

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGURDIAN TERHADAP KEKUATAN
TARIK *OPEN HOLE* PADA KOMPOSIT YANG DIPERKUAT
TENUNAN SERAT RAMI**

OLEH :

A. ADHY KUSUMA PUTRA

D211 16 316



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

SKRIPSI

**PENGARUH PENGURDAN TERHADAP KEKUATAN
TARIK *OPEN HOLE* PADA KOMPOSIT YANG DIPERKUAT
TENUNAN SERAT RAMI**

DISUSUN OLEH :

A. ADHY KUSUMA PUTRA

D211 16 316

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENGGURDIAN TERHADAP KEKUATAN TARIK *OPEN HOLE* PADA KOMPOSIT YANG DIPERKUAT TENUNAN SERAT RAMI

Disusun dan diajukan oleh

A. ADHY KUSUMA PUTRA

D211 16 316

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 20 April 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir Zulkifli Djafar, MT.
NIP. 19650630 199103 1 004



Dr. Ir. H. Ilvas Renreng, MT.
NIP. 19570914 198703 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. H. Jalaluddin, S.T., M.T.
NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda-tangan dibawah ini:

Nama : A. Adhy Kusuma Putra

NIM : D211 16 316

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“PENGARUH PENGGURDIAN TERHADAP KEKUATAN TARIK *OPEN HOLE* PADA KOMPOSIT YANG DIPERKUAT TENUNAN SERAT RAMI”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

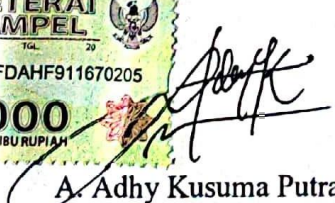
Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 20 April 2021

Yang membuat pernyataan,




A. Adhy Kusuma Putra

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : A. Adhy Kusuma Putra
Tempat, Tanggal Lahir : Makassar, 1 Juni 1998
Alamat : Jl. Tamangapa Raya III, Perum. Bumi Husadah
Indah S/13
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Telepon : 0853-4000-4498
E-mail : adhykusumap@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMA Islam Athirah Bone (2013 - 2016)
SMP Negeri 5 Maros (2010 - 2013)
SD Angkasa Pura I (2004 - 2010)
Riwayat Organisasi : Koordinator Keagamaan HMM FT-UH (2018)
Ketua II HMM FT-UH (2019)
LDF AL-MUHANDIS (2017-2019)
Pengalaman Kerja : Asisten Laboratorium Mekanika Terpakai
PT. Wika Beton (Desember 2018 - Januari 2019)
PT. Semen Tonasa (Februari 2020 - Agustus 2020)

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan guna memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik bantuan moril maupun materi. Pada kesempatan ini, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, M.T. sebagai pembimbing I, atas segala ketulusan hati membimbing dan memberikan motivasi, nasehat dan arahan bagi penulis sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T. sebagai pembimbing II, atas segala ketulusan hati membimbing dan memberikan arahan bagi penulis sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
3. Seluruh tim dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah membimbing penulis selama perkuliahan memberikan ilmu dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis hingga tugas akhir ini diselesaikan.
4. Laboran, staff dan pegawai program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
5. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin Angkatan 2016 yang telah menjadi saudara dan banyak membantu penulis selama di bangku perkuliahan.

Secara khusus pernyataan terima kasih yang tak terhingga penulis persembahkan kepada kedua orang tua, saudara, dan seluruh keluarga yang selalu tulus dalam memberikan doa, kasih sayang, dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Sepenuhnya Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan, hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis. Sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun mudah-mudahan dikemudian hari penulis dapat memperbaiki segala kekurangannya dan bermanfaat bagi banyak pihak.

Makassar, 21 Maret 2021

Penulis

ABSTRAK

A. ADHY KUSUMA PUTRA, *Pengaruh Penggurdian terhadap Kekuatan Tarik Open Hole pada Komposit yang diperkuat Tenunan Serat Rami* (dibimbing oleh Zulkifli Djafar dan Ilyas Renreng).

Serat rami memiliki keunggulan dibandingkan serat alam yang lain seperti kekuatan tarik, daya serap terhadap air, tahan terhadap kelembapan dan bakteri, lebih ringan dibanding serat sintesis serta ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik *open hole* komposit tenunan rami setelah proses penggurdian terhadap berbagai variasi feedrate, kecepatan spindel, diameter pahat gurdi, dan variasi jumlah lapis tenunan. Pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay up* dan *compression molding* dengan menggunakan *Epoxy Resin Bisphenol A* tipe *Epichlorohydrin* sebagai matriks (pengikat) pada cetakan yang berukuran 200 x 200 x 4 mm. Pengujian tarik mengacu pada ASTM D5766/D 5766M-02. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi feedrate, kecepatan spindel, diameter pahat gurdi, dan jumlah lapis cukup mempengaruhi nilai kekuatan tarik dari komposit. Untuk memperoleh hasil yang optimal diperlukan variasi feedrate yang rendah, kecepatan spindel yang rendah, dan diameter gurdi yang kecil pada saat penggurdian komposit serta dengan jumlah lapis penguat yang lebih banyak. Dari penelitian ini kekuatan tarik tertinggi terdapat pada komposit dengan variasi feedrate 0,05 mm/rev, kecepatan spindel 88 rpm, diameter pahat gurdi 6 mm, dan 5 lapisan tenunan rami dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar $44,37 \pm 0,87$ MPa.

Kata Kunci: Komposit, Tenunan Rami, Epoksi, Penggurdian, Kekuatan Tarik

ABSTRACT

A. ADHY KUSUMA PUTRA, *Effect of Drilling on the Tensile Strength of Open Hole in Ramie Fiber-Reinforced Composites* (Supervised by Zulkifli Djafar and Ilyas Renreng)

Ramie fiber has advantages over other natural fibers such as tensile strength, water absorption, resistance to moisture and bacteria, lighter than synthetic fibers and environmentally friendly. This study aims to analyze the open hole tensile strength of ramie woven composites after the dredging process for various variations in feed rate, spindle speed, drill bit diameter, and variations in the number of woven layers. Composites were made using the hand lay up method and compression molding using Epoxy Resin Bisphenol A type Epichlorohydrin as a matrix (binder) on a mold measuring 200 x 200 x 4 mm. Tensile testing refers to ASTM D5766 / D 5766M-02. The results showed that the variation in feed rate, spindle speed, diameter of the drill chisel, and the number of layers influenced the tensile strength value of the composite. To obtain optimal results required low feed rate variation, low spindle speed, and small diameter of the drill bit during grinding of the composites as well as with a larger number of reinforcing layers. From this study, the highest tensile strength was found in composites with a feed rate variation of 0.05 mm / rev, 88 rpm spindle speed, 6 mm diameter of drill bit, and 5 layers of ramie woven with an average tensile strength value of 44.37 ± 0.87 MPa.

Keywords: Composite, Ramie Weave, Epoxy, Drilling, Tensile Strength

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
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	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Komposit	7
2.1.1. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat	8
2.1.2. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks	15
2.2. Tanaman Rami	16
2.2.1. Karakteristik Tanaman Rami	19
2.2.2. Budidaya Tanaman Rami	21

2.2.3. Tenunan Serat Rami.....	22
2.3. Resin Epoksi.....	23
2.4. Penggurdian.....	25
2.4.1. <i>Open Hole</i> dan <i>Blind Hole</i>	28
2.5. Tinjauan Tentang Delaminasi	29
2.6. Kekuatan Tarik <i>Open Hole</i>	31
2.7. Konsentrasi Tegangan.....	34
BAB III METODE PENELITIAN.....	37
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.2. Alat dan Bahan.....	38
3.2.1. Alat yang digunakan	38
3.2.2. Bahan yang digunakan	38
3.3. Metode Penelitian.....	40
3.4. Pelaksanaan Penelitian	41
3.4.1. Persiapan alat dan bahan	41
3.4.2. Pengolahan serat rami	41
3.4.3. Proses pencetakan panel komposit.....	42
3.4.4. Pemotongan spesimen.....	45
3.4.5. Jumlah spesimen	45
3.4.6. Analisis kekuatan tarik spesimen setelah penggurdian.....	47
3.4.7. Diagram alir penelitian.....	48
3.5. Pengukuran Variable / Parameter.....	49
3.6. Analisis Data	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50

4.1. Pengaruh Variasi Jumlah Lapis Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Rami.....	50
4.2. Pengaruh Variasi <i>Feed rate</i> Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Rami	53
4.3. Pengaruh Variasi Kecepatan Spindel Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Rami.....	56
4.4. Pengaruh Variasi Diameter Pahat Gurdi Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Rami.....	59
4.5. Grafik Kekuatan dan Regangan Tarik pada Komposit Rami dengan Variasi Jumlah Lapis Penguat	62
4.6. Grafik Kekuatan dan Regangan Tarik pada Komposit Rami dengan Variasi Kecepatan Spindel dan <i>Feed rate</i>	64
4.7. Grafik Kekuatan dan Regangan Tarik pada Komposit Rami dengan Variasi Diameter Pahat Gurdi.	67
4.8. Foto Makro Hasil Penggurdian	69
4.9. Foto Makro Patahan Komposit Hasil Uji Tarik	70
4.10. Faktor Konsentrasi Tegangan	71
BAB V PENUTUP.....	72
5.1. Kesimpulan	72
5.2. Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN I.....	78
LAMPIRAN II	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Beberapa Karakteristik Kimia dan Fisika Serat Rami Dibandingkan Serat-Serat Selulosa Lainnya.	20
Tabel 3. 1. Waktu Penelitian	37
Tabel 4. 1. Nilai Faktor Konsentrasi Tegangan Komposit Rami	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. <i>Fibrous composites</i>	9
Gambar 2. 2. <i>Continuous Fiber composites</i>	11
Gambar 2. 3. <i>Woven Fiber composites</i>	11
Gambar 2. 4. <i>Discontinuous Fiber composites</i>	12
Gambar 2. 5. <i>Hybrid Fiber composites</i>	12
Gambar 2. 6. <i>Laminated composites</i>	13
Gambar 2. 7. <i>Sandwich Panels</i>	13
Gambar 2. 8. <i>Particulate composites</i>	14
Gambar 2. 9. Tanaman Rami; (a) daun; (b) batang; (c) serat.....	19
Gambar 2. 10. Variasi konstruksi tenunan ATBM.....	22
Gambar 2. 11. Proses Penggurdian.....	26
Gambar 2. 12. (a) <i>Open Hole</i> , (b) <i>Blind Hole</i>	28
Gambar 2. 13. Faktor Delaminasi.....	30
Gambar 2. 14. Mekanisme Splintering.....	31
Gambar 2. 15. Model Perpatahan Uji Tarik	32
Gambar 2. 16. Mekanisme pengujian tarik <i>open hole</i>	33
Gambar 2. 17. Konsentrasi Tegangan	34
Gambar 2. 18. Ilustrasi Konsentrasi Tegangan.....	35
Gambar 3. 1. Serat Rami	38
Gambar 3. 2. (a) Resin Epoksi, (b) Epoksi hardener.....	39
Gambar 3. 3. <i>Mold release wax "Mirror glaze"</i>	39
Gambar 3. 4. Spesimen uji.....	45
Gambar 3. 5. Proses Pengujian Tarik	47
Gambar 4. 1. Hubungan antara kekuatan tarik dan <i>feed rate</i> terhadap variasi jumlah lapis pada komposit rami	51
Gambar 4. 2. Hubungan antara kekuatan tarik dan kecepatan spindel terhadap variasi <i>feed rate</i> pada komposit rami	53
Gambar 4. 3. Hubungan antara kekuatan tarik dan <i>feed rate</i> terhadap variasi kecepatan spindel pada komposit rami	56

Gambar 4. 4. Hubungan antara kekuatan tarik dan kecepatan spindel terhadap variasi diameter pahat gurdi pada komposit rami	59
Gambar 4. 5. Hubungan antara kekuatan dan regangan tarik terhadap variasi jumlah lapis pada komposit rami	62
Gambar 4. 6. Hubungan antara kekuatan dan regangan tarik terhadap variasi kecepatan spindel pada komposit rami	64
Gambar 4. 7. Hubungan antara kekuatan dan regangan tarik terhadap variasi diameter pahat gurdi pada komposit rami	67
Gambar 4. 8. Foto makro hasil penggurdian	69
Gambar 4. 9. Patahan komposit setelah pengujian tarik	70

BAB I

PEDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material yang berbahan dasar komposit mampu bersaing dengan material berbahan dasar logam dalam hal kekuatan serta memiliki keunggulan tahan akan korosi serta lebih ringan dibandingkan logam. Muhajir, Mizar, dan Sudjimat (2016) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat. Dari penggabungan tersebut akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanis dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya, sehingga dapat direncanakan suatu material komposit yang diinginkan.

Komposit dari bahan serat terus diteliti dan dikembangkan guna menjadi bahan alternatif pengganti logam, hal ini disebabkan keunggulan sifat komposit serat. Komposit dengan bahan penguat serat sintetis telah digunakan dalam berbagai aspek kehidupan, baik dari segi penggunaan, maupun teknologinya. Penggunaannya tidak terbatas pada bidang otomotif saja, namun sekarang sudah merambah ke bidang-bidang lain seperti rumah tangga dan industri. Namun, penggunaan serat sintetis sebagai penguat komposit memiliki dampak negatif pada lingkungan karena limbahnya tidak dapat terurai secara alami dan dapat mengganggu. Sehingga penggunaan serat alam sebagai penguat komposit merupakan langkah bijak, keuntungan mendasar yang dimiliki oleh serat yang berasal dari alam adalah jumlah berlimpah, dapat diperbaharui dan di daur ulang

serta tidak mencemari lingkungan dan banyak ragam serat alam yang tersedia misalnya serat goni, serat nanas, serat rami, serat ijuk, dan serat sabut kelapa dsb. (Muhajir dkk 2016)

Tanaman rami (*Boehmeria Nivea*) adalah salah satu dari kelompok hasil pertanian yang memiliki serat terbaik. Pada kulit rami terdapat getah dan pektin yang memerlukan pengolahan secara kimiawi untuk dapat digunakan sebagai serat penguat dalam komposit. Rami adalah serat tekstil yang tertua. Rami digunakan sejak 5000 tahun sebelum masehi di Mesir sebagai pembungkus mumi dan telah digunakan di China dalam beberapa abad (Eva Novarini dan Danny Sukardan 2015).

Tanaman rami atau yang dikenal dengan sebutan *China grass* tergolong ke dalam kelompok serat batang. Tanaman rami menghasilkan serat dari kulit kayunya. 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. Pemanfaatan serat rami kini semakin meluas. Salah satunya sebagai serat penguat (reinforcement fiber) pada industri komposit. (Eva Novarini dan Danny Sukardan, 2015)

Komposit dengan tenunan rami sebagai penguat merupakan perpaduan antara tenunan dari serat tanaman rami dengan bahan perekat (matriks) resin yang masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda, yang dengan perpaduan itu akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat yang lebih baik, Saat ini

komposit yang diperkuat serat rami telah diteliti sebelumnya untuk mengetahui karakteristik dari serat tersebut, seperti yang telah dilakukan oleh Djafar (2015) mengenai komposit yang diperkuat tenunan rami jenis *Basket* tipe S 3/12 dan *Epoxy Resin Bisphenol A* tipe *Bakelite EPR 174* dan *Epoksi Hardener Versamid-140* sebagai bahan perekat dengan perlakuan perendaman komposit di laut selama 56 minggu dan 28 minggu untuk mengetahui sifat mekanis (kekuatan tarik, impak, dan bending) dan degradasi akibat lingkungan air laut pada komposit berpenguat tenunan rami.

Saat ini material komposit hampir digunakan disemua bidang. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (*modulus young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam dengan berat yang lebih rendah.

Hampir semua komponen, baik logam maupun non logam, mengalami proses penyambungan (*joining*) dengan komponen lain. Komponen logam dapat disambung dengan las, dibaut, dan dikeling. Namun khusus bahan nonmetal seperti komposit, penyambungannya tidak dapat dilakukan dengan pengelasan. Salah satu jenis sambungan yang cocok untuk bahan komposit adalah sambungan baut dan keling (Schwartz M. : 1984). Penyambungan ini memerlukan lubang sebagai tempat dudukan baut atau keling.

Karimi, Heidary, dan Ahmadi (2012) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa proses pengguridian, selain menghasilkan kerusakan seperti retak matriks dan delaminasi disekitar lubang, juga akan menjadi penyebab degradasi pada kekuatan tarik dari komponen yang mengalami pengguridian. Pada penelitian

sebelumnya juga yang dilakukan oleh Chandrabakty, Bakri, dan Hidayat (2018) mengenai komposit yang diperkuat oleh serat alam hybrid sabut kelapa menyatakan bahwa setelah penggurdian, kekuatan tarik komposit menurun diakibatkan oleh adanya konsentrasi tegangan disekitar lubang.

Daerah sekitar lubang hasil penggurdian pada komposit merupakan daerah yang kritis terhadap awal terjadinya kegagalan suatu material komposit tersebut. Berdasarkan uraian-uraian di atas, maka penelitian mengenai **Pengaruh Penggurdian terhadap Kekuatan tarik *open hole* pada Komposit yang diperkuat Tenunan Serat Rami** merupakan hal yang menarik untuk dikaji dan diteliti lebih lanjut.

1.2. 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 kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami?
2. Bagaimana pengaruh variasi *feed rate* terhadap kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami?
3. Bagaimana pengaruh kecepatan spindel terhadap kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami?
4. Bagaimana pengaruh variasi diameter terhadap kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami?

1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah lapisan terhadap kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi *feed rate* terhadap kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami.
3. Untuk menganalisis pengaruh kecepatan spindel terhadap kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami.
4. Untuk menganalisis pengaruh variasi diameter terhadap kekuatan tarik *open hole* pada penggurdian komposit tenunan rami.

1.4. 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 serat alam.
2. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi peneliti yang ingin meneliti tentang komposit serat alam.
3. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan pertimbangan ataupun acuan dalam memilih material khususnya di bidang industri perkapalan dan lain-lain.

1.5. 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 (*reinforcement*) komposit.
3. Variasi *feed rate* yang digunakan ialah 0,05; 0,09; dan 0,15 mm/rev.
4. Variasi kecepatan spindel yang digunakan ialah 88, 455, 1500 rpm.
5. Variasi diameter pahat gurdi yang digunakan dalam proses penggurdian ialah 6 mm, 8 mm, dan 10 mm.
6. Variasi lapisan pada komposit tenunan rami yang digunakan ialah 3, 4, dan 5 lapis.
7. Matriks yang digunakan sebagai perekat komposit yaitu *Epoxy Resin Bisphenol A –Epichlorohydrin* dan *Epoksi Hardener* jenis *Polyamide Resins*.
8. Komposit diperkuat serat rami sebanyak 3,4 dan 5 lapis dengan ukuran 200 mm x 200 mm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material baru yang mempunyai karakteristik dan sifat mekanik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (*modulus young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam (Jepri, 2016).

Menurut Robert M. Jones yang dikutip oleh Tri Rahmah (2015) bahan komposit berarti dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis menjadi suatu bahan yang berguna. Bahan tersebut mempertahankan sifatnya dalam komposit yaitu, saling tidak larut atau menggabungkan sepenuhnya satu sama lain. Biasanya, komponen dapat diidentifikasi secara fisik dan menunjukkan sebuah antarmuka antara satu sama lain.

Jepri (2016) menjelaskan bahwa material komposit mempunyai kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifat-sifat mekanikal dan fisikal dan biaya seperti yang diuraikan di bawah ini :

a. Sifat – sifat mekanik dan fisik

Dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit, pemilihan bahan matriks dan serat merupakan hal yang penting untuk diperhatikan.

Kombinasi matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional.

b. Biaya

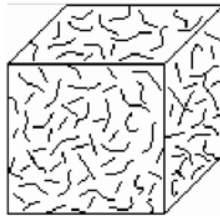
Faktor biaya juga memiliki peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, pemrosesan, tenaga manusia, dan sebagainya.

2.1.1. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat

Berdasarkan penguat yang digunakan, secara garis besar ada 3 macam jenis komposit, yaitu :

1. *Fibrous composites* (komposit serat) merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman (Tri Rahmah, 2015). Komposit serat ini dibagi lagi menjadi 2 bagian . yaitu :
 - a. Komposit tradisional (komposit alam) yang biasa berupa serat kayu, jerami, kapas, wol, sutera, serat eceng gondok, serat pisang, dll.

- b. Komposit sintetis, yaitu komposit yang mempunyai bahan penguat serat yang diproduksi dengan industri manufaktur, dimana komponen-komponen nya diproduksi secara terpisah, kemudian digabungkan dengan teknik tertentu agar diperoleh struktur, sifat dan geometri yang diinginkan. Serat sintesis ini dapat berupa serat gelas karbon, nilon dan polyester.



Gambar 2. 1. *Fibrous composites* (Chyuan, 2005)

Tri Rahmah (2015) menjelaskan bahwa serat yang digunakan harus memiliki syarat sebagai berikut :

- a) Mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter pengikatnya (matriksnya) namun harus lebih kuat dari matriksnya tersebut.
- b) Harus mempunyai tensile strength yang tinggi.

Komposit dengan penguat serat dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu:

- 1) Komposit serat pendek (*short fiber composite*)

Berdasarkan arah orientasi serat, material komposit dengan penguat serat pendek dapat dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu serat acak (inplane random orientasi) dan serat satu arah. Tipe serat acak kebanyakan digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan

dari jenis serat dengan arah orientasi acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

2) Komposit serat panjang (*long fiber composite*)

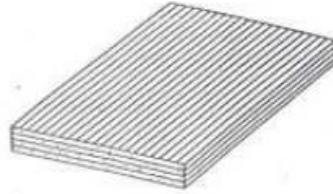
Keistimewaan komposit serat panjang ialah lebih mudah diorientasikan jika dibandingkan dengan serat pendek. Secara teoritis serat panjang dapat menyalurkan tegangan atau pembebanan dari suatu titik pemakaiannya.

Menurut Siregar dikutip oleh Tri Rahmah (2015), perbedaan serat panjang dan serat pendek yaitu serat pendek dibebani secara tidak langsung atau kelemahan matriks akan menentukan sifat dari produk komposit tersebut yakni jauh lebih kecil dibandingkan dengan besaran yang terdapat pada serat panjang.

Menurut Siregar dalam Tri Rahmah (2015) terdapat tipe serat pada komposit berdasarkan penempatannya, yaitu:

a) *Continuous Fiber Composite*

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



Gambar 2. 2. *Continuous Fiber composites* (Tri Rahmah, 2015)

b) Woven Fiber Composite (bi-directional)

Pemisahan antar lapisan tidak terlalu memengaruhi pada komposit ini karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe continuous fiber, hal ini dikarenakan susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus.



Gambar 2. 3. *Woven Fiber composites* (Tri Rahmah, 2015)

c) Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)

Merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara pengikatnya (matriks). Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih lebih rendah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.



Gambar 2. 4. *Discontinuous Fiber composites* (Tri Rahmah, 2015)

d) *Hybrid fiber composite*

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

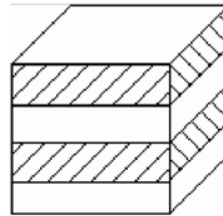


Gambar 2. 5. *Hybrid Fiber composites* (Tri Rahmah, 2015)

2. *Structure Composites* (komposit struktural)

Komposit struktural dibentuk oleh penguat yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminated* dan struktur *sandwich panels*.

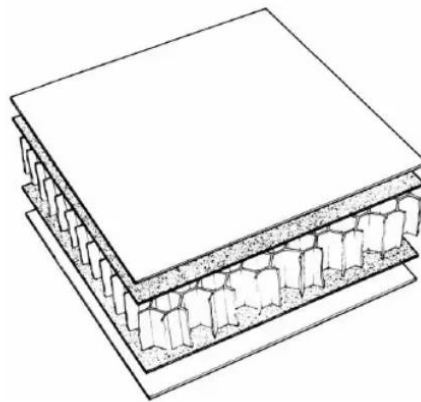
- a) *Laminated* (komposit laminat) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 2. 6. *Laminated composites* (Chyuan, 2005)

- b) *Sandwich panels*

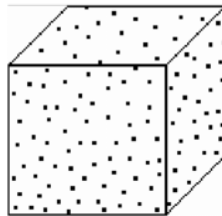
Komposit sandwich merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit



Gambar 2. 7. *Sandwich Panels* (Hendy Chaniago, 2015)

sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite (metal sheet)* sebagai kulit permukaan (*skin*) serta material inti (*core*) di bagian tengahnya (berada di antaranya). *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan (PU)*, *polyvinyl Clorida (PVC)*, dan *honeycomb* (Tri Rahmah, 2015).

3. *Particulate Composites* (komposit partikel) merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya (Jepri, 2016).



Gambar 2. 8. *Particulate composites* (Chyuan, 2005)

Tri Rahmah (2015) menjelaskan bahwa saat ini jenis komposit yang paling banyak digunakan adalah komposit berpenguat serat. Hal ini karena serat sebagai penguat memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Memiliki perbandingan panjang dengan diameter (*aspect ratio*) yang besar. Hal ini menggambarkan bahwa bila digunakan sebagai penguat dalam komposit, serat akan memiliki luas daerah kontak yang luas dengan matriks dibanding bila menggunakan penguat lain. Dengan demikian diharapkan akan terbentuk ikatan yang baik antara serat dengan matriks.
2. Serat memiliki ukuran yang kecil sehingga jumlah cacat persatuan volume serat akan lebih kecil dibandingkan material lain. Dengan demikian serat akan memiliki sifat mekanik yang baik dan konsisten.
3. Serat memiliki densitas yang rendah sehingga memiliki sifat mekanik spesifik (sifat mekanik per satuan densitas) yang tinggi.
4. Fleksibilitas serat dan diameternya yang kecil membuat proses manufaktur serat menjadi mudah.

2.1.2. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks

Berdasarkan matriks, komposit dapat diklasifikasikan kedalam empat kelompok besar, yaitu (Zweben, 2015):

1. *Polymer Matrix Composites* – PMC (Komposit Matriks Polimer)

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

2. *Metal Matrix Composites* – MMC (Komposit Matrik Logam)

Komposit yang matriksnya adalah logam, umumnya logam-logam non-ferrous seperti Aluminium, Magnesium, Titanium, dan Tembaga. 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. Beberapa jenis penguat untuk komposit matriks logam adalah alumina (Al_2O_3), silicon carbide (SiC), graphite, titanium boride (TiB_2), titanium carbide (TiC), tungsten (W).

3. *Ceramic Matrix Composites* – CMC (Komposit Matrik Keramik)

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 *silicon karbida* atau *boron nitride*.

4. *Carbon Matrix Composites* – (Komposit Matriks Karbon)

Komposit matriks karbon menggunakan karbon sebagai matriksnya, dan biasanya menggunakan silikon karbida sebagai penguatnya. Komposit matriks karbon lebih tahan terhadap suhu yang tinggi dibanding jenis komposit lainnya.

2.2. Tanaman Rami

Pemanfaatan tanaman rami kini semakin meluas, salah satunya sebagai serat penguat (reinforcement fiber) pada industri komposit. Konsumsi serat alam untuk produk komposit di Eropa bahkan diperkirakan mengalami peningkatan 10% setiap tahunnya. Sebagai contoh, di Eropa penggunaan serat alam untuk bahan baku komposit pada tiap unit kendaraan dapat mencapai 5 – 10 kg. Peluang besar ini perlu dimanfaatkan sebaik mungkin dengan pengembangan rami secara menyeluruh melalui peningkatan budidaya, penguasaan teknologi pengolahan dan diversifikasi produk akhir. Berdasarkan pemikiran tersebut maka dalam tulisan ini akan diulas mengenai serat rami (*Boehmeria nivea* S. Gaud) serta potensinya sebagai bahan baku tekstil dan produk tekstil (Novarini dan Sukardan, 2015).

George E. Rumphius, seorang peneliti botani dari Belanda telah menemukan tanaman rami di daerah India Timur pada tahun 1660 dan tanaman tersebut diberi nama *Ramium majus*. Tanaman tersebut dideskripsi dalam *Hortus Cliffortianus* oleh Carl Yon Linne (Linnaeus) menjadi *Boehmeria Nivea* pada tahun 1737. Nama *Boehmeria* diberikan pertama kali oleh Nikolas Josephus Jacklin, seorang professor kimia dan botani di Viena, dengan mengambil nama seorang ahli

botani asal Jerman yang berjasa dalam mengembangkan rami di Eropa, yaitu George Rudolph Boehmer (Musaddad, 2007).

Tanaman rami dikenal manusia sejak \pm 2.000 tahun SM, dan diduga berasal dari China. Tanaman ini kemudian menyebar ke berbagai negara, antara lain Jepang, Brazil, Philipina, Amerika Serikat, Taiwan, Korea, Kamboja, Thailand, Vietnam, Malaysia dan Indonesia. Setelah perang dunia ke II, tercatat negara penghasil tanaman rami adalah China dan Brazilia sedangkan negara pengimpor utama adalah Jepang (Koestono, 1986).

Rami ditanam di Indonesia sejak tahun 1937, antara lain di Jawa Barat, Jawa Timur, Sumatera Utara, Sulawesi dan Jawa Tengah. Usaha pengembangan rami di berbagai negara, termasuk Indonesia pada masa lampau banyak menemui kegagalan, disebabkan oleh belum adanya alat yang efisien untuk memisahkan/mengambil serat dari batang dan proses pengolahan selanjutnya, yaitu mengubah serat menjadi benang. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada tahun 1983-1984, permasalahan di atas dapat terjawab, sehingga sekarang di Indonesia dapat diusahakan penanaman rami dan pengolahannya sampai menjadi kain siap pakai. Berbagai manfaat pengusaha rami di Indonesia seperti meningkatkan pendapatan petani, membuka lapangan kerja, mengurangi pengeluaran devisa, menjaga kelestarian alam dan meningkatkan produksi serat rami sebagai bahan baku industri tekstil (Juhana, 2008).

Tanaman rami (*Boehmeria nivea*) merupakan tanaman tahunan yang mudah tumbuh dan berkembang baik di daerah tropis. Rami merupakan tanaman yang serba guna. Daunnya merupakan bahan kompos dan pakan ternak bergizi tinggi,

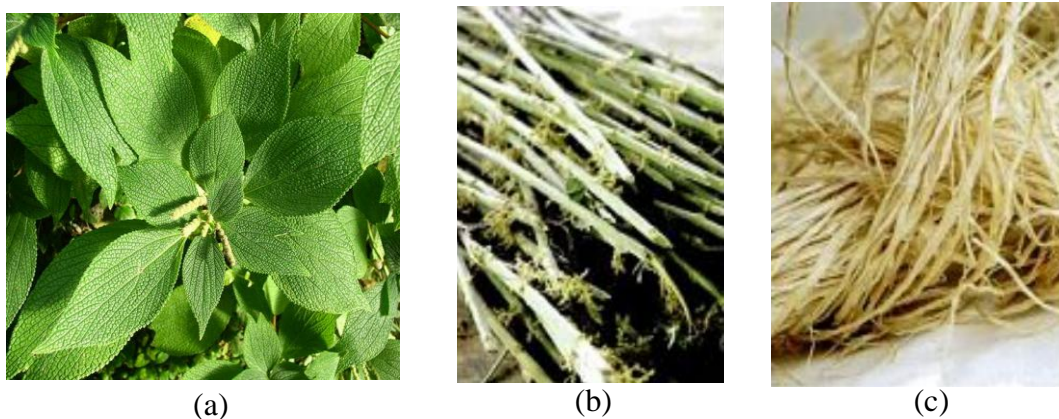
pohonnya baik untuk bahan bakar, tetapi yang paling bernilai ekonomi tinggi adalah serat dari kulit kayunya. Serat rami panjangnya sangat bervariasi dari 2,5 cm sampai dengan 50 cm dengan panjang rata-rata 12,5 cm sampai dengan 15 cm, diameternya berkisar antara 25 μm sampai dengan 75 μm dengan rata-rata 30 – 50 μm . Bentuk memanjang serat rami seperti silinder dengan permukaan bergaris-garis dan berkerut-kerut membentuk benjolan-benjolan kecil. Sedangkan irisan lintang berbentuk lonjong memanjang dengan dinding sel yang tebal dan lumen yang pipih. (Dieter H. Mueller, 2003)

Tanaman rami (*Boehmeria Nivea*) adalah salah satu dari kelompok hasil pertanian yang memiliki serat terbaik. Pada kulit rami terdapat getah dan pektin yang memerlukan pengolahan secara kimiawi untuk dapat digunakan sebagai serat penguat dalam komposit. Rami adalah serat tekstil yang tertua. Rami digunakan sejak 5000 tahun sebelum masehi di Mesir sebagai pembungkus mumi dan telah digunakan di China dalam beberapa abad (Novarini dan Sukardan, 2015).

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. 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 serta ramah lingkungan. (Pramuko dan Agus Hariyanto, 2017).

Tanaman rami atau yang dikenal dengan sebutan *China grass* tergolong ke dalam kelompok serat batang. Tanaman rami menghasilkan serat dari kulit kayunya. 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 sintesis sehingga mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun. Pemanfaatan serat rami kini semakin meluas. Salah satunya sebagai serat penguat (reinforcement fiber) pada industri komposit. (Eva Novarini dan Danny Sukardan, 2015).

Serat rami memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi dan sifat mekanis relatif paling tinggi dibandingkan dengan serat alam yang lainnya sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai media penguatan untuk komposit polimer.



Gambar 2. 9. Tanaman Rami; (a) daun; (b) batang; (c) serat (Najib, 2010)

2.2.1. Karakteristik Tanaman Rami

Tanaman rami atau yang dikenal dengan sebutan *China grass* tergolong ke dalam kelompok serat batang. Tanaman rami menghasilkan

serat dari kulit kayunya. 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 (Novarini dan Sukardan, 2015). Karakteristik serat rami dan serat selulosa lain dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Beberapa Karakteristik Kimia dan Fisika Serat Rami Dibandingkan Serat-Serat Selulosa Lainnya. (Novarini dan Sukardan, 2015)

Karateristik	Rami	Kapas	Hemp	Flax
Panjang serat rata-rata, (mm)	120–150	20–30	15–25	13–14
Diameter serat rata-rata, (μ)	40-60	14-16	15-30	17-20
Kekuatan tekanan, (kg/mm^2)	95	45	83	78
Kelembaban kembali, (%)	12	8	12	12
Selulosa	72-97	88-96	67-78	64-86
Lignin	1-0	0	6-4	5-1
Hemiselulosa, pectin, dll	27-3	12-4	27-18	31-14

Jika dibandingkan dengan kapas, flax, dan hemp, maka rami memiliki kekuatan yang paling tinggi. Marsyahyo, dkk. memanfaatkan keunggulan kekuatan serat rami untuk membuat panel tahan peluru dari komposit serat rami (Novarini dan Sukardan, 2015). Dimensi serat rami tidak berubah pada kenaikan kelembaban hingga 25 %. Daya serap terhadap airnya (*moisture regain*) terbilang tinggi yaitu 12 % sedangkan daya serap kapas hanya 8 %. Daya serap yang lebih tinggi ini menjadikan rami lebih

mampu menyerap cairan tubuh seperti keringat. Oleh karena itu rami sangat sesuai untuk digunakan sebagai pakaian musim panas. Tanaman rami (*Boehmeria nivea*) merupakan tanaman yang memiliki kandungan selulosa yang sangat tinggi (Djafar, Ilhamzah, dan Renreng, 2020). Rami juga memiliki ketahanan yang baik terhadap serangan bakteri, jamur, serangga dan pelapukan, stabilitas dimensi tinggi, serta ketahanan luntur warna yang baik terhadap sinar dan pencucian. Dengan berbagai keunggulan dan beberapa sifatnya yang menyerupai serat kapas, serat rami diharapkan akan sesuai apabila dijadikan sebagai alternatif penghasil serat selulosa untuk mengurangi ketergantungan terhadap kapas impor.

2.2.2. Budidaya Tanaman Rami

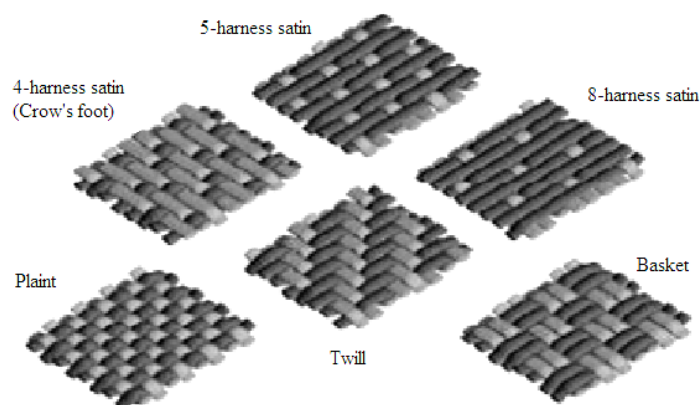
Kondisi geografis serta demografis di Indonesia sangat sesuai untuk budidaya tanaman rami. Indonesia telah memiliki varietas unggul tanaman rami yang dinamakan Ramindo 1 (dahulu Pujon 10) asal Pujon, Malang, Jawa Timur. Ramindo I memiliki produktivitas serat (China grass) yang tinggi (2-2,7 ton/ha/tahun) dan dapat dibudidayakan di dataran rendah, sedang maupun tinggi. Ramindo I dapat dipanen setiap 2 bulan dan dalam setahun dapat dilakukan 5 hingga 6 kali panen. Meski Indonesia telah memiliki varietas unggul tanaman rami yang ditunjang oleh iklim yang sesuai, namun budidaya tanaman rami di Indonesia masih belum maksimal. Minat masyarakat dalam budidaya tanaman rami masih sangat rendah, hal ini salah satunya disebabkan kurangnya industri hilir yang mengolah rami menjadi berbagai produk akhir. Menurut data Ditjenbun, pada tahun 2012

luas area perkebunan rami Indonesia hanya ± 528 Ha dan keseluruhannya merupakan perkebunan rakyat (Novarini dan Sukardan, 2015). Pada tahun 2014 luas area kebun rami diperkirakan berkurang hingga ± 280 Ha. Pengurangan terbesar terjadi di Sulawesi Selatan [diprediksi hanya tersisa ± 255 Ha lahan]. Luas area tanam perkebunan rami masih sangat kecil sehingga kapasitas produksinya masih sangat terbatas.

2.2.3. Tenunan Serat Rami

Tenunan serat rami dibuat menggunakan sebuah alat yang dinamakan Alat Tenun Bukan Mesin (ATBM) yang sistem kerjanya digerakkan manual oleh penenunnya yang menggunakan tangan dan kaki untuk proses pengoperasiannya.

Ada beberapa jenis tenunan yang dibuat dengan alat tenun bukan mesin, diantaranya adalah tenunan jenis *basket*, *plain*, *twill*, *4-harness satin* (*crow's foot*), *5-harness satin* dan *8-harness satin* (Gambar 2.10.).



Gambar 2. 10. Variasi konstruksi tenunan ATBM (Djafar, 2012)

Komposit yang diperkuat tenunan memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan yang diperkuat serat karena merupakan tenun dengan *two*

dimensional reinforcement, yang mana memiliki nilai kekuatan tarik pada dua arah atau pada masing-masing arah orientasi seratnya, sedangkan jika hanya dalam berbentuk serat biasanya memiliki penataan dalam bentuk *one dimensional reinforcement* yang hanya memiliki kekuatan dan modulus maksimum pada arah eksis serat.

2.3. Resin Epoksi

Bahan dasar resin epoksi yang banyak digunakan adalah bisphenol A, dan bahan ini mudah didapatkan di toko toko bahan kimia. *Bisphenol A* adalah bahan isolasi polimer sebagai bahan dasar epoksi resin yang dihasilkan dari reaksi *phenol* dan *acetone*. Pada perkembangannya bisphenol A diganti dengan isolasi polimer jenis epoksi sikloalifatik dengan bahan dasar dari *diglycidly ether of bisphenol A* (DGEBA). Resin epoksi ini adalah kombinasi dari *bisphenol A* dan *epichlorohydrin* yang mempunyai formasi dari ikatan polimer, yang mengandung dua kelompok reaktif *epoxide* dan *hydroxyl*. Resin epoksi mempunyai kegunaan yang luas dalam industri teknik kimia, listrik, mekanik, dan sipil seperti perekat, cat pelapis, percetakan cor, dan benda-benda cetakan. Bahan ini terutama digunakan untuk bahan-bahan teknik seperti komponen listrik dan mekanik. Sifatnya bervariasi tergantung pada jenis, kondisi, dan pencampuran dengan pengerasnya (Johanadib, Yuningtyastuti, dan Abdul Syakur, 2012)

Epoxy *bisphenol A* memberikan sifat termal dan mekanik yang baik serta reistensi 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, CH dkk 2019).

Resin epoksi merupakan jenis polimer dalam kategori termoset. 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 (Bello, S dkk 2015), dengan sifatnya yang unggul pada potensi pasar global, sehingga meningkatnya permintaan untuk industri seperti cat dan pelapis, energi angin, aerospace, konstruksi, komposit, dan otomotif (Kumar dkk 2017).

Resin epoksi dibuat dengan mencampurkan *bisphenol A* dan epiklorohidrin (ECH), yang kemudian direaksikan untuk menciptakan unit monomer dasar resin epoksi yang disebut BADGE atau DGEBA (diglycidyl ether of bisphenol-A) (BIPRO 2015), namun juga terdapat komposisi lain epoxy selain *bisphenol A*, diantaranya resin epoxy *cycloaliphatic*, *Trifunctional*, *Tetrafunctional*, *Novolac*, *Biobased*, *Fluorine-containing*, dan *Silicon-containing* (Jin dkk 2015). Dengan munculnya banyak bahan resin epoksi polimer baru, penerapan bahan-bahan resin epoksi di bidang industri telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir (Xie dkk 2018). Epoksi dapat digunakan baik dalam bentuk padat atau cair tergantung pada

aplikasi. Dengan demikian, jumlah *bisphenol A* yang tidak bereaksi dalam aplikasi akhir juga akan tergantung pada jenis resin epoksi yang digunakan (BIPRO 2015).

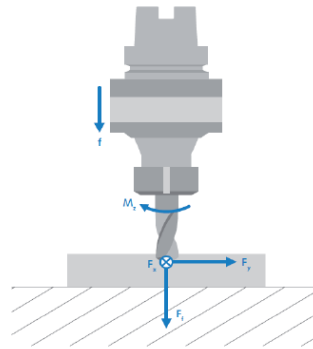
Resin epoksi adalah salah satu opsi matriks dalam pembuatan komposit. Penggunaan Resin Epoksi juga banyak diterapkan pada pengecoran, pelapisan, digunakan untuk isolator listrik, campuran cat dan campuran perekat. Resin epoksi juga memiliki ketahanan aus yang sangat baik dan ketahanan terhadap guncangan (Djafar dkk, 2018). Resin epoksi telah menjadi bahan matriks dominan yang digunakan dalam pengembangan bahan komposit masa kini karena sifatnya yang sangat baik (Sun dkk 2019), kelebihan dari resin epoxy yaitu : daya rekat tinggi pada substrat, isolasi listrik tinggi, toksisitas rendah, susut rendah, penyusutan rendah, biaya rendah dan penerimaan tinggi untuk berbagai proses dan aplikasi (Bello, S dkk 2015), sedangkan menurut Xie dkk (2018) resin epoxy memiliki kekuatan tinggi, ketangguhan yang baik, dan masa pembentukan yang singkat sehingga banyak diterapkan pada bidang seperti mesin, konstruksi, industri kimia dan aplikasi teknik sipil.

2.4. Penggurdian

Proses *drilling* atau biasa disebut proses gurdi merupakan salah satu bentuk proses pemesinan konvensional yang secara sederhana dapat dikatakan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata gurdi (Yuni Hermawan, 2012).

Untuk menghasilkan lubang selama penggurdian, alat pemotong yang disebut “bor/gurdi” berputar pada poros mesin dengan bergerak aksial terhadap benda kerja, 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).



Gambar 2. 11. Proses Penggurdian

Dalam mencapai kualitas pada proses pengerjaan mesin adalah adanya getaran pahat dan benda kerja pada saat proses pemotongan berlangsung atau dikenal dengan istilah *chatter* (Mulyadi, 2009). Salah satu akibat munculnya *chatter* ini adalah ketidakrataan permukaan benda kerja hasil pemotongan. Ketidakrataan permukaan tergantung pada posisi relatif sesaat dari pahat potong dan benda kerja. Komponen gaya potong memiliki pengaruh besar terhadap akurasi dan benda kerja. Hal ini erat sekali kaitannya dengan fungsi produk itu sendiri. Bila suatu produk yang dihasilkan mempunyai karakteristik yang sesuai maka akan berpengaruh terhadap kekuatan dan umur suatu mesin, atau dengan kata lain kekuatan suatu mesin tergantung pada ketepatan dimensi dari komponen-komponennya (Hermawan, 2003).

Pada kenyataannya sangat sulit untuk mendapatkan benda kerja dengan karakteristik geometri yang sempurna dan memperoleh hasil dengan kualitas tinggi dengan tanpa memperhatikan hal-hal yang memengaruhi proses pemesinan. Oleh karena itu dalam suatu proses pemesinan benda kerja banyak

terjadi penyimpangan-penyimpangan yang salah satu diantaranya disebabkan oleh parameter pemotongan itu sendiri (Yuni Hermawan, 2012).

Berkembangnya komposit dari masa ke masa menyebabkan banyaknya penelitian mengenai pengaruh variasi parameter penggurdian komposit, karena kendala karakteristik bahan penyusun yang berbeda menuntut penggunaan parameter pemesinan 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 pullout* (Zitoune dkk 2019), *matrix cratering*, kerusakan termal dan delaminasi (Bukhari dkk 2017) dimana kecacatan ini merusak permukaan lubang yang gurdi untuk proses perakitan (Li dkk 2018).

Parameter pengeboran dituntut untuk mendapatkan kinerja yang diinginkan, seperti permukaan yang bagus, kualitas lubang bor 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 pengeboran (Bukhari dkk 2017). Selain itu, parameter yang mengatur mekanika pengeboran adalah kecepatan potong, *feed rate*, gaya potong, dan laju pelepasan material.

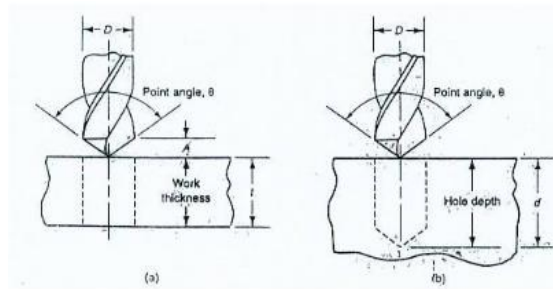
Proses gurdi selain menghasilkan kerusakan seperti delaminasi dan retak matriks di sekitar lubang, pada akhirnya akan menjadi penyebab degradasi pada

kekuatan tarik sisa dari komponen yang mengalami penggurdian (Chandrabakty, 2018).

2.4.1. *Open Hole dan Blind Hole*

Open hole adalah lubang yang dibuat untuk menembus seluruh bahan suatu benda. *Blind hole* adalah lubang yang di gurdi atau diperbesar (*reaming*) hingga kedalaman tertentu tanpa menembus ke sisi lain benda kerja.

Open hole adalah lubang yang menembus seluruh benda kerja. Berbeda dengan blind hole, lubang buta tidak menembus material atau lubang tidak melewati seluruh benda kerja. *Blind hole* selalu hanya memiliki kedalaman tertentu. Akibatnya, setiap *chip* yang dibuat selama penggurdian, *reaming*, *tapping*, atau operasi lain tidak bisa jatuh begitu saja ke dalam lubang. *Chip* harus dievakuasi dengan heliks alat pemotong atau cara lain. Gambar 2.12. di bawah ini menunjukkan penampang *open hole* dan *blind hole*: Bergantung pada lubang inti yang dipilih pilih, memerlukan memerlukan tap yang berbeda. Karena pelepasan chip harus di atas atau di bawah lubang untuk dapat memotong material dengan bersih. Tap yang berbeda untuk lubang yang berbeda.



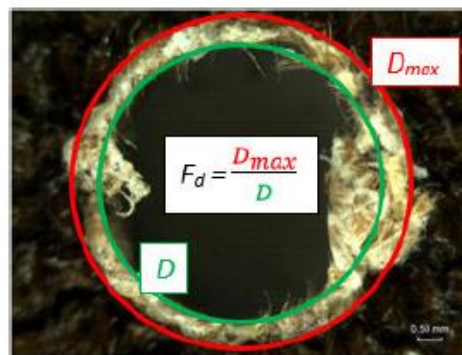
Gambar 2. 12. (a) *Open Hole*, (b) *Blind Hole*

2.5. Tinjauan Tentang Delaminasi

Delaminasi merupakan salah satu dari model kerusakan kritis yang terjadi pada komposit laminat. Delaminasi terjadi karena beberapa faktor seperti tegangan interlaminar yang tinggi pada sudut-sudut *tool* pemesinan dan konsentrasi tegangan pada lokasi retak atau kerusakan lain pada laminat. Delaminasi merupakan cacat produk yang akan menurunkan kualitas dan delaminasi dipengaruhi oleh panas yang timbul karena tekanan dan gesekan antara mata pahat dan benda kerja pada proses pemesinan (Imam K dkk 2019). Perhatian utama dalam pemesinan komposit (terutama penggurdian) adalah delaminasi. Saat gurdi masuk ke dalam material, pusat gurdi hampir tidak melakukan pemotongan (kecepatan potong mendekati nol), melainkan menekan material kedepan dan ke samping. Hal ini dapat menyebabkan lapisan terpisah satu sama lain, yang dikenal sebagai delaminasi (Hallberg dkk 2017). Delaminasi merupakan kerusakan yang paling umum dalam penggurdian baik itu pada struktur permukaan awal pemotongan maupun permukaan diakhir pemotongan dari gurdi yang bisa dikenal dengan sebutan *peel-up* dan *push-out*, banyak hasil penelitian yang membuktikan bahwa delaminasi *push-out* lebih besar dari pada delaminasi *peel-up* (Maleki 2018).

Delaminasi merupakan fenomena kegagalan material akibat proses pemesinan yang merupakan masalah yang sangat tidak diinginkan dan telah diakui sebagai masalah utama pada pemesinan komposit laminasi. Delaminasi tidak hanya mengurangi toleransi perakitan secara drastis dan juga kekuatan bantalan tetapi juga memiliki potensi kerusakan untuk kinerja jangka panjang. Ada beberapa metode utama yang digunakan untuk menilai tingkat kerusakan delaminasi di sekitar lubang

yang digurdi. Salah satunya adalah faktor delaminasi (F_d). Faktor delaminasi (F_d) adalah indeks yang paling umum diterapkan untuk mengevaluasi delaminasi lubang yang digurdi. F_d didefinisikan sebagai rasio antara diameter maksimum dari zona delaminasi (D_{max}) dan diameter nominal lubang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 faktor delaminasi dapat dievaluasi pada bagian *peel-up* dan *push-down* (Melentiev dkk 2016).

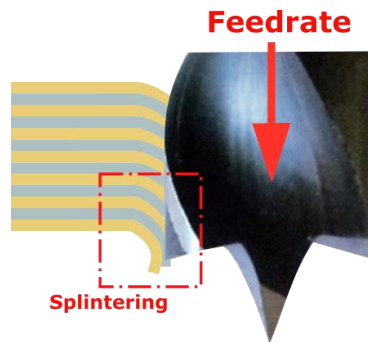


Gambar 2.13. Faktor Delaminasi

Metode umum yang digunakan untuk mengukur besarnya delaminasi pada hasil penggurdian komposit adalah dengan mencari faktor delaminasi (F_d) :

$$F_d = \frac{D_{max}}{D_{nom}}$$

Perilaku kerusakan delaminasi yang terjadi seperti *splintering* (untaian serat yang tidak terpotong) dan *fiber pull-out* (serat yang tercabut dari matriks) banyak ditemukan di sisi keluar pahat gurdi. Terbentuknya kerusakan seperti *splintering* dan *fiber pull-out* terjadi akibat kecenderungan dari pahat gurdi yang terlalu cepat menembus material namun gerakan sudut potong pahat gurdi tidak dapat memotong secara sempurna lapisan penguat. Mekanisme *splintering* ditunjukkan pada Gambar 2.14.



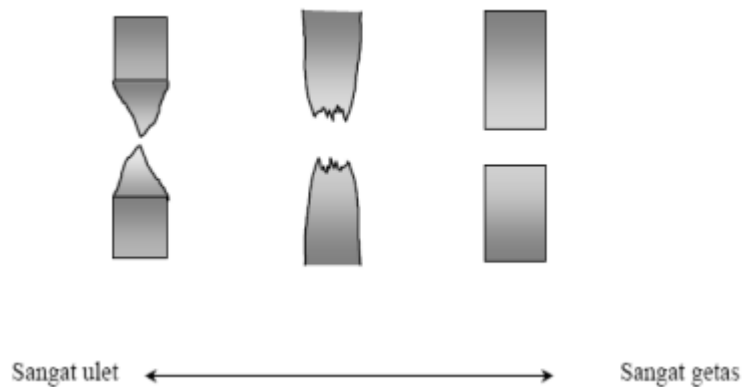
Gambar 2. 14. Mekanisme Splintering

2.6. Kekuatan Tarik *Open Hole*

Pengujian tarik komposit epoksi bertulang rami tenun bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dari material komposit yang diperkuat oleh anyaman rami (Djafar dkk, 2014). Tujuan dari dilakukannya suatu pengujian mekanis adalah untuk menentukan respon material dari suatu konstruksi, komponen atau rakitan fabrikasi pada saat dikenakan beban atau deformasi dari luar. Di antara semua pengujian mekanis tersebut, pengujian tarik merupakan jenis pengujian yang paling banyak dilakukan karena mampu memberikan informasi representatif dari perilaku mekanis material (Hidayat, 2013).

Prinsip dari pengujian tarik ialah benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinyu sambil diukur pertambahan panjangnya. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan regangan. Data-data penting yang didapat dari pengujian tarik ini adalah perilaku mekanik material dan karakteristik perputahan. Pengujian tarik yang dilakukan pada suatu material padatan (logam dan nonlogam) dapat memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku material tersebut terhadap pembebanan mekanis.

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa tampilan perpatahan seperti diilustrasikan oleh Gambar 2.15 di bawah ini :



Gambar 2. 15. Model Perpatahan Uji Tarik

Sumber : <http://metalurgi-ilmu-logam.com/2018/11/karakteristik-perpatahan.html>

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dari bahan komposit (Sunardi, Zainuri dan Catur, 2013).

Operasi pemesinan seperti penggurdian, akan menimbulkan tegangan tarik permukaan yang akan mengurangi ketahanan material terhadap kelelahan. Tegangan sisa tersebut dapat menyebabkan cacat pada struktur komposit seperti, penguat, keretakan, delaminasi dan lain-lain (Shokrieh, 2014).

Daerah permukaan yang menghasilkan tekanan selama pembebanan dapat menyebabkan tegangan tarik sisa pada saat pembebanan tersebut dilepaskan. Dua faktor utama yang memengaruhi kekuatan tarik sisa ialah, proses yang telah dialami komponen dan sifat material yang menghubungkan proses mekanis dengan perilaku deformasi (Shokrieh, 2014).

Pada penelitian terhadap komposit yang diperkuat serat alam hybrid sabut kelapa, menyatakan bahwa setelah penggurdian lubang kekuatan tarik komposit hybrid menurun diakibatkan oleh adanya konsentrasi tegangan di sekitar lubang. Pengujian uji tarik dengan metode pengujian tarik *open hole* dapat mengetahui kekuatan tarik sisa pada material hasil penggurdian. (Chandrabakty, 2018).

Kekuatan tarik komposit dapat dihitung dengan persamaan: (Sunardi dkk, 2013)

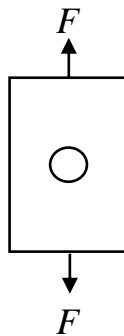
$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \quad (1)$$

σ adalah kekuatan tarik komposit yang dihasilkan oleh beban tarik (P) dibagi luasan rata-rata komposit (A). Untuk regangan komposit dapat diketahui besarnya menggunakan persamaan:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

ΔL adalah perubahan panjang dari panjang awal (L). Sedangkan besarnya modulus elastisitas diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\mathcal{E}} \quad (3)$$

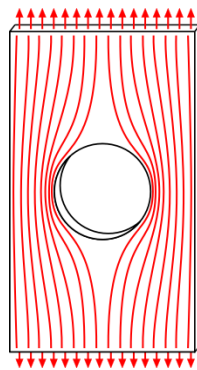


Gambar 2. 16. Mekanisme pengujian tarik *open hole*

2.7. Konsentrasi Tegangan

Suatu diskontinuitas dalam benda misalnya lubang atau takik, akan mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata disekitar diskontinuitas tersebut. Pada beberapa daerah didekat diskontinuitas, tegangan akan lebih tinggi daripada tegangan rata-rata yang jauh letaknya dari diskontinuitas. Jadi telah terjadi konsentrasi tegangan pada diskontinuitas. Konsentrasi tegangan dinyatakan dengan faktor tegangan K. Pada umumnya K adalah sebagai perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan nominal terhadap dasar penampang sesungguhnya (Nusyirwan,2010).

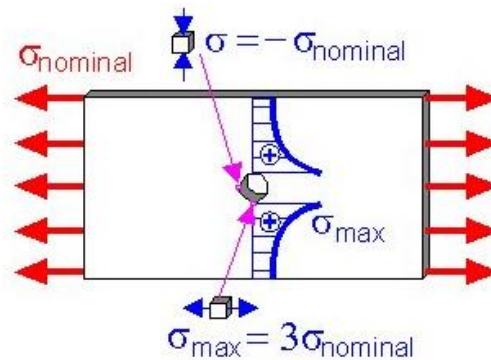
$$K = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_{nominal}} = \frac{\sigma_{sekitar\ lubang}}{\sigma_{tanpa\ lubang}} \quad (4)$$



Gambar 2. 17. Konsentrasi Tegangan

Secara sederhana konsentrasi tegangan adalah berhimpitnya jalur rambatan gaya akibat adanya perbedaan luas penampang material yang menerima tegangan. Faktor konsentrasi tegangan adalah faktor yang sangat penting untuk diperhitungkan dalam membuat desain dengan material yang getas (*brittle*). Untuk material yang ulet (*ductile*) faktor ini diperlukan dalam kalkulasi *fatigue* (kelelahan material) dan kalkulasi kondisi kritis (Collins dkk, 2010).

Namun, pada kenyataannya tegangan di daerah dengan penampang yang tereduksi tidak sesuai dengan persamaan dasar tegangan. Tegangan yang terjadi bernilai lebih besar dibandingkan hasil persamaan dasar. Untuk mengoreksi hasil persamaan dasar tersebut maka dirumuskanlah faktor konsentrasi tegangan (Kt). Faktor tersebut diperoleh dari hasil eksperimen dan analisa terhadap beberapa bentuk geometri yang dipublikasikan dalam bentuk grafik.



Gambar 2. 18. Ilustrasi Konsentrasi Tegangan

Pada gambar 2.18 sebuah pelat menerima beban yang merambat secara merata. Yang kemudian dengan jalur rambatan yang berbeda akibat adanya takikan (*notch*). Karena adanya reduksi luas penampang pada daerah takikan, maka terjadi tegangan yang lebih besar pada daerah tersebut. Hal tersebut mengacu pada persamaan dasar tegangan sama dengan beban dibagi luas penampang (Lemu, 2002).

Retakan pada plat seringkali bermula dan merambat dari titik dimana konsentrasi tegangan berada. Konsentrasi tegangan terjadi pada bentuk geometri seperti bahu, alur, lubang, dan ulir. Bentuk-bentuk tersebut sangat sulit untuk dihindari dalam perancangan sebuah produk. Salah satu bentuk yaitu yang menjadi

banyak perhatian adalah bentuk lubang yang biasanya digunakan sebagai tempat baut dalam sambungan. Perancang mesin harus mengamati konsentrasi tegangan pada lubang dengan merujuk pada hasil-hasil penelitian (Arief, Umurani, dan Rahmatullah, 2019).