCE* PADA KOMPOSIT LAMINA TENUNAN RAMI SKALA LABORATORIUM

ARMANZAH

D211 16 310

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

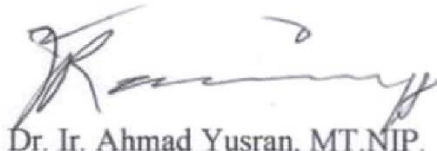
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT.

19650630 199103 1 004

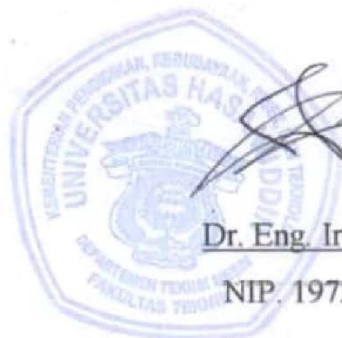


Dr. Ir. Ahmad Yusran, MT, NIP.

NIP. 19580921198603 1 003

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda-tangandibawahini

Nama : Armanzah

Nim : D211 16 310

JudulSkripsi : Efek Penggurdian Terhadap *Thrust Force* Pada Komposit Lamina Tenunan Rami Skala Laboratorium

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 20 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



Armanzah

ABSTRAK

EFEK PENGGURDIAN TERHADAP *THRUST FORCE* PADA KOMPOSI TLAMINA TENUNAN RAMI SKALA LABORATORIUM

Dalam perkembangan teknologi industri terutama industri manufaktur membutuhkan material yang mempunyai sifat-sifat yang istimewa yang sulit didapatkan dari material konvensional seperti besi dan aluminium. Kelebihan material komposit kekuatan tarik tinggi, ringan, ketahanan korosi, ketahanan aus dan arah kekuatan dapat dikendalikan (Palanikumar dkk., 2012). Untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah lapis, feed rate dan kecepatan spindel pada pengurdian komposit tenunan serat rami.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Terpakai Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa sebagai tempat pembuatan bahan uji dan Workshop Universitas Hasanuddin Makassar tempat pengambilan data. Pengambilan data dilakukan menggunakan sensor (dynamometer) dipasang pada ragam dan di atasnya dipasang spesimen uji. Dynamometer yang digunakan didukung software Makerplot untuk pembacaan pada device monitor laptop.

Pengaruh jumlah lapis penguat cukup mempengaruhi nilai thrust force pada pengeboran komposit rami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jumlah lapis penguat akan meningkatkan nilai thrust force. Pengaruh feed rate yang diberikan sangat berpengaruh pada nilai thrust force. Pengaruh kecepatan spindel juga sangat berpengaruh pada nilai thrust force yang didapatkan selama proses pengeboran. Dalam prakteknya peningkatan kecepatan spindel dapat menurunkan beban selama pengeboran, hal ini ditunjukkan oleh mekanisme pelepasan chip yang lebih mudah pada kecepatan spindel tinggi. 1. Penelitian ini terbatas pada penggunaan matriks epoxy, maka perlu adanya penelitian tambahan mengenai pengaruh jenis matriks yang digunakan. 2. Perlu adanya penelitian lanjutan tentang pengaruh sifat mekanik komposit terhadap nilai thrust force pada tipe mata bor yang lebih bervariasi. 3. Perlu adanya penelitian tentang optimasi daya selama proses pengeboran dengan tingkat variasi parameter pengeboran yang diberikan.

Kata kunci : komposit, rami, thrust force, makerplot

ABSTRACT

THE EFFECT ON *THRUST FORCE* OF DRIVING ON THE THLAMINE COMPOSITION OF SCALE LABORATORY

In the development of industrial technology, especially the manufacturing industry requires materials that have special properties that are difficult to obtain from conventional materials such as iron and aluminum. The advantages of composite materials are high tensile strength, light weight, corrosion resistance, wear resistance and the direction of strength can be controlled (Palanikumar et al., 2012). The purpose of this study was to determine the effect of variations in the number of layers, feed rate and spindle speed on the drilling of hemp fiber woven composites.

The research was conducted at the Laboratory of Applied Mechanics, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa as a place for making test materials and the Hasanuddin University Makassar Workshop where data was collected. Data collection was carried out using a sensor (dynamometer) mounted on a vise and on it a test specimen was installed. The dynamometer used is supported by Makerplot software for readings on laptop monitor devices.

The effect of the number of layers of reinforcement is sufficient to affect the value of the thrust force on the flax composite drilling. The results showed that increasing the number of layers of reinforcement will increase the value of the thrust force. The effect of the feed rate given is very influential on the value of the thrust force. The influence of spindle speed is also very influential on the value of the thrust force obtained during the drilling process. In practice increasing the spindle speed can reduce the load during drilling, this is indicated by the easier chip removal mechanism at high spindle speeds. 1. This research is limited to the use of an epoxy matrix, so there is a need for additional research on the effect of the type of matrix used. 2. There is a need for further research on the effect of the mechanical properties of composites on the value of the thrust force on more varied types of drill bits. 3. There is a need for research on power optimization during the drilling process with the level of variation of the given drilling parameters.

Keywords : composite, hemp, thrust force, makerplot

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Efek Penggurdian Terhadap *Thrust Force* Pada Komposit Lamina Tenunan Rami Skala Laboratorium**” sebagai salah satu syarat guna menyelesaikan pendidikan Sarjana S1 di Universitas Hasanuddin Makassar.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis ucapkan kepada orangtua penulis yakni Ayahanda **Usman Rahman** dan Ibunda **Rosmini** untuk do'a, kasih sayang, dukungan, semangat dan pengorbanan yang begitu besar kepada anak-anaknya.

Ketidak sempurnaan skripsi ini merupakan wujud keterbatasan penulis sebagai manusia biasa sehingga masukan berupa saran dan kritikan tetap penulis harapkan. Namun bantuan dari berbagai pihak merupakan motivasi yang tak terhingga. Untuk itu penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Palubuhu, MA selaku Rektor Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. dan Prof. Baharuddin, S.T., M. Arch., Ph.D. selaku Dekan dan Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Bapak Dr.Ir. Zulkifli Djafar, M.T.selaku pembimbing I yang telah banyak membantu dan meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam bentuk bimbingan, pengarahan, dan perbaikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr.Ir. Ahmad Yusran Aminy.,MT. Selaku pembimbing II yang juga telah banyak membantu dan meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam bentuk bimbingan, pengarahan, dan perbaikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST, MT, selaku Sekertaris Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Andi Khareul selaku Plp Laboratorium Mekanika Terpakai Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dan membimbing.
8. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Kepada sodara COMPREZZOR'16 yang selalu ada tapi biasanya adapi masalah baru muncul.
10. Saya mengucapkan banyak-banyak terima kasih pada senior yang telah membantu saya dalam mengumpulkannya untuk biaya skripsi ini yang lumayan banyak.
11. Dan terakhir saya banyak-banyak terimakasih kepada teman-teman, keluarga ataupun sodara-sodaraku yg belum pernah bertanya “kapan selesai” panas telingaku dengarki itu hahahaha

Akhir kata, penulis berkeyakinan bahwa segala sesuatu yang kita rencanakan akan terasa sulit direalisasikan dengan baik jika tanpa melibatkan orang lain dengan tetap bertumpu pada fitrah Allah subhanahu wa ta'ala sebagai penentu segalanya dan semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat dan informasi bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, 16 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Serat Rami.....	6
2.1.1 Karakteristik Tanaman Rami	7
2.1.2 Karakteristik Serat Rami	7
2.1.3 Proses Pabrikasi Serat Rami	9
2.1.4 Aplikasi Serat Rami	13
2.2 Resin Epoxy	15
2.3 Komposit.....	16
2.3.1 Unsur Pembentuk Komposit.....	19
2.3.2 <i>Rule of mix</i>	25
2.3.3 Serat Rami	26

2.4 Penggurdian	30
2.4.1 Pengertian Penggurdian.....	30
2.4.2 Pahat Gurdi	34
2.5 <i>Thrust Force</i>	38
2.5.1 <i>Dynamometer</i>	44
2.5.2 <i>Software Makerplot</i>	44
BAB III METODE PENELITIAN	46
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	46
3.2 Alat dan Bahan	46
3.3 Metode Penelitian	48
3.4 Pelaksana Penelitian	49
3.5 Diagram Alir Penelitian	55
3.6 Pengukuran Variable / Parameter	56
3.7 Analisis Data	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Hasil Pengujian	57
4.2 Pengaruh Jumlah Lapis Terhadap <i>Thrust Force</i> Pada Komposit Rami	58
4.3 Pengaruh <i>Feed Rate</i> Terhadap <i>Thrust Force</i> Pada Komposit Rami	60
4.4 Pengaruh Kecepatan Spindel Terhadap <i>Thrust Force</i> Pada Komposit Rami	62
4.5 Analisis <i>Thrust Force</i> dan <i>Drilling Time</i> Dengan Variasi <i>Feed Rate</i>	64
BAB V PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	73

DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN I	80
LAMPIRAN II	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Klasifikasi proses <i>degumming</i>	10
Tabel 2.2 : Klasifikasi proses <i>degumming (retting)</i>	11
Tabel 2.3 : Karakteristik jenis matriks	22
Tabel 2.4 : perbandingan sifat mekanis dari beberapa serat alam dan sintetik	30
Tabel 4.1 : Tabel hasil pengeboran komposit anyaman rami.....	57
Tabel Hasil Pengambilan Data Komposit 3 Lapis.....	82
Tabel Hasil Pengambilan Data Komposit 4 Lapis.....	85
Tabel Hasil Pengambilan Data Komposit 5 Lapis.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Tanaman rami.....	7
Gambar 2.2 :Serat rami mentah.....	9
Gambar 2.3 : Baju dari serat rami.....	14
Gambar 2.4 : Reaksi kimia.....	15
Gambar 2.5 : Komponen mobil terbuat dari komposit serat alami	18
Gambar 2.6 :Bentuk-bentuk <i>reinforcements</i>	23
Gambar 2.7 : Struktur komposit <i>sandwich</i>	24
Gambar 2.8 : Struktur lapisan komposit laminasi	25
Gambar 2.9 : <i>Cutting force</i> dalam proses penggurdian	34
Gambar 2.10 : Klasifikasi <i>drill bits</i>	37
Gambar 2.11 : Geometri gurdi <i>candlestick</i>	38
Gambar 2.12 : Detail pahat gurdi <i>candlestick</i>	38
Gambar 2.13 : Fase penggurdian komposit menggunakan <i>candlestick drill</i>	42
Gambar 2.14 : Tahapan dalam proses gurdi.....	42
Gambar 2.15 : <i>Dynamometer</i>	44
Gambar 2.16 : Software <i>MakerPlot</i>	45
Gambar 3.1 : Serat rami	47
Gambar 3.2 : Resin epoxy	47
Gambar 3.3 : <i>Mold Release Wax “Mirror Glaze</i>	48
Gambar 3.4 : Ukuran dan variasi lapisan specimen	52
Gambar 4.1 : Hubungan antara <i>thrust force</i> dan feed rate terhadap variasi jumlah lapis pada komposit rami	58
Gambar 4.2 : Hubungan antara <i>thrust force</i> dan jumlah lapis terhadap variasi <i>feed rate</i> pada komposit rami.....	60

Gambar 4.3 :Hubungan antara *thrust force* dan jumlah lapis terhadap variasi kecepatan pada komposit rami 62

Gambar 4.4 :*Thrust force* selama siklus penggurdian pada pahat gurdi berdiameter 6 mm dan 3 lapis penguat..... 64

Gambar 4.5 :*Thrust force* selama siklus penggurdian pada pahat gurdi berdiameter 6 mm dan 4 lapis penguat..... 66

Gambar 4.6 :*Thrust force* selama siklus penggurdian pada pahat gurdi berdiameter 6 mm dan 5 lapis penguat..... 68

BAB I

PEDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan teknologi industri terutama industri manufaktur membutuhkan material yang mempunyai sifat-sifat yang istimewa yang sulit didapatkan dari material konvensional seperti besi dan aluminium. Komposit merupakan jenis material alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Kelebihan material komposit dibandingkan dengan jenis material konvensional adalah kekuatan tarik tinggi, ringan, ketahanan korosi, ketahanan aus dan arah kekuatan dapat dikendalikan (Palanikumar dkk., 2012).

Tanaman rami yang dikenal dengan nama latinnya *Boehmeria nivea* L.Goud merupakan tanaman tahunan berbentuk rumpun yang dapat menghasilkan serat alam nabati dari pita (*ribbons*) pada kulit kayunya yang sangat keras dan mengkilap. Tanaman rami adalah tanaman tahunan yang berbentuk rumpun mudah tumbuh dan dikembangkan di daerah tropis, tahan terhadap penyakit dan hama, serta dapat mendukung pelestarian lingkungan. Secara kimia rami diklasifikasikan ke dalam jenis serat selulosa sama halnya seperti kapas, linen, hemp dan lain-lain. Rami memiliki sejumlah keunggulan yang membedakannya dengan serat batang lainnya. Rami memiliki kompatibilitas yang baik dengan seluruh jenis serat baik serat alam maupun sintetis sehingga mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun.(Purboputro dan Hariyanto, 2017).

Dalam hal tertentu serat rami mempunyai keunggulan dibandingkan serat yang lainnya seperti kekuatan tarik, daya serap terhadap air, tahan terhadap kelembapan dan bakteri, tahan terhadap panas serta peringkat nomor dua setelah sutra dibandingkan serat alam yang lainnya dan lebih ringan dibanding serat sintetis dan ramah lingkungan. (Purboputro dan Hariyanto, 2017).

Zainuri, dkk (2019) meneliti tentang komposit serat rami dengan matrik resin polyester untuk mengetahui pengaruh jenis anyaman yang digunakan dalam setiap resin komposit yang diperkuat serat rami polyester terhadap ketangguhan dan kekuatan lentur.

Penelitian dengan proses pemesinan gurdi mikro sebelumnya sudah dilakukan oleh Percin, dkk (2016) secara eksperimental dan menggunakan pahat karbida tanpa lapisan dengan ukuran 700 μm . Dalam penelitian tersebut dilihat pengaruh berbagai kondisi parameter pemotongan (kecepatan potong dan laju pemakanan) pada gaya dorong, torsi, keausan pahat, dan kekasaran permukaan dalam gurdi mikro Ti-6Al-4V paduan.

Penelitian tentang penggurdian komposit dengan penguat serat alam sebelumnya telah dilakukan oleh Chandrabakty dkk (2020). Dalam penelitiannya menggunakan 6 lapis serat rami dengan matriks resin polyester YUKALAC @157 BQTN-EX. Pada *feed rate* penggurdian 0.10, 0.18, 0.24 mm/rev dengan variasi kecepatan spindel 93, 443, 1420 rpm. Untuk mengoptimalkan parameter permesinan terhadap *thrust force* pada penggurdian serat rami.

Karena memiliki potensi yang menjanjikan dimasa depan, maka tidak dapat dipungkiri bahwa pengerjaan permesinan pada komposit dengan penguat

serat rami juga akan mengambil bagian yang penting. Maka hal ini yang mendasari untuk melakukan penelitian yang berjudul “**Analisis Pengaruh Penggurdian Terhadap *Thrust Force* Pada Komposit Tenunan Serat Rami Skala Laboratorium**”

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah lapisan terhadap *thrust force* pada penggurdian komposit tenunan serat rami?
2. Bagaimana pengaruh variasi *feedrate* terhadap *thrust force* pada penggurdian komposit tenunan serat rami?
3. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan spindel terhadap *thrust force* pada penggurdian komposit tenunan serat rami?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka ditentukan tiga tujuan pada penelitian ini, yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah lapisan terhadap *thrust force* pada penggurdian komposit tenunan serat rami
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi *feedrate* terhadap *thrust force* pada penggurdian komposit tenunan serat rami
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan spindel terhadap *thrust force* pada penggurdian komposit tenunan serat rami?

I.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat berkontribusi dalam perkembangan ilmu dan teknologi manufaktur bidang rekayasa material khususnya komposit alam.
2. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan pertimbangan ataupun acuan dalam memilih parameter permesinan dan jumlah lapisan penguat.

I.5 Batasan Penelitian

Agar tujuan yang diinginkan dapat dicapai dengan maksimal, maka penelitian ini dibatasi beberapa hal yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini tidak membahas tinjauan kimia dari serat rami
2. Serat rami yang digunakan sebagai penguat (*filler*) komposit.
3. Matrik yang digunakan sebagai perekat komposit yaitu *EpoxyResin Bisphenol A –Epichlorohydrin* dan *Epoksi Hardener jenis Polyamide Resins*.

Komposit diperkuat serat rami sebanyak 3,4 dan 5 lapis dengan ukuran 200 mm x 200 mm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Rami

Tanaman rami telah tumbuh di Cina selama berabad-abad dan petani Tiongkok kuno diketahui telah menggunakan serat tersebut untuk menenun pakaian dan keperluan lain (Maideliza dkk 2017). Rami merupakan anggota dari *urticaceae* yang tumbuh di daerah beriklim tropis dan dikenal sebagai “rumput cina” (Dey dkk 2017). Untuk mempromosikan penelitian dan kegiatan pengembangan rami di Negara secara keseluruhan dan Negara timur laut khususnya orang India, Komite Pusat Rami pada bulan April 1960 didirikan sebuah stasiun penelitian rami di desa Kamargaon di Serbhog yang sebelumnya di distrik Kamrup dibawah *Jute Agriculture Research Institute (JARI)*. Pada 1996 *JARI* diambil alih oleh *Indian Council of Agriculture Research (ICAR)* dan ditahun 1990 (*JARI*) berganti nama menjadi *Central Research for Jute and Allied Fibres* dengan kantor pusatnya di Barrackpore, Kolkata W.B. dengan luas 69,02 hektar (Ray dkk 2017).

Serat yang diperoleh dari batang tanaman *Boehmeria nivea* L. Gaud, sejarah awal diketahui dari beberapa pembungkus mumi dari tahun 5000–3300 SM sudah menggunakan serat rami. Dimana saat ini tanaman rami banyak dibudidayakan di negara Indonesia (Mujiyono dkk 2017). Indonesia merupakan negara yang berada di daerah tropis sehingga keanekaragaman hayati yang dimiliki sangat banyak. Potensi hayati berupa tanaman penghasil serat sangat mudah di jumpai di negeri ini serta sudah banyak bidang industri yang memakainya (Murdiyanto 2017).

2.1.1. Karakteristik tanaman rami

Tanaman rami (*Boehmeria nivea* L. Gaud) berpostur tegak dan biasanya tidak bercabang. Jika mengalami gangguan pertumbuhannya, misalnya batangnya patah karena angin atau gangguan fisik, tunas baru dapat tumbuh di bawahnya. Batangnya tumbuh tinggi mencapai 2 meter atau lebih. Pada tanah yang subur dan tersedia air atau pada musim hujan tinggi batang dapat melebihi tinggi 2 meter. Serat yang diperoleh dari bagian lapisan kulit luar (*blast*) termasuk serat yang tidak mengandung lignin, sehingga serat rami digolongkan sebagai serat lunak segolongan dengan serat kapas dan tidak segolongan dengan serat ijuk atau serat buah kelapa yang mengandung lignin dan disebut serat kasar atau keras (Subandi 2017). Rami merupakan tanaman yang berumur panjang. Komposisi serat rami adalah Selulosa 75% Hemi selulosa 16% Pektin 2% Lignin 0,7% Zat-zat yang larut dalam air 6% Lilin dan lemak 0,3% (Murdiyanto 2017).



Gambar 2.1 Tanaman rami (Murianingrum 2019)

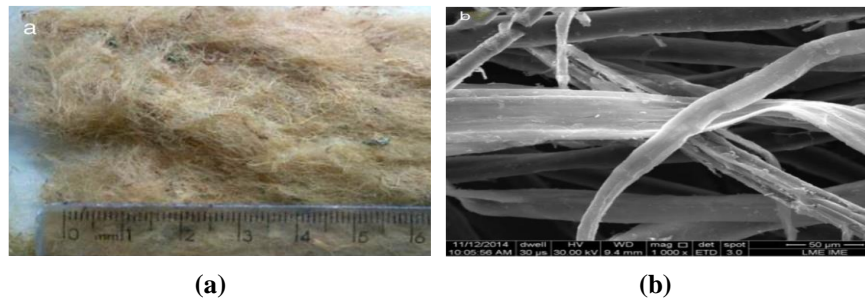
2.1.2. Karakteristik serat rami

Serat rami berasal dari berasal dari kulit batang tanaman (*Boehmeria nivea*, L. Gaud), dengan melalui proses dekortikasi dan pencucian, dalam

proses ini mengandung sekitar 19-30% dari bahan *incrusting* yang dikenal sebagai *gum*, tergantung pada varietas, kondisi *agroklimat* budidaya dan faktor lainnya (Dey dkk 2017). Serat yang dihasilkan oleh kulit batang tanaman rami dapat digunakan menjadi penguat komposit (Mujiyono dkk 2017). Serat rami adalah serat multiguna yang terkenal dan memiliki ciri fisik panjang mengkilap berwarna putih dan penampilan halus. Bentuk fisik selulosa didalam sel serat rami sangat kaku dan kristal tetapi sangat berpori yang memberikan daya serap lebih baik dari serat selulosa lainnya (Maideliza dkk 2017). Kandungan selulosa rami lebih tinggi dari serat kulit pohon lainnya seperti *flax*, *hemp* dan *jute* serat rami ini memiliki kekuatan yang tinggi terutama kekuatan basah kilau dan resistivitas mikroba. Rami sering dicampur dengan serat sintetis untuk menghasilkan beragam kain campuran yang diharapkan untuk mengambil harga lebih tinggi per satuan berat rami dan profitabilitas atau keuntungan yang didapat akan lebih tinggi (Dey dkk 2017). Sel-sel serat rami tahan lama dan memiliki ketahanan yang baik terhadap jamur dan serangga akan tetapi elastisitasnya yang rendah 3-7% yang berarti kaku dan rapuh (Maideliza dkk 2017).

Tanaman rami berpostur tegak dan biasanya tidak bercabang. Jika mengalami gangguan pertumbuhannya, misalnya batangnya patah karena angin atau gangguan fisik, tunas baru dapat tumbuh di bawahnya. Pada tanah yang subur dan tersedia air atau pada musim hujan tinggi bantang dapat melebihi tinggi 2 m. Serat yang diperoleh dari bagian lapisan kulit luar (*blast*) termasuk serat yang tidak mengandung lignin, sehingga serat rami digolongkan sebagai

serat lunak tergolong dengan serat kapas dan tidak tergolong dengan serat ijuk atau serat buah kelapa yang mengandung lignin dan disebut serat kasar atau keras (Subandi 2017).



Gambar 2.2 Serat rami mentah: (a) aspek makroskopik umum; (b) detail mikroskopis dari serat (Braga dkk 2018)

Budidaya rami paling cocok di tanah liat atau berpasir tanah lempung dengan pH 5,5 hingga 7,0. Iklim lembab yang hangat dengan curah hujan tahunan yang baik dari 1500-3000 mm. Optimal suhu untuk pertumbuhan rami adalah 25 °C - 35 °C. untuk tujuan ini. Tanaman rami biasanya diperbanyak dengan sarana rimpang, pemotongan batang dan benih (Ray dkk 2017).

2.1.3. Proses Pabrikasi Serat Rami

Tanaman rami dipanen dua hingga empat kali panen per tahun dimungkinkan tergantung pada iklim, tetapi di bawah kondisi pertumbuhan yang baik rami dapat dipanen hingga enam kali per tahun . Rami dipanen ketika batang bawah menguning dan tangkai baru mulai muncul dan dapat juga pemanenan dilakukan sesaat sebelum atau sesudah mulai berbunga karena ada penurunan pertumbuhan tanaman dan batas maksimal bobot serat pada tahap ini. Waktu panen ini penting karena hasil serat berkurang jika belum matang atau siap panen (Subandi 2017).

Adapun proses pabrikasi serat rami terbagi menjadi 3 bagian yaitu dekortikasi, degumming dan *spinning*.

Dekortikasi

Mesin dekortikasi menghancurkan dan menghilangkan kulit luar dan seluruh bagian kayu bersama dengan *gum* dan *waxes*. Serat yang diekstraksi dicuci pada air mengalir dan digantung selama 1-3 hari, serat megering dan memutih dengan bantuan angin dan sinar matahari. Pengeringan dilakukan sedini mungkin untuk menghindari serangan jamur dan bakteri, setelah dijemur serat rami disikat untuk mengurangi *gums* dan zat lainnya yang menempel pada serat. Produk yang diperoleh melalui mesin dekortikasi serat mentah masih mengandung *gum* 19-30 %, namun demikian serat terbebas dari jaringan *cortical* (Ray dkk 2017).

Degumming

Untuk menghilangkan *gum* tersebut maka proses *retting* umumnya digunakan untuk rami. Pemrosesan harus dimulai sesegera mungkin setelah batang dipotong, jika tidak *gum* akan mengeras dan menjadi sulit untuk dihilangkan (Djafar dkk 2018). Proses ini sangat menentukan kualitas akhir serat siap pintal. Batang basah rami mengandung bahan bergetah (*gum*) antara 20% hingga 35% bergantung pada varietas tanaman. *Gum* ini sebagian besar terdiri atas pektin dan hemiselulosa (Li dkk 2016). Pektin dan hemiselulosa ini sebagian besar tidak larut dalam air dan harus demikian dilangkan sebelum serat dapat dipintal secara mekanis untuk menghasilkan benang (Li dkk 2016).

Degumming bertujuan untuk menghilangkan *gum* pada serat rami dan tidak terikat bersama dengan *residual gum*, secara umum *degumming* dilakukan untuk menghilangkan *hemiselulosa* yang merupakan setengah dari komponen *gum*. Sedangkan menurut Murianingrum dkk (2019) serat rami terdiri dari 69-91% α -selulosa, 5-13% hemiselulosa, 1% lignin, 2% pektin, dan abu 2-4%. Ada banyak proses *degumming* yang digunakan diberbagai belahan dunia, dimana serat dihasilkan melalui proses kimia maupun mikroba (Ray dkk 2017).

Klasifikasi proses *degumming* dapat dilihat pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2** (Ramesh 2018)

<i>Degumming (retting)</i>	Kelebihan atau kekurangan
Biologi alami (embun atau <i>dew retting</i>)	Proses sangat lama (3-6 minggu), kualitas serat yang dihasilkan tidak konsisten, berisiko menurunkan kekuatan serat
Biologi alami (<i>cold water retting</i>)	Kualitas serat tinggi, proses cukup lama (7-14 hari), menghasilkan limbah organik berbau akibat fermentasi gas
Biologi buatan (<i>hot water retting</i>)	Proses lebih singkat (3-5 hari), kualitas serat baik (bersih dan homogen), pencemaran tinggi
Biologi (<i>enzyme retting</i>)	Proses singkat (2-24 jam), tidak mengakibatkan kerusakan serat, biaya proses tinggi sehingga aplikasi baru sebatas skala pilot
Mekanika (<i>green retting</i>)	Proses lebih singkat (2-3 hari maks. 10 hari), kualitas serat kasar

Tabel 2.2 Klasifikasi proses *degumming* (*retting*) (Lanjutan)

<i>Degumming</i> (<i>retting</i>)	Kelebihan atau kekurangan
Fisika (<i>steam explosion retting</i>)	Kualitas serat hanya sesuai untuk tekstil teknik dan aplikasi nontekstil
Fisika (<i>steam explosion retting</i>)	Kualitas kehalusan dan sifat serat hampir sebanding dengan kapas
Kimia (menggunakan surfaktan/asam sulfat/NaOH/natrium karbonat)	Proses singkat (beberapa menit hingga 48 jam), kualitas serat tinggi, namun memerlukan biaya tambahan untuk penanganan limbah

Tabel 2.1 dan **Tabel 2.2** menunjukkan klasifikasi dari *degumming*. Meskipun serat rami biasanya di-*degumming* secara kimiawi, kini juga ada perkembangan yang menjanjikan dengan menggunakan mikroba *degumming* (*retting*). Selain itu, beberapa peneliti melaporkan bahwa penggunaan getaran ultrasonik mempercepat proses *degumming* (Ramesh 2018). Penggabungan proses *degumming* secara biologi maupun kimia dengan teknologi plasma berhasil meningkatkan efektivitas proses *degumming*, memperbaiki sifat mekanik serat, mengurangi konsumsi zat kimia serta mengurangi durasi waktu pengerjaan. Penggabungan metode ini memiliki potensi diaplikasikan tidak hanya untuk *degumming* rami namun juga pada proses *pretreatment* kain kapas mentah dan serat selulosa alam lainnya dengan keuntungan lebih ramah lingkungan karena efisien dalam penggunaan bahan kimia, air maupun energi (Novarini dkk 2015).

Pemintalan Serat Rami (*Spinning*)

Setelah melewati proses dekortikasi dan degumming, serat rami kemudian dipintal menjadi benang dan diproses melalui mesin tenun untuk menghasilkan tenunan rami (Djafar dkk 2018). Serat rami dapat dipintal dengan menggunakan tangan maupun dengan peralatan industri.

Karakteristik individu serat rami mulai dari proses *degumming* hingga pembuatan *top* umumnya mengalami perubahan yang signifikan. Perubahan perubahan tersebut diantaranya adalah panjang serat rata-rata/*mean length* yang menurun drastis (*sliver* awal 200 mm *top* rami menjadi 101,8 mm), kehalusan serat yang meningkat 18,8% (makin halus dari 7,5 denier menjadi 6,09 denier), kekuatan individu serat yang menurun hingga 26,9% (48,0 gram menjadi 35,1 gram) dan mulur serat yang meningkat 17,6% (3,52% menjadi 4,14%). Meski demikian, masih terdapat banyak kelemahan serta kekurangan baik jika ditinjau dari aspek teknis maupun kualitas produk serat/*strand* rami. Secara visual, homogenitas *China grass* yang digunakan relatif masih rendah sehingga hal ini berpengaruh terhadap kualitas akhir serat rami. Rendemen serat rami siap pintal dalam bentuk *top* hanya sebesar 0,8%, sisanya adalah berupa *reused waste* sebanyak 1,3% dan limbah terbuang sebanyak 0,15%. Rendemen tersebut diperoleh dari 100% batang rami basah, dengan asumsi rendemen dari hasil dekortikasi 3% dan limbah *degumming* 25%. Kualitas *top* rami 100% yang dihasilkan dan *top* rami (Novarini dkk 2015).

2.1.4. Aplikasi Serat Rami

Serat rami merupakan serat multiguna mempunyai karakteristik serat yang panjang, berwarna putih alami dan memiliki penampilan yang halus. komposit dengan penguat serat alam yang salah satunya adalah serat rami dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyusun peralatan kedokteran gigi seperti gigi tiruan cekat, restorasi *onlay*, *splinting* gigi goyah, pasak gigi dan *space maintainer* (Murdiyanto 2017). Secara tradisional serat rami biasanya digunakan untuk membuat pakaian dan biasanya dicampur dengan kapas untuk membuat rajutan *sweaters*. Selain itu serat rami juga digunakan untuk membuat taplak meja, serbet dan sapu tangan. Serat rami baik digunakan untuk pabrik kain pakaian, jok, kanvas, saringan kain, benang jahit, mantel gas, jaring ikan, dan kemasan laut (Banerjee dkk 2015) selain dijadikan sebagai bahan tekstil, rami juga dapat dijadikan sebagai kertas dengan kualitas tinggi seperti uang kertas dan kertas rokok (Du dkk 2015).



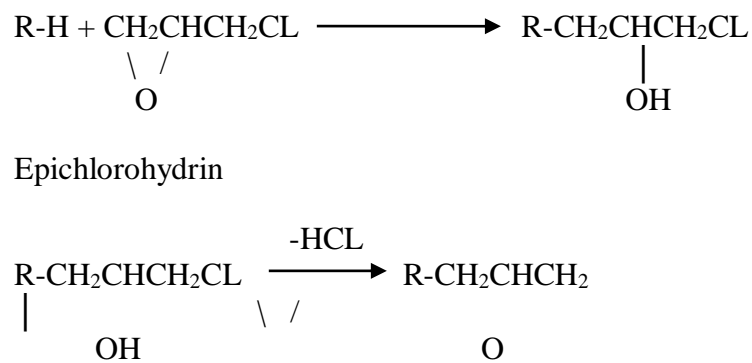
Gambar 2.3. Baju dari serat rami Dey dkk (2017)

Campuran rami dengan serat sintetis sangat sesuai untuk bahan pakaian di negara beriklim tropis karena rami memiliki kapasitas daya serap air yang tinggi. Pencampuran rami dan poliester atau dengan serat buatan lainnya

akan memperbaiki sifat rami yang mudah kusut. Rami juga dapat dicampur dengan wol pada komposisi 50:50. Pencampuran rami dengan wol dapat mengurangi sifat mengkeret wol dan sekaligus meningkatkan kecerahannya (Novarini dkk 2015).

2.2. Resin Epoxy

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 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 dkk 2015).



Gambar 2.4 Reaksi kimia (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 dkk 2015). 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).

Epoxy yang paling banyak digunakan adalah *diglycidyl ether* dari *bisphenol A*, (BPA) memberikan sifat termal dan mekanik yang baik (Feifei dkk 2017) serta resistensi kimia yang baik (Ramon dkk 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). 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 *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 dkk 2018), karena sifatnya yang unggul potensi pasar global resin epoksi (seperti disajikan pada Skema.1) didorong oleh meningkatnya permintaan untuk industri seperti cat dan pelapis, energi angin, aerospace, konstruksi, komposit, dan otomotif (Kumar dkk 2017).

2.3. Komposit

Komposit menjadi material komersial saat ini karena kekuatan spesifiknya yang tinggi dan rasio kekakuan terhadap bobot tertentu, sehingga populer untuk

berbagai jenis aplikasi teknik (Lau dkk 2018). Secara umum komposit didefinisikan dari dua atau lebih komponen yang berbeda dalam bentuk komposisi pada skala makro, dengan dua atau lebih fase yang berbeda (Hendra 2017). Dan tidak larut satu sama lain yang terhubung dengan erat. Namun, secara makroskopik, hal tersebut dianggap sebagai bahan yang homogen yang artinya bahwa setiap bagiannya (asalkan ukurannya besar dibandingkan dengan periode mikrostruktur) selalu memiliki sifat fisik yang sama (Bello dkk 2015).

Manusia telah lama menemukan bahwa batu bata (tanah liat) dapat dibuat lebih kuat dan lebih tahan lama dengan memperkuat tanah liat dengan jerami. Ada banyak juga komposit yang terjadi secara alami, seperti kayu dan tulang. Kayu terdiri dari serat selulosa yang disatukan oleh matriks lignin. Tulang terdiri dari serat kolagen pendek dan lunak yang tertanam dalam matriks mineral. Baik kayu maupun tulang menunjukkan kemampuan beradaptasi yang luar biasa dan kemampuan material komposit dalam mendukung beban dalam kondisi beragam. Akibatnya, material komposit menjadi bahan rekayasa paling komersial untuk berbagai bidang industri dan non-industri (Sharma dkk 2020). Pengembangan material komposit serta desain dan teknologi manufaktur terkait adalah salah satu kemajuan terpenting dalam sejarah material (Zweben, C 2015). Kebutuhan dan permintaan ini tentu saja menyebabkan konsep penggabungan bahan yang berbeda dalam struktur komposit (Ilham dkk 2018).

Terdapat dua bahan penyusun komposit yaitu matriks dan *reinforcements*. Bahan matriks mengikat dan melindungi *reinforcement* dengan mempertahankan keadaan relatifnya. *Reinforcement* memberikan sifat meknik

dan fisik untuk meningkatkan sifat matriks dengan penggabungan ini material komposit menghasilkan sifat-sifat yang tidak tersedia pada material dengan satu bahan penyusun, sedangkan beragamnya matriks dan bahan penguat memungkinkan perancang produk atau struktur untuk memilih kombinasi yang optimal (Hendra 2017). Menurut Sharma dkk (2020) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi sifat komposit yaitu, geometri penguat, orientasi penguatan, jenis penguat, distribusi konsentrasi kekuatan dan fraksi volume. Komposit dapat diklasifikasikan sesuai dengan matriks dan pengisi *reinforcements*. Sesuai dengan *reinforcements*, komposit diklasifikasikan sebagai diperkuat *fiber reinforced*, *particulate reinforced*, *structural composites* dan *nanocomposites*. Untuk klasifikasi matriks, komposit dikelompokkan menjadi tiga yaitu komposit matriks logam (MMC); komposit matriks keramik (CMC) dan komposit matriks polimer (PMC) (Bello dkk 2015). Sejauh ini PMC adalah jenis komposit yang paling banyak digunakan (Nurhapsari dkk 2018) karena harganya murah dan proses pabrikan yang mudah (Sharma dkk 2020).



Gambar 2.5 Komponen mobil terbuat dari komposit serat alami (Lotfi dkk 2019).

Pemilihan proses pembuatan yang cocok untuk membentuk struktur adalah yang terpenting dalam pengembangan sifat rekayasa komposit akhir ke dalam bentuk yang diinginkan tanpa cacat. Penilaian awal untuk memilih yang

paling tepat proses pembuatan melibatkan mempertimbangkan beberapa kriteria utama termasuk bentuk, ukuran, dan sifat yang diinginkan dari komposit, di samping pembuatan biaya, kecepatan produksi, dan sifat-sifat bahan baku. Beberapa manufaktur utama teknik telah ditunjukkan pada gambar (lotfi dkk 2019).

2.3.1. Unsur Pembentuk Komposit

Matriks

Matriks sebagai bahan bantalan untuk melindungi kekuatan tinggi dan serat rapuh terhadap benturan. Selain itu, matriks digunakan untuk menyerap getaran energi untuk menjaga struktur kaku aman di bawah serangan seismic (Lau dkk 2018). Matriks biasanya bersifat lebih ulet, kurang keras, dan berkarakter kontinyu. Matriks sebagai pengikat serat dan menyalurkan beban pada serat. Serat ditambahkan ke matriks dalam bentuk tertentu. Serat biasanya memiliki sifat lebih kuat daripada matriks (Hendra 2017).

Komposit dapat diklasifikasikan menurut jenis bahan matriks menjadi *metal matrix composites* (MMC), *ceramic matrix composites* (CMC), *polymer matrix composites* (PMCs) (Bello dkk 2015) dan *carbon matrix materials* (Zweben dkk 2015). Berikut beberapa penjelasan mengenai matriks tersebut :

Metal Matrics Composite(MMC)

Matriks dalam komposit ini meliputi aluminium, magnesium dan titanium, tembaga, timah, kobalt, perak, dan *superalloy* (Zweben dkk 2015). Tipe serat yang biasa digunakan termasuk karbon dan silikon karbida (Bello dkk 2015). MMC memiliki keunggulan yaitu ketahanan aus dan konduktifitas

yang luar biasa dibandingkan dengan material *metal* konvensional (Sharma dkk 2020).

Ceramic Matrics Composite (CMC)

Matriks keramik adalah pilihan umum untuk aplikasi suhu tinggi seperti piston, bilah rotor di bagian turbin gas. Matriks berbahan keramik memiliki keunggulan seperti ketahanan korosi yang tinggi, titik leleh yang tinggi, mempunyai kekuatan tekan yang unggul dan stabilitas pada suhu yang tinggi. Matriks keramik ini bisa bertahan baik pada suhu tinggi dan beroperasi secara efisien di lingkungan yang korosif (Sharma dkk 2020).

Kerugian dari bahan matriks keramik adalah kerapuhannya, yang membuatnya mudah rentan. Selain rapuh, matriks keramik ini juga kurang memiliki sifat yang seragam dan memiliki ketahanan kejut termal dan mekanis yang rendah, serta kekuatan tarik rendah (Zweben dkk 2015).

Carbon Matrics Composite (CMC)

Matriks ini berbahan dasar serat karbon. Adapun keuntungan utama dari matriks karbon dan komposit karbon/karbon (C/C) adalah tahan terhadap suhu tinggi lebih dari 2200 °C, dan pada suhu yang tinggi kemampuan carbon dapat meningkat (Zweben dkk 2015).

Polymer Matrics Composite (PMC)

Terdapat dua kelas utama matriks berbahan dasar polimer yaitu, *termoset* dan *termoplastik* dengan jenis penguat biasanya serat karbon, serat gelas dan serat alami (Sharma dkk 2020). *Termoset* sejauh ini merupakan resin matriks

yang paling banyak digunakan untuk struktur aplikasi. Dalam aplikasi PMC, polimer termoset atau termoplastik dapat digunakan sebagai komponen matriks. Pada umumnya, PMC merupakan kombinasi yang sangat baik antara serat dan matriks. Dalam sistem ini, serat memberikan kekuatan yang tinggi sedangkan matriks polimer menyebarkan beban dan membantu ketahanan terhadap pelapukan dan korosi (Zweben dkk 2015). Salah satu contoh dari matriks termoset adalah Epoxy, Resin epoksi adalah salah satu opsi matriks dalam pembuatan komposit. Penggunaan Resin Epoksi juga banyak diterapkan pada pengecoran, pelapisan, digunakan untuk isolator listrik, campuran cat dan campuran perekat. Resin epoksi juga memiliki ketahanan aus dan ketahanan guncangan yang sangat baik (Djafar dkk 2018).

Kelebihan yang dimiliki oleh PMC yaitu memberikan berbagai macam kelebihan diantaranya, nilai kekuatan yang tinggi, nilai kekuatan impak yang baik, proses produksi dan peralatan yang murah, ketahanan kimia dan korosi yang luar biasa, serat karakteristik mekanik yang baik. Aplikasi PMC umumnya terdapat pada roket, pesawat terbang dan peralatan olahraga (Sharma dkk 2020).

Sifat-sifat keempat tipe diatas berbeda secara substansial, sifat representatif dari bahan matriks yang dipilih dari masing-masing kategori diatas dan Perbedaan-perbedaan ini memiliki efek mendalam pada sifat-sifat komposit yang menggunakannya (Zweben 2015). dapat diperlihatkan dari **table 2.3** secara substansial.

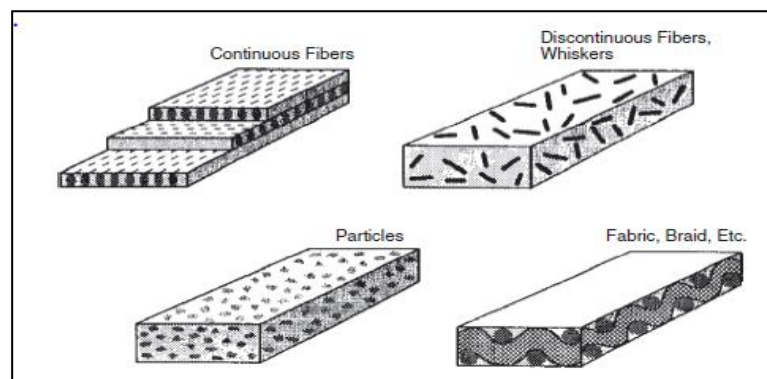
Tabel 2.3Karakteristik jenis matriks

Material	Kategori	Densitas g/cm^3	Modulus Gpa	Tensile Strength MPa	Konduk. Termal $W/m.K$
<i>Epoxy</i>	<i>Polymer</i>	1.8	3.5	70	0.1
<i>Alumunium (6061)</i>	<i>Metal</i>	2.7	69	300	180
<i>Titanium (6Al-4V)</i>	<i>Metal</i>	4.4	105	1100	16
<i>Silicon Carbide</i>	<i>Ceramic</i>	2.9	520	-	81
<i>Alumina</i>	<i>Ceramic</i>	3.9	380	-	20
<i>Glass (borosilicate)</i>	<i>Ceramic</i>	2.2	63	-	2
<i>Carbon</i>	<i>Carbon</i>	1.8	20	-	5-90

Reinforcement

Serat sebagai unsur penguat memberikan kekuatan tarik yang kuat untuk menopangkekakuan tarik dan lentur struktur komposit (Lau dkk 2018). Dalam kebanyakan kasus, unsur penguat lebih keras, lebih kuat tetapi sangat sulit untuk dibuat. *Filler* biasanya dapat berbentuk serat atau partikel. Filler digunakan dalam bentuk serat kontinu/panjang maupun serat pendek (Bello dkk 2015) serta serat partikel dan *whiskers*. Serat kontinu dan *aligned fibre* merupakan bentuk *reinforcement* yang paling efisien dan banyak digunakan

terutama pada aplikasi performa tinggi (Zweben dkk 2015). Serat kontinyu memiliki panjang yang sama dengan pada setiap helainya sedangkan serat partikulat mengisi komposit dengan *reinforcement* berbentuk partikulat (Bello dkk 2015). Secara alami serat yang panjang kontinyu mempunyai kekuatan yang lebih dibanding serat yang berbentuk curah/partikel (*bulk*) (Wisnujati dkk 2018).



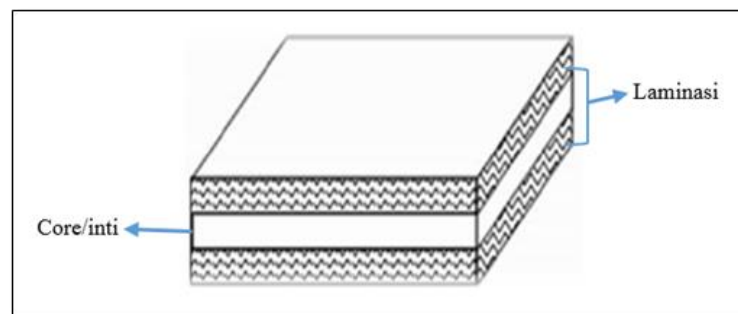
Gambar 2.6 Bentuk-bentuk *reinforcements* (Zweben 2015)

Serat merupakan material yang mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter sangat tinggi. Serat ini juga dapat disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman (Wisnujati dkk 2018). Serat utama yang sering digunakan dalam aplikasi teknik yaitu serat gelas, serat karbon, serat keramik dan serat alam dimana sebagian serat diproduksi dalam bentuk bundel *multifilaments* dan benang (Zweben dkk 2015).

Selain serat komposit dibentuk sebagai *reinforcements*, terdapat komposisi lain untuk membentuk komposit dengan sifat yang tangguh yaitu *structural composites*. *Structural composites* merupakan komposit yang kekuatannya tidak hanya bergantung pada komponen komposit tetapi juga pada konfigurasi

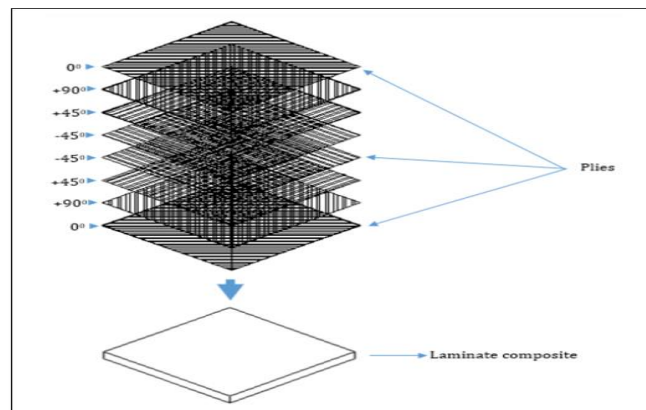
desain dan geometri lapisan strukturnya yang terdiri dari komposit laminasi dan *sandwich*.

Komposit laminasi memiliki jumlah lapisan serat yang ditumpuk lalu diikat bersama untuk memiliki struktur tunggal komposit yang memiliki sifat mekanika yang seragam disegala arah tidak sama pada kasus komposit dengan penguat searah (Zweben dkk 2015). dimana *Structural composites pada* tiap lapisnya memiliki karakteristik tersendiri (Wisnujati dkk 2018). Komposit laminasi material pilihan untuk berbagai bidang aplikasi teknik seperti suku cadang kendaraan bermotor, peralatan olahraga, dan komponen kedirgantaraan karena sifat fisik dan mekanisya yang khusus sepeti arah kekuatan yang dapat dikendalikan (Panchagnula dkk 2018). Sedangkan komposit *sandwich* merupakan komposit laminasi yang memiliki inti (**Gambar 2.5**).



Gambar 2.7 Struktur komposit *sandwich* (Zweben 2015)

Sifat-sifat struktural laminasi komposit seperti kekakuan, stabilitas dimensi dan kekuatan ditentukan oleh urutan susunan lapisan serat yang menunjukkan distribusi orientasi lapisan melalui ketebalan komposit. Namun, pemilihan orientasi lapisan yang tepat sangat penting dalam desain komposit laminasi yang efisien untuk aplikasi teknik yang ditargetkan (**Gambar 2.6**).



Gambar 2.8 Struktur lapisan komposit laminasi (Zweben 2015)

Pada komposit laminasi, serat terbagi dalam berbagai macam bentuk berbeda yaitu *tape*, *woven* dan *knitting*. Lapisan serat dalam bentuk *tape* merupakan lapisan sejajar yang diatur satu arah sehingga komposit yang dihasilkan memiliki kekuatan yang tinggi pada arah yang ditentukan sedangkan lapisan serat dalam bentuk *woven* memiliki 2 arah yang di tenun sepanjang arah longitudinal dan melintang. Lapisan ini mempertahankan orientasi serat dan lebih fleksibel pada penumpukan bentuk-bentuk yang kompleks dari pada *tape* sehingga membuat komposit lebih ringan dengan ukuran kekosongan *void* berkurang, pada umumnya *woven* terbagi menjadi dua jenis yaitu *plain* dan *woven* (Zweben dkk 2015).

2.3.2. Rule of Mix

Persamaan untuk mengetahui volume komposit menjelaskan bahwa volume komposit adalah perpaduan antara volume serat dan volume matrik yang dapat dilihat pada Persamaan 2

$$v_c = v_f + v_m = \frac{mf}{pf} + \frac{mm}{pm} \quad (2)$$

Dengan : v_c = volume komposit (mm^3)

v_f = volume serat/reinforcing (mm^3)

v_m = volume matriks (mm^3)

m_f = massa serat (gram)

m_c = massa komposit (gram)

m_m = massa matriks (gram)

p_f = massa jenis serat (g/mm^3)

p_m = massa jenis matriks (g/mm^3)

Massa komposit didapat melalui persamaan 3 :

$$m_c = m_m + m_f \quad (3)$$

Fraksi volume serat diperoleh melalui Persamaan (4) dan persamaan (5)

$$v_f = \frac{v_f}{v_c} \times 100\% \quad (4)$$

$$w_f = \frac{m_f}{m_c} \times 100\% \quad (5)$$

Dengan w_f = fraksi berat serat (%)

2.3.3 Serat Alami

Dalam beberapa tahun terakhir timbul kesadaran konsumen terhadap produk dari sumber terbarukan sehingga terjadi pengaruh sosial dan perubahannilai-nilai kognitif yang mengarahkan konsumen ke produk yang ramah lingkungan. Secara khusus, material komposit sedang dikembangkan dan dirancang ulang dengan tujuan untuk meningkatkan produk tradisional dan memperkenalkan produk baru secara berkelanjutan dan bertanggung jawab (Pecas dkk 2018).

Serat alami (*natural fiber*) adalah jenis serat yang berasal dari hewan maupun tumbuhan yang sifatnya alami (Djafar dkk 2018). Untuk mendapatkan

bentuk serat, diperlukan beberapa tahap pemrosesan tergantung pada karakter bahan dasarnya. Serat dari tumbuhan antara lain kapas, pelepah pisang, enceng gondok, dan rami. Sedangkan serat dari hewan misalnya wool, sutra, dan bulu burung (Wisnujati dkk 2018) Serat alami terdiri dari selulosa untuk tumbuhan dan serat dari hewan terdiri dari protein namun pada industry komposit serat alam sering disebut dengan serat nabati (Pecas dkk 2018).

Penguatan serat alami dapat dibagi sesuai dengan panjang, dimensi dan orientasi yang dapat berupa serat atau partikel. Serat itu sendiri dikarakteristikan sebagai kontinyu atau terputus-putus (misalnya dicacah) tergantung perbandingan pada panjang diameternya (l/d). Umumnya susunan fase yang diperkuat serat diklasifikasikan sebagai anyaman atau non-anyaman. Anyaman (kain tenun) ditandai dengan jalinan benang tegak lurus terus-menerus dalam pola reguler. Benang adalah struktur yang terdiri dari beberapa serat yang saling bertautan. Susunan non-anyaman adalah struktur datar tanpa untaian jalinan, yang terdiri dari anyaman yang berorientasi pada arah atau acak. Tenunan dapat terdiri dari serat kontinu atau serat cacahsearah, serat cacahacak atau partikel (Pecas dkk 2018).

Meskipun aplikasi yang paling menonjol dari komposit serat alami adalah di sektor otomotif serat alami dapat juga ditambahkan pengaplikasian komposit seperti tekstil, medis, kesehatan, konstruksi dan furnitur. Pada aplikasi serat alami komposit di industri selain sektor otomotif dan beberapa aplikasi ini disajikan di dalam menunjukkan hasil analisis bibliometrik. Berat yang lebih rendah dan biaya serat alami yang relatif lebih rendah adalah yang utama aspek

yang disebut sebagai alasan penggunaan komposit serat alami dalam aplikasi ini (Pecas dkk 2018). Jumlah produksi komposit terbesar saat ini didominasi oleh serat sintetis dan logam, dimana bahan-bahan alami juga dapat digunakan sebagai bahan komposit alternatif yang ramah lingkungan (Irawan dkk 2019). Karena sifatnya yang ramah lingkungan, banyak peneliti yang tertarik untuk meneliti serat alami sebagai bahan opsional untuk komposit polimer yang diperkuat serat alami (NFRC). Serat alami menawarkan sifat ekonomis, kekuatan mekanik yang baik, *non-abrasiv*, dan *bio-degradability* yang tidak ditemui pada serat gelas dan karbon (Lokesh dkk 2019). Salah satu masalah dalam penggunaan serat alami adalah adanya adhesi yang buruk pada serat dan matriks sebagai akibat dari adanya *waxes* yang hadir pada serat alami (Sathyamoorthy dkk 2018).

Dalam beberapa tahun terakhir, serat alami mulai digunakan sebagai alternatif ramah lingkungan dalam berbagai aplikasi material karena serat cenderung bersifat sintetis, seperti serat karbon, serat gelas *reinforced plastic* (Rivera dkk 2017). Pergeseran trend teknologi ini dilandasi oleh sifat komposit berpenguat serat alam yang lebih ramah lingkungan, karena serat alami mampu terurai secara alami dan sifatnya yang *renewable*. Walaupun tak sepenuhnya menggeser serat sintetis, pemanfaatan serat alam yang ramah lingkungan merupakan langkah bijak untuk menyelamatkan kelestarian lingkungan. Komposit berpenguat serat alam juga memiliki rasio kekuatan dengan *density* yang tinggi sehingga komponen yang dihasilkan lebih ringan (Mawardi dkk 2018) karena sifatnya yang ringan dan dapat menerima perlakuan mekanis,

komposit serat alami (NFC) digunakan diberbagai bidang teknik seperti komponen mobil, peralatan olahraga, bagian non-struktur dirgantara (Maleki dkk 2018), Mobil dengan Type equation here. nama 'Trabant' di Jerman adalah mobil pertama yang menggunakan komposit dengan penguat serat alami dalam produksinya. *Body* mobil dibuat dari komposit kapas dan poliester. Kemajuan ini telah mendorong pertumbuhan yang cepat dari penerapan serat alami diperkuat *plastic* menjadi bidang manufaktur (Harun dkk 2016). Pada **Tabel 2.4** memperlihatkan sifat mekanik dari berbagai serat alami.

Tabel 2.4 Perbandingan sifat mekanis dari beberapa serat alam dan sintetik (Suddell dan Evans, 2005).

Serat alam	Range diameter (µm)	Densitas (gr/cm ³)	Elongasi saat patah (%)	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus young
<i>Cotton</i>	12 – 38	1.5	7.0 – 8.0	287 – 597	5.5 - 12.6
<i>Jute</i>	10 – 25	1.3	1.5 – 1.8	393 – 773	26.5
<i>Flax</i>	5 – 38	1.5	2.7 – 3.2	345 - 1035	27.6
<i>Hemp</i>	10 – 51	1.4	1.6	690	35
<i>Sisal</i>	8 – 41	1.5	2.0 – 2.5	511 - 635	9.4 – 22.0
<i>Coir</i>	-	1.2	30.0	175	4 – 6
<i>Bamboo</i>	-	0.8	-	391 - 1000	48 – 89
Soft Wood	-	1.5	-	1000	40
Pineapple	-	-	1.6	413 - 1627	34.5 – 82.5
Ramie	11 – 80	1.5	3.6 - 3.8	400 – 938	61.4–128.0
E-Glass	10	2.5	2.5	2000-3500	70
S-Glass	10	2.5	2.8	4570	86
Armid	12	1.4	3.3 – 3.7	3000-3150	63 – 67
Carbon	7 – 10	1.4	1.4 – 1.8	4000	230 – 240

2.4. Penggurdian

2.4.1. Pengertian Penggurdian

Proses penggurdian adalah salah satu bagian dari proses pemesinan, yang menjadi suatu proses industri dimana benda kerja dibentuk dengan menghilangkan bahan yang tidak diinginkan (Ismail 2017). Proses ini dilakukan sebelum melakukan perakitan, material komposit harus melalui proses permesinan dengan membuat sejumlah lubang gurdi (Ghasemi dkk 2017). Dimana fungsi dari setiap struktur mekanik sebagian besar tergantung pada kualitas perakitan diantara bagian-bagian yang saling berhubungan, yang dicapai melalui penggunaan pengencang mekanis antara lain seperti paku keling, pin, sekrup dan baut (Ismail 2017). Pemesinan bahan komposit telah dimulai dari tahun 1970-an dan berkonsentrasi pada penggurdian komposit yang diperkuat serat (Ramesh dkk 2017).

Meskipun dalam penggurdian logam, bahan dihilangkan sebagai chip deformasi plastik dengan dimensi yang besar sedangkan pada penggurdian komposit yang diperkuat dengan serat penghilangan material merupakan *fracture* dan chip seperti bubuk/debu (Lopez 2015). Banyak fenomena negatif yang terjadi dalam proses permesinan material yang dapat menyebabkan kerusakan dan mereduksi kinerja mekanis material komposit, yang kemudian membuat material tidak dapat digunakan dalam aplikasi struktur (Tyczynski dkk 2015).

Struktur material pembangun komposit semakin berkembang dari masa ke masa menyebabkan banyaknya penelitian mengenai pengaruh variasi parameter penggurdian komposit, karena kendala karakteristik bahan penyusun yang berbeda menuntut penggunaan parameter permesinan harus disesuaikan dengan sifat material pembangun komposit (Tyczynski dkk 2015). Pilihan parameter yang tidak tepat dapat menyebabkan degradasi material yang tidak dapat diterima, seperti *fiber pull-out* (Zitoune dkk 2019), *matrix cratering*, kerusakan termal dan delaminasi (Bukhari dkk 2017) dimana kecacatan ini merusak integritas permukaan lubang yang digurdi untuk proses perakitan, sehingga menurunkan kinerja jangka panjang laminasi komposit (Liu dkk 2018). Alat yang digunakan pada saat penggurdian disebut “bor/gurdi”, dimana alat ini berputar pada poros mesin yang bergerak aksial terhadap benda kerja untuk menghasilkan lubang pada komposit, terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil gurdi yaitu *feed rate*, *spindel speed*, benda kerja, material gurdi, geometri dan pengaruh kondisi penggurdian seperti pendinginan (Lopez 2015).

Parameter penggurdian dituntut untuk mendapatkan kinerja yang diinginkan, seperti permukaan yang bagus, kualitas lubang gurdi yang baik, akurasi dimensi komponen, keausan pahat minimum, pelepasan chip mudah, dan sebagainya. Selain itu, mereka harus memenuhi kriteria ekonomi, seperti biaya produksi minimum atau tingkat produksi yang maksimum (Tyczynski dkk 2015). Sedangkan kualitas lubang yang buruk menjadi persentase terbesar dalam penolakan struktur komposit karena permukaan akhir dan geometri

lubang adalah parameter penting dalam penggurdian (Bukhari dkk 2017). Selain itu, parameter yang mengatur mekanika penggurdian adalah kecepatan potong, *feed rate*, gaya potong, dan laju pelepasan material (MRR). Ini dibahas lebih lanjut sebagai berikut:

Cutting Speed

Cutting speed adalah tingkat di mana bagian luar atau pinggiran gurdi/*tool* bergerak relatif terhadap benda kerja yang biasanya diukur dalam satuan mm / menit dan merupakan satuan yang terbesar dari semua kecepatan relatif yang dikembangkan dalam operasi penggurdian (Ismail 2017). Dimana hubungan antara kecepatan pakan dengan rotasi alat potong dirumuskan dalam :

$$V = \frac{\pi DN}{1000} \quad (6)$$

Di mana V adalah kecepatan periferal yang diukur dalam mm/s, D adalah diameter mata gurdi dalam mm, dan N adalah kecepatan rotasi; sebaliknya disebut sebagai kecepatan spindel, diukur dalam putaran per menit (rpm)

Sehingga kecepatan spindel dapat dirumuskan sebagai :

$$S = \frac{1000}{\pi D} \quad (7)$$

Kecepatan pemotongan yang optimal dapat disesuaikan untuk kinerja yang lebih baik, tergantung pada faktor-faktor seperti bahan komposit meliputi kekerasan dan stabilitas termal, kedalaman lubang serta kualitas akhir yang diinginkan, kekakuan alat potong dan orientasi penggurdian(Ismail 2017)

Feed Rate

Feed rate mengacu pada tingkat di mana alat gurdi maju sepanjang geometri benda kerja, biasanya diukur dalam mm/menit. Dimana ini

menandakan tingkat di mana bahan benda kerja dimasukkan ke dalam mata gurdi tanpa menyebabkan kemacetan dengan persamaan :

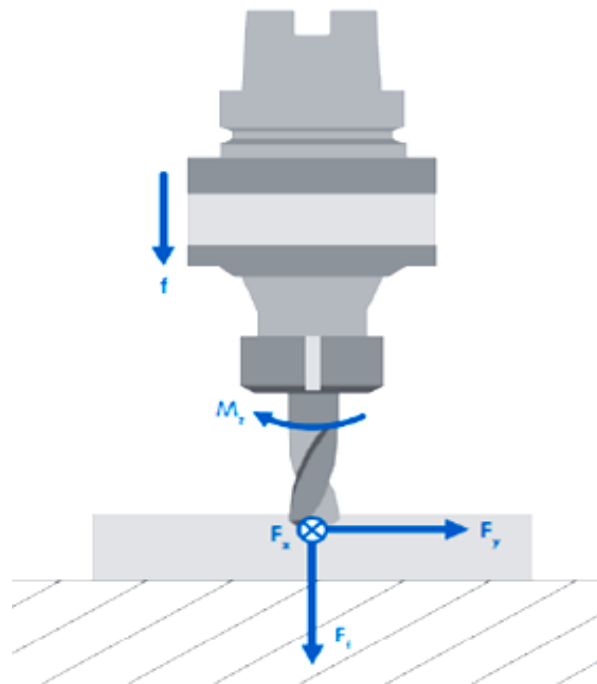
$$F = S \times f \times N \quad (8)$$

Dimana S = kecepatan spindel, $f = \textit{feed}$ per putaran, dan N adalah jumlah *flutes* pada alat pemotong.

Selain itu, *feed rate* adalah parameter standar untuk diameter gurdi yang berbeda, dan sangat bergantung pada sifat kekuatan material benda kerja. Aturan praktis yang baik untuk operasi penggurdian adalah menggunakan tingkat *feed* yang lebih rendah untuk material kerja yang lebih keras, dan tingkat *feed* yang lebih tinggi untuk material kerja yang lebih lunak (Ismail 2017).

Cutting force

Cutting force mengacu pada gaya kontak yang dihasilkan oleh ujung pahat terhadap permukaan benda kerja, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**



Gambar 2.9 *Cutting force* dalam proses penggurdian (Ismail 2017)

Dari gambar 2.6 M_z : momen penggurdian, F_x : arah gaya potong sumbu x, F_y : arah gaya potong sumbu y dan F_r : *feed force*.

Material removal

Material removal adalah volume material benda kerja yang terlepas per menit, dengan persamaan :

$$MPR = V \times F \times D \quad (9)$$

Dimana f adalah *feed* per rotasi pahat potong (mm/rev)

Banyak teknik eksperimental yang telah dilakukan untuk menghubungkan keausan pahat dengan proses variabel seperti gaya, permukaan akhir, dan delaminasi. Keausan gudi adalah salah satu masalah serius terkait baik dengan proses penggurdian tradisional maupun bahan komposit, yang mengarah pada perubahan karakteristik lubang yang diproduksi dan kegagalan alat (Hallberg

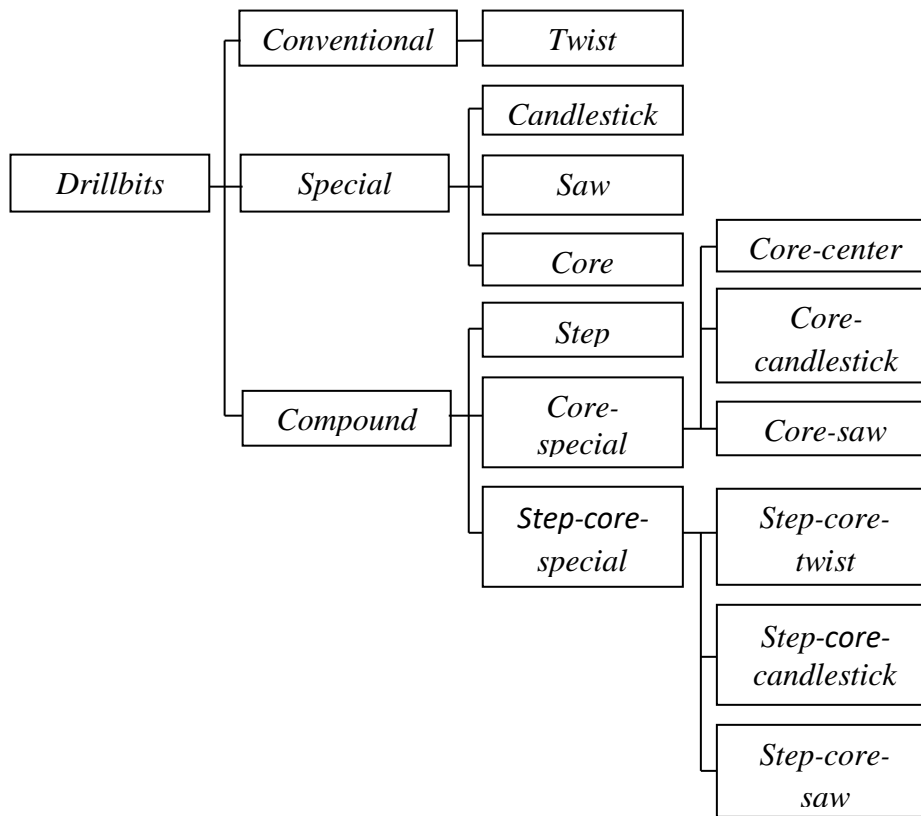
dkk 2017). Banyak teknik eksperimental yang telah dilakukan untuk menghubungkan keausan pahat dengan proses variabel seperti gaya, permukaan akhir, dan delaminasi.

2.4.2. Pahat Gurdi

Pada saat penggurdian, terdapat parameter yang dapat mempengaruhi kualitas lubang penggurdian komposit polimer diantaranya *feed rate*, *spindel speed* dan geometri pahat. Sebagian besar investigasi dilakukan untuk menentukan *feed rate* dan *spindel speed* yang optimal dalam penggurdian komposit, namun belum ada inovasi yang tepat yang dapat digunakan dalam bidang geometri pahat (Debnath dkk 2016). Menurut Ragunath dkk (2017) kualitas lubang gurdi dapat dicapai pada tingkat *feed rate* minimum pada GFRPC dan disaat yang sama tingginya tingkat *feed rate* dapat mengakibatkan terjadinya fraktur pada komposit yang secara alami dipengaruhi oleh diameter gurdi dimana permukaan kontak antara alat dan benda kerja dapat meningkatkan beban pada mata gurdi sehingga terjadi penyimpangan suhu sehingga menurunkan kualitas lubang gurdi. Salah satu geometri pahat dalam permesinan komposit bergantung pada ketajaman *edge cutting* untuk mendapatkan hasil akhir dan toleransi yang baik, dimana matriks memiliki resistensi yang kecil sedangkan serat sangat sulit untuk dipotong dan sangat abrasiv sehingga menghasilkan keausan pahat yang signifikan, maka biasanya pahat potong menggunakan material *carbide* (Hallberg dkk 2017). karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanan aus yang dibandingkan dengan Baja Kecepatan Tinggi (HSS) (Hassan dkk 2018). Selain itu, geometri alat secara

signifikan mempengaruhi kerusakan yang disebabkan penggurdian (Caggiano dkk 2018). Dengan begitu pemilihan geometri gurdi yang tepat juga akan mengurangi efek delaminasi dalam proses permesinan komposit (Hallberg dkk 2017) sedangkan pendesainan alat baru dengan kinerja yang lebih baik dalam hal biaya, pengurangan kerusakan, dan kualitas lubang adalah faktor utama untuk optimasi proses penggurdian (Caggiano dkk 2018). Menurut Maleki dkk (2018) tipe gurdi yang digunakan berperan krusial dalam menentukan kualitas penggurdian material komposit. Perbedaan jenis gurdi mempengaruhi gaya dorong yang dihasilkan selama penggurdian. Selain tipe gurdi, material gurdi juga berpengaruh pada hasil akhir penggurdian, Menurut Ragunath dkk (2017). Efek delaminasi berkurang pada FRPC karena penggunaan *special drill bits*. Sedangkan menurut Debnath dkk (2016) penggunaan gurdi konvensional *twist* menyebabkan kerusakan permukaan yang parah, walaupun masih banyak digunakan dalam penggurdian komposit.

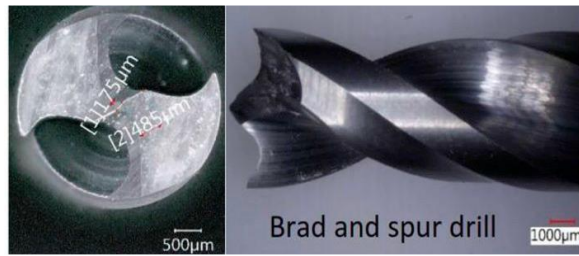
Selama proses penggurdian, karena interkoneksi partikel bahan hancur selama pemotongan, mata gurdi terkena pengaruh mekanis, termal, dan kimia, atau aus. Daya tahan dan masa pakai mata gurdi tergantung pada bahan matagurdi, bahan benda kerja, mode operasi, dan yang paling penting, kecepatan potong. Umumnya, pelumas digunakan selama penggurdian untuk menghilangkan panas yang dihasilkan selama proses pemotongan (Botak dkk 2018).



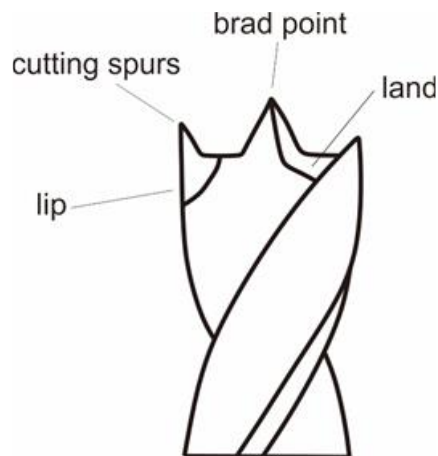
Gambar 2.10 Klasifikasi *drill bits*(Tsaο 2012)

Candlestick drill

Candlestick atau biasa disebut dengan *brad and spur drill* adalah kombinasi dari *twist drill* dan *saw drill*, yang banyak digunakan untuk menggurdi material komposit. Gurdi *candlestick* terdiri dari 3 *drill tips* dan terdapat 4 *cutting edges*. Dimana terdapat satu *inner drill tips* dan dua *outer drill tips* serta dua *cutting edge* pada masing outer dan inner sedangkan pada masing-masing *cutting edges* terdapat *rake* dan *clearance angle* (Liu dkk 2017). *Candlestick* dirancang khusus untuk membuat lubang pada kayu dan komposit yang diperkuat serat (Latha dkk 2011).



Gambar 2.11 Geometri gurdicandlestick (Gemi dkk 2019)



Gambar 2.12Detail pahat gurdi candlestick (Chandrabakty dkk 2020).

2.5. Thrust force

Thrust force atau gaya dorong adalah gaya aksial, gaya yang bergerak searah dengan *feed rate*. Gaya dorong ini memberi tekanan pada mata gurdi sepanjang sumbu linear. Gaya dorong ini bergerak tegak lurus terhadap gaya potong. Gaya dorong pada saat penggurdian diteruskan ke spesimen. Hal ini sangat tergantung pada parameter penggurdian dan itu tidak mungkin untuk mengendalikannya secara langsung. Gaya dorong menghubungkan laju umpan (*feed rate*) dengan laju pakan (*spindle speed*) merupakan parameter paling penting yang mempengaruhi gaya dorong saat penggurdian, karena laju pakan dapat langsung dikontrol. Serangkaian model empiris dikembangkan untuk

mengkorelasikan gaya dorong penggurdian dan laju umpan dengan menggunakan analisis regresi linier untuk berbagai jenis bahan komposit (Chandrabakty dkk 2019). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa jenis mata gurdi memainkan peran penting dalam mengkarakterisasi penggurdian perilaku laminasi komposit (Maleki dkk 2018). Untuk mendapatkan geometri akhir dari produk komposit, Proses manufaktur dan permesinan akan dibutuhkan, seperti mesin *cutting edge* dan mesin gurdi. Namun, sulit untuk mendapatkan *finishing* maksimal dibandingkan dengan proses permesinan dalam logam (Chandrabakty dkk 2019) sehingga Optimalisasi parameter proses penggurdian (kecepatan spindel, laju umpan, diameter gurdi dan sudut pemakanan gurdi) dapat meminimalkan gaya dorong mengarah ke peningkatan kualitas yang lebih baik dari lubang gurdi (permukaan akhir yang baik dan delaminasi minimum). Oleh karena itu, gaya dorong, torsi, delaminasi dan kekasaran permukaan dipilih sebagai variable hasil proses penggurdian dalam penggurdian komposit (Shetty 2016).

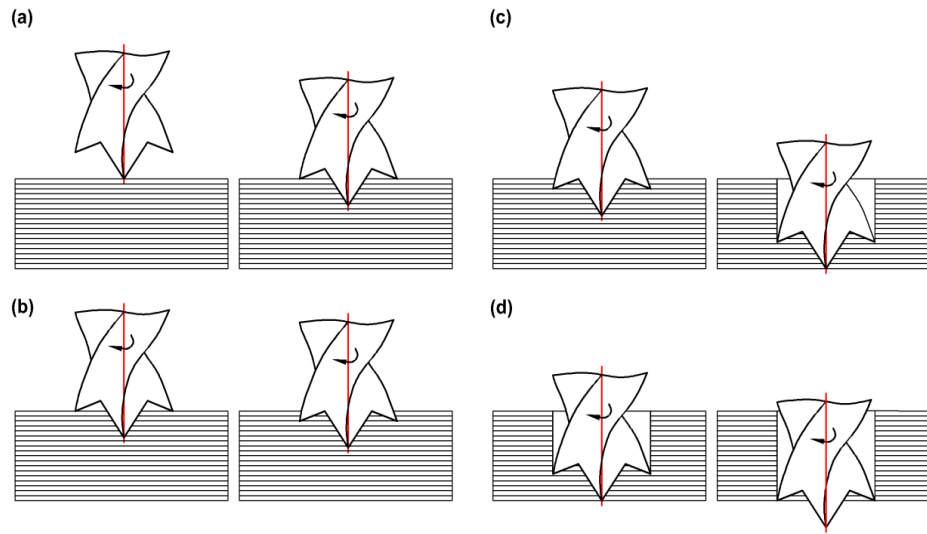
Penyebab utama kerusakan material komposit selama proses permesinan adalah homogenitas material, sifat anisotropik dan fenomena kerusakan kompleks yang menghasilkan permukaan akhir yang buruk, ketidakakuratan dimensi, dan ketidaksesuaian dengan hasil akhir komponen. Penggurdian bahan komposit dapat merusak kontinuitas serat dan menyebabkan kerusakan seperti permukaan delaminasi, penarikan serat / resin, degradasi termal matriks kerusakan pada serat penguat, celah dalam matriks, terlepasnya ikatan antaraserat / matriks, *fuzzing*, spalling (Ramesh dkk 2017).

Delaminasi adalah terjadinya kerusakan yang muncul karena anisotropi dan kerapuhan bahan komposit. Dalam praktiknya, untuk mengurangi kerusakan dalam proses pemesinan diperlukan parameter pemesinan yang optimal untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi. Delaminasi yang muncul pada sisi masuk dan keluar komposit adalah penting dan harus dikurangi karena dapat menurunkan kekuatan bantalan dan stabilitas material. Kerusakan dan delaminasi karena proses pengolahan umumnya terjadi karena gaya dorong dari alat pemotong terhadap bahan komposit. Delaminasi pada proses penggurdian dapat dianalisis dengan melihat langsung pada faktor delaminasi atau dengan mencari untuk gaya dorong atau torsi dalam penggurdian material komposit (Chandrabakty dkk 2019).

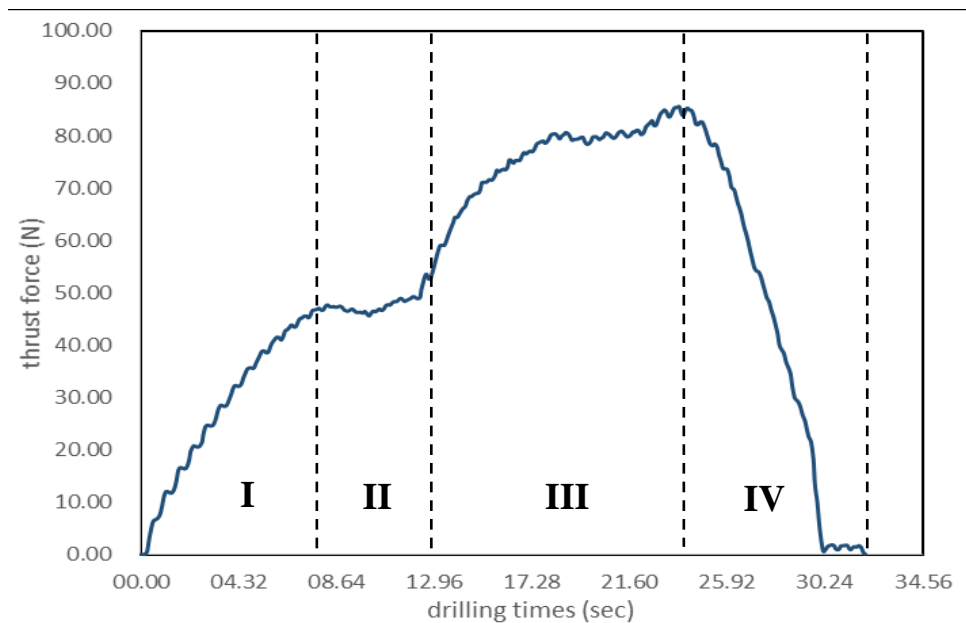
Ada beberapa faktor yang saling terkait, seperti waktu penggurdian, gaya dorong, dan kerusakan delaminasi yang mempengaruhi kualitas permukaan lubang gurdi. Berdasarkan hasil eksperimen, beberapa kesimpulan bisa ditarik dalam paragraf berikut. Waktu penggurdian mempengaruhi peningkatan gaya dorong sementara waktu penggurdian dipengaruhi oleh laju umpan dan kecepatan spindel. Itu semakin tinggi laju umpan, semakin cepat waktu penggurdian terjadi. Jika dilihat dari diameter alat, bisa dilihat bahwa alat itu diameter meningkat secara signifikan, diikuti oleh peningkatan gaya dorong. Ketika dianalisis dalam hal kerusakan delaminasi pada peningkatan faktor delaminasi bersama dengan peningkatan laju pakan dan peningkatan kecepatan spindel yang dapat ditemukan di kedua sisi. Sementara perubahan diameter pahat, justru terlihat bahwa ada penurunan faktor delaminasi seiring dengan

meningkatnya diameter alat. Hal yang sama terjadi di kedua sisi lubang. Apalagi kapan dibandingkan antara sisi masuk dan lubang gurdi keluar, kerusakan delaminasi yang lebih signifikan ditemukan di sisi keluar.

Hubungan antara gaya dorong dan laju umpan dimana gaya dorong meningkat diperoleh karena laju umpan meningkat. Kecenderungan ini muncul di semua variasi dalam diameter pahat yang digunakan. Namun, dengan berbedahasil jika dilihat dari efek kecepatan spindel, ada penurunan gaya dorong selama peningkatan spindel mempercepat. Dampak kecepatan spindel tinggi berperan dalam memfasilitasi mata gurdi untuk memotong matriks dan lapisan rami tenunan dengan sempurna. Kecepatan spindel yang tinggi membuat gaya potong lebih rendah dengan mengurangi terjadinya splintering, dan pemotongan proses menjadi lancar. Nilai gaya dorong secara signifikan terkait dengan panjang waktu penggurdian. Dimana laju umpan dan kecepatan spindel lebih mempengaruhi waktu penggurdian. Semakin banyak laju umpan dan kecepatan spindel meningkat, semakin cepat waktu penggurdian digunakan, sementara peningkatan diameter pahat tidak banyak berpengaruh pada waktu penggurdian. Semakin lama waktu penggurdian digunakan, maka menurunkan gaya dorong. Fenomena ini terjadi karena ada "waktu" bagi taji untuk memotong serat di setiap lapis. Ini dengan demikian mengurangi tekanan, yang dapat meningkatkan beban dan gaya potong.



Gambar 2.134 fase penggurdian komposit menggunakan *candlestick drill* (Liu dkk 2017)



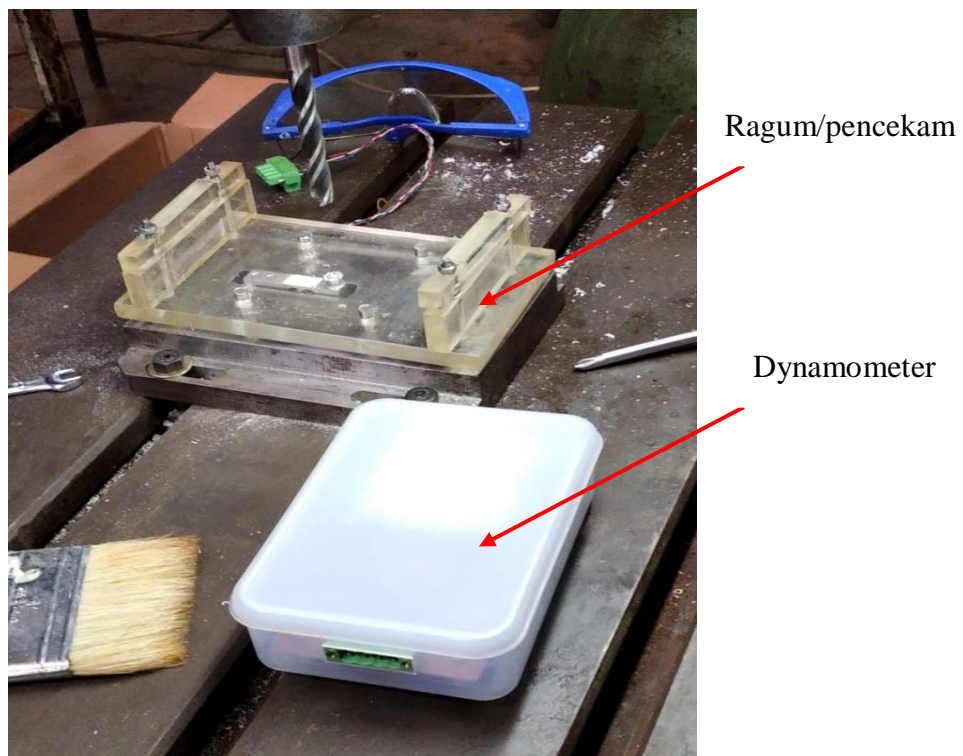
Gambar 2.14 Tahapan dalam proses gurdi (Chandrabakty dkk 2020)

Proses penggurdian terdiri dari empat fase. Fase I dimulai ketika ujung gurdi telah menyentuh permukaan benda kerja hingga ujung tombak "*spur*" menembus bagian atas lapisan spesimen. Fase II adalah proses ketika gurdi menembus matriks sampai menyentuh tenunan rami. Pada tahap ini, gaya dorong cenderung rata. Fase III adalah ketika ujung *brad-point* menembus

lapisan anyaman rami, dan pada saat yang sama, ujung tombak memotong lapisan anyaman rami untuk memastikan diameter lubang yang diinginkan. Dorongan kekuatan bergerak ke puncaknya pada tahap ini. Fase IV terjadi ketika mata gurdi telah menembus lapisan terakhir benda kerja hingga pada saat proses reaming itu terjadi, gaya dorong akan berkurang secara drastis hingga nol. Dalam beberapa operasi, puncak kecil muncul disebabkan oleh gaya dorong ketika ujung "taji" memotong dan menembus lapisan matriks terakhir untuk memastikan lubang penggurdian. Sedangkan, ketika diperiksa dari diameter mata gurdi, diperoleh gaya dorong terendah pada diameter yang lebih kecil. Kemudian akan meningkat dengan meningkatnya diameter pahat. Gaya dorong rendah yang diperoleh pada diameter yang lebih kecil kemungkinan karena area permukaan pahat yang bersentuhan dengan spesimen yang lebih kecil, menyebabkan pembuangan panas yang lebih rendah selama proses penggurdian. Menurut Shetty dkk (2016), gaya dorong dapat menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi, ketahanan aus, konduktivitas termal, dan tingkat pembuangan panas yang tinggi gurdi. Karena faktor-faktor ini, panas yang dihasilkan oleh kontak antara ujung gurdi dan bahan menjadi berkurang dan menghasilkan gesekan yang lebih kecil. Dalam penelitian sebelumnya, Srinivasan 2014, berpendapat bahwa gaya dorong terkecil adalah diperoleh pada kecepatan spindel tinggi, diameter gurdi kecil, dan laju umpan rendah. Selanjutnya dikatakan bahwa ukuran lubang adalah penyebab perkembangan gaya dorong, semakin besar lubang, semakin banyak gaya dorong terjadi.

2.5.1 Dynamometer

Alat sensor gaya (*dynamometer*) berfungsi untuk mengukur gaya dorong pahat gundi (*thrust force*) pada saat terjadinya penggurdian. Alat ini dilengkapi dengan sensor pembaca gaya (*loadcell*) berkapasitas 15 kg dan data akuisisi yang mampu menerjemahkan data dari *loadcell* hingga bisa terbaca di komputer.

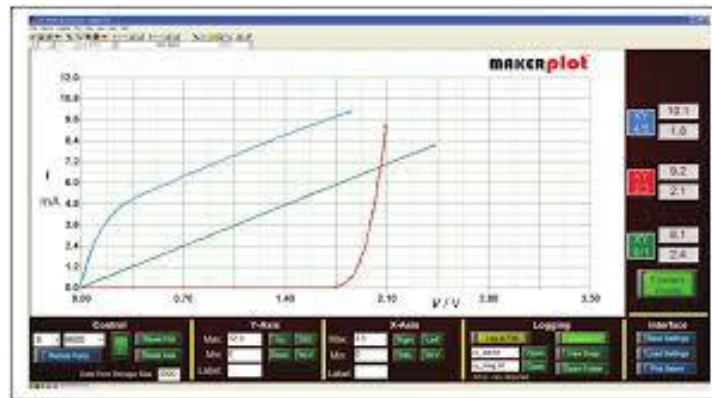


Gambar 2.15Dynamometer (Chandrabakty dkk 2020)

2.5.2 Software MakerPlot

Software *MakerPlot* digunakan untuk membaca data *thrust force* yang dikirim melalui data akuisisike komputer. *MakerPlot* merupakan perangkat lunak berbasis *Windows* yang berfungsi dalam memplot dan sebai data *logging* analog dan digital yang dihasilkan oleh mikrokontroler dan perangkat lain

dengan *output* serial ASCII. *MakerPlot* juga memiliki kemampuan membaca informasi langsung dari *interface GUI (Graphical User Interface)* dengan intruksi kontrol langsung dari mikrokontroler. *MakerPlot* adalah produk *SelmaWare Solution, LLC* dan didistribusikan oleh *LearnOnline, Inc.* sebagai distributor eksklusif *MakerPlot*.



Gambar 2.16 Software *MakerPlot* (Chandrabakty dkk 2020).