

**INVESTIGASI KETAHANAN RETAK FATIK MATERIAL *SUGARCANE*
HARVESTER BLADES (PISAU PEMOTONG TEBU) DI PT. SUGAR
GROUP LAMPUNG**

Skripsi

**Oleh
M ZAKI MUBARAK
2015021042**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

**INVESTIGASI KETAHANAN RETAK FATIK MATERIAL *SUGARCANE*
HARVESTER BLADES (PISAU PEMOTONG TEBU) DI PT. SUGAR
GROUP LAMPUNG**

Oleh

M. ZAKI MUBARAK

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRAK**INVESTIGASI KETAHANAN RETAK FATIK MATERIAL *SUGARCANE HARVESTER BLADES* (PISAU PEMOTONG TEBU) DI PT. SUGAR GROUP LAMPUNG**

Oleh

M. ZAKI MUBARAK

Penelitian ini menginvestigasi ketahanan retak fatik pada pisau pemotong tebu di PT. Sugar Group Companies, Lampung. Pisau ini sering mengalami retak dan aus akibat kontak dengan tanah, batu, dan air tebu. Terbuat dari baja AISI D2 / DIN 1.2379 / JIS SKD11 pengerjaan dingin (*cold work*). Penelitian melibatkan pengujian tarik, pengujian perambatan retak fatik, pengamatan struktur mikro, dan pengamatan SEM fraktografi. Hasil pengujian tarik mendapatkan tegangan luluh mencapai 1415.26 MPa, tegangan *ultimate* 1555.56 MPa, dan elongasi 8,1%, menandakan kekuatan tarik tinggi. Data panjang retak dan jumlah siklus dianalisis menggunakan metode *polynomial incremental* untuk menentukan laju perambatan retak fatik (da/dN) dan kisaran faktor intensitas tegangan (ΔK). Pada pengujian perambatan retak fatik di variasikan dengan arah pembebanan Y-X dan X-Y. Nilai konstanta eksponensial $m = 2,462$ pada arah pembebanan X-Y lebih besar sedikit dibandingkan nilai $m = 2,287$ arah pembebanan Y-X, sehingga pada arah pembebanan X-Y menghasilkan laju perambatan retak fatik yang sedikit lebih cepat dibandingkan dengan arah pembebanan Y-X. Fasa dominan adalah martensit yang menunjukkan kekuatan mekanik tinggi. Fasa yang dihasilkan dari pengamatan struktur mikro terdiri dari dua fasa yaitu fasa ferit (berwarna terang) dan fasa martensit (berwarna gelap). Fasa martensit lebih mendominasi dibandingkan dengan fasa ferit, yang menunjukkan bahwa pisau pemotong tebu memiliki kekuatan mekanik yang kuat dan keras. Hasil SEM mengungkapkan pola patahan *intergranular*, *secondary crack*, *cleavage*, dan *voids*.

Kata Kunci : pisau pemotong tebu, uji tarik, retak fatik, struktur mikro, SEM fraktografi.

ABSTRACT**INVESTIGATION OF FATIGUE CRACK RESISTANCE IN
SUGARCANE HARVESTER BLADES AT PT. SUGAR GROUP
LAMPUNG**

By

M. ZAKI MUBARAK

This study investigates the fatigue crack resistance of sugarcane harvester blades at PT. Sugar Group Companies, Lampung. These blades often experience cracking and wear due to contact with soil, stones, and sugarcane juice. The blades are made of AISI D2 / DIN 1.2379 / JIS SKD11 cold work steel. The study involves tensile testing, fatigue crack growth testing, microstructure observation, and SEM fractography observation. The tensile test results show a yield strength of 1415.26 MPa, an ultimate tensile strength of 1555.56 MPa, and an elongation of 8.1%, indicating high tensile strength. Crack length and the number of cycles data were analyzed using the polynomial incremental method to determine the fatigue crack growth rate (da/dN) and the stress intensity factor range (ΔK). Fatigue crack growth tests were varied with Y-X and X-Y loading directions. The exponential constant value $m = 2.462$ in the X-Y loading direction is greater than the value $m = 2.287$ in the Y-X loading direction, resulting in a slightly faster fatigue crack growth rate in the X-Y loading direction. The dominant phase is martensite, indicating high mechanical strength. The phases observed from the microstructure consist of two phases: ferrite (bright) and martensite (dark). Martensite is more dominant than ferrite, indicating that the sugarcane harvester blades have strong and hard mechanical properties. SEM results reveal intergranular fracture patterns, secondary cracks, cleavage, and voids.

Keywords: *sugarcane harvester blades, tensile test, fatigue crack, microstructure, SEM fractography.*

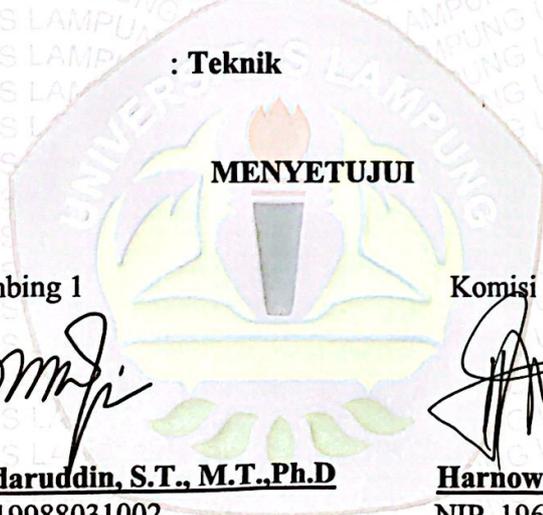
Judul Skripsi : **INVESTIGASI KETAHANAN RETAK FATIK MATERIAL *SUGARCANE HARVESTER BLADES* (PISAU PEMOTONG TEBU) DI PT.SUGAR GROUP LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **M. ZAKI MUBARAK**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2015021042**

Program Studi : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.,Ph.D
NIP. 1972121119988031002

Harnowo Supriadi, S.T, M.T
NIP. 196909091997031002

MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1
Teknik Mesin

Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.,Ph.D.
NIP. 197108171998021003

Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP. 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

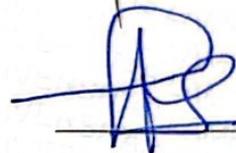
Ketua Penguji : Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D



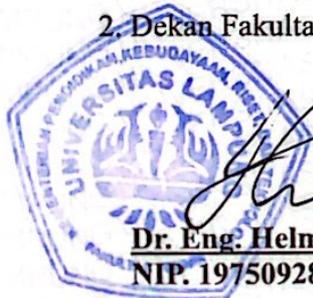
Anggota Penguji : Harnowo Supriadi, S.T, M.T



Penguji Utama : Zulhanif, S.T., M.T



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 25 Juli 2024

PERNYATAAN PENULIS

Skripsi dengan judul “INVESTIGASI KETAHANAN RETAK FATIK MATERIAL *SUGARCANE HARVESTER BLADES* (PISAU PEMOTONG TEBU) DI PT. SUGAR GROUP LAMPUNG” dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat siapapun sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010

Bandar Lampung, 25 Juli 2024

Yang membuat pernyataan



M. Zaki Mubarak
NPM.2015021042

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di kota Palembang, Provinsi Sumatera Selatan pada 01 Mei 2002 sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Tri Oswari dan Ibu Kusbaniah. Penulis menempuh pendidikan dasar di MI Nurul Qomar Palembang hingga tahun 2014, lalu dilanjutkan di MTsN 2 Kota Palembang yang di selesaikan pada tahun 2017 dan MAN 3 Kota Palembang yang diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin di Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Divisi Hubungan Masyarakat pada tahun 2023. Selain aktif dalam HIMATEM, penulis pernah menjadi bagian panitia kegiatan-kegiatan pada Jurusan Teknik Mesin.

Penulis pernah melakukan Kerja Praktek (KP) di PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Usaha Pagaram pada Juli 2023 dengan judul laporan **“ANALISIS LAJU KOROSI DAN SISA UMUR PEMAKAIAN *PLATE DUCTING* PADA MESIN *HEAT EXCHANGER* UNTUKI PRODUKSI TEH CTC DAN ORTODOX DI PTPN VII UNIT USAHA PAGARALAM”**

Penulis juga pernah melakukan Magang Mandiri di PT. PLN Indonesia Power UPDK Keramasan Palembang pada Januari - Februari tahun 2024.

Pada 2023 – 2024 penulis melakukan penelitian untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin dengan judul penelitian **“INVESTIGASI KETAHANAN RETAK FATIK MATERIAL SUGARCANE HARVESTER BLADES (PISAU PEMOTONG TEBU) DI PT. SUGAR GROUP LAMPUNG”**

HALAMAN MOTTO

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”

-Baskara Putra-

“jangan tunda sholatmu, jika keinginan kamu tidak mau ditunda. Bagaimana keinginan itu terwujud sedangkan diri kita tidak mau bersujud”

-Unknown-

“Jangan nyerah Ak, itulah seninyo nyusun skripsi. Hadapi terus dengan usaha dan doa”

-Abiku Terhebat Tri Oswari-

“Kerjain apa yang bisa di kerjain”

-M. Zaki Mubarak-

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu wa ta'ala,

Karya ini

Dipersembahkan kepada :

Kedua Orang Tuaku

Abi Tri Oswari dan Umi Kusbaniah

Terimakasih untuk segala doa, usaha, semangat, nasihat dan materi yang selalu diberikan demi kesuksesan putranya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana Teknik Mesin

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan lancar dan baik. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, para sahabat, keluarga serta pengikutnya yang tetap istiqomah hingga akhir zaman. Penulisan skripsi yang berjudul “Investigasi Ketahanan Retak Fatik Material *Sugarcane Harvester Blades* (Pisau Pemotong Tebu) Di PT. Sugar Group Lampung” merupakan syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis sangat berharap karya yang merupakan wujud kerja dan pemikiran maksimal dapat bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari khususnya pada bidang itu sendiri. Skripsi ini dapat terselesaikan karena dukungan dan keterlibatan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Abiku Tri Oswari, S.E dan Umiku Kusbaniah, A.Md.Ak Tersayang atas segala nasihat yang telah diberikan, atas segala semangat yang selalu diberikan, atas segala materi untuk memberikan pendidikan terbaik untuk anak-anak nya, serta segala doa yang dipanjatkan untuk kesuksesan semua anak-anaknya.
2. Zahra Athirah dan M. Abdurrahman, sebagai adik yang selalu memberikan doa dan semangat selama menjalani perkuliahan.
3. Keluarga Besar, sebagai sanak saudara terdekat yang selalu memberikan support kepada penulis.
4. Sayangku Aliya Sabrina Pratiwi, terimakasih selalu membantu dan memberikan yang terbaik untuk penulis, selalu menemani penulis dalam suka maupun duka selama proses pembuatan skripsi ini.

5. Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan selalu mendampingi penulis dengan sabar dalam proses penyusunan skripsi hingga terselesaikan secara terstruktur.
6. Harnowo Supriadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan dengan tenang kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi ini.
7. Zulhanif, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan tanpa pernah menyalahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
8. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.,Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
10. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
11. Rekan Laboratorium Material Teknik Mesin yang sudah bersedia menjadi teman serta membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuangan kantin emak yang telah menemani saat suka maupun duka selama perkuliahan.
13. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
14. Seluruh saudara-saudara yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
15. Teman angkatan 2020 Teknik Mesin yang telah memberikan informasi-informasi terkait penyelesaian skripsi.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat pada skripsi ini, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Besar harapannya agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
DAFTAR PUSTAKA	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pisau Pemotong Tebu (<i>Sugarcane Harvester Blades</i>).....	5
2.2 Struktur Mikro Baja.....	8
2.3 Pengujian Tarik.....	11
2.4 Laju Pengerasan Regangan.....	13
2.5 Retak Fatik.....	14
2.6 Laju Perambatan Retak Fatik.....	16
2.7 <i>Stress Intesity Factor</i> (SIF).....	17
2.8 Metode <i>Compliance</i>	18
2.9 Metode <i>polynomial incremental</i>	21
III. METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2 Bahan yang Digunakan.....	23

3.3	Alat Yang digunakan	25
3.4	Metode Penelitian	28
3.5	Diagram Alur Penelitian	34
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Hasil dan Analisis Pengujian Tarik.....	35
4.2	Hasil dan Analisis Uji Perambatan Retak Fatik.....	38
4.3	Analisis Mikrostruktur	42
4.4	Analisis SEM Fraktografi.....	44
V.	PENUTUP	47
5.1	Simpulan	47
5.2	Saran	48
	DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Sugarcane Harvester Blades</i>	5
Gambar 2.2 Austenit.....	8
Gambar 2.3 Ferit	9
Gambar 2. 4 Pearlite	9
Gambar 2.5 Transmisi Elektron Struktur Bainit	10
Gambar 2.6 Martensit	11
Gambar 2.7 Kurva Tegangan Regangan.....	12
Gambar 2.8 Kurva Strain Hardening Rate vs True Strain	14
Gambar 2.9 Geometri Spesimen CT	18
Gambar 2.10 Grafik hubungan COD dengan Gaya	20
Gambar 3.1 Letak Pemotongan Spesimen Pisau Pemotong Tebu	23
Gambar 3.2 Spesimen uji tarik standar ASTM E8.....	24
Gambar 3.3 Bentuk dan ukuran spesimen uji perambatan retak fatik	24
Gambar 3.5 Mesin MTS Landmark 100KN	25
Gambar 3.6 Jangka Sorong.....	25
Gambar 3.7 Clip Gage on Displacement (COD)	26
Gambar 3.8 Clevis.....	27
Gambar 3.9 Olympus BX53M.....	27
Gambar 3.10 Scanning Electron Microscopy	28
Gambar 3.11 Diagram Alur Penelitian	34
Gambar 4.1 Spesimen Uji Tarik Setelah Pengujian Tarik.....	35
Gambar 4.2 Grafik Tegangan – Regangan Teknik Material Sugarcane Harvester Blades (pisau pemotong tebu)	36
Gambar 4.3 Grafik Hubungan <i>Strain Hardening Rate Vs Engineering Strain</i> ...	37
Gambar 4.4 Kurva Hubungan Panjang Retak dengan Siklus	38

Gambar 4.5 Grafik Laju Perambatan Retak Fatik Hubungan da/dN Terhadap ΔK	40
Gambar 4.6 Spesimen Pengujian Struktur Mikro	43
Gambar 4.7 Struktur Mikro Pisau Pemotong Tebu dengan Perbesaran (a) 200x dan (b) 500x	43
Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Fraktografi di Area Perambatan Retak Perbesaran 500x Pada CT02	44
Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Fraktografi SEM dari Patahan Pisau Pemotong Tebu, (a) Perbesaran 3000x, (b) Perbesaran 5000x	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia pada Pisau Pemotong Tebu	6
Tabel 3.1 Spesifikasi Clip Gage on Displacement (COD)	26
Tabel 3.2 Tabel Parameter Pengujian Tarik	29
Tabel 3.3 Tabel Parameter Pengujian Retak Fatik.....	29
Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik Pisau Pemotong Tebu	36

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT *Sugar Group Companies* sebagai suatu perusahaan di Desa Seputih Mataram, Lampung Tengah bergerak di bidang perindustrian khususnya penghasil gula terbaik. perusahaan ini yang memiliki Perkebunan Tebu dan Pabrik Gula terbesar di Indonesia. Perusahaan ini berdiri kokoh dengan luas kebun lebih dari 62,000 ha di Provinsi Lampung. Produk utama perusahaan *Sugar Group* adalah gula kristal putih. Hingga saat ini PT *Sugar Group Companies* memiliki 4 anak perusahaan, yaitu PT Gula Putih Mataram (GPM), PT Sweet Indo Lampung (SIL), PT Indo Lampung Perkasa (ILP), dan PT Indolampung Distillery (ILD) (Melinia, 2022).

Masalah yang sering dialami pada saat proses pemotongan tebu di pabrik gula PT. *Sugar Group* Lampung adalah pemotong tebu (*sugarcane harvester blade*) sering mengalami pecah atau retak dikarenakan sering mengenai lahan pertanian ataupun cepat mengalami aus dan juga terjadi korosi dikarenakan mata pisau sering terkena air tebu. Pabrik gula PT. *Sugar Group* mendatangkan pisau ini dari Taiwan. Investigasi ketahanan retak pemotong tebu dilakukan karena belum ada data yang memenuhi kekuatan tarik dan ketahanan retak material dari pemotong tebu ini yang termasuk baja karbon rendah.

Analisis perambatan retak fatik pada bahan pisau pemotong tebu ini diperlukan karena pada industri pabrik gula pisau pemotong tebu ini sangatlah penting pada saat proses pemotongan tebu. Salah satu faktor yang menyebabkan bahan pisau menjadi lelah adalah pisau ini digunakan secara

terus menerus dan juga pada saat proses pemotongan tebu pisau ini sering mengenai tanah atau batu pada lahan pertanian dan juga mengalami korosi yang disebabkan mata pisau pemotong tebu ini sering terkena air tebu. Beban statis dan dinamis dapat menyebabkan retak. Kegagalan biasanya terjadi ketika level tegangan material di bawah kekuatannya. Tiga fase kerusakan, yaitu retak awal, retak penyebaran, dan retak. Semakin besar amplitudo pembebanan, semakin cepat retak merambat. Cacat, retakan, dan tekanan menyebabkan kegagalan material. Retakan yang semakin panjang akan memengaruhi kekuatan struktur suatu bahan. Salah satu jenis analisis kegagalan terhadap beban retak adalah analisis perambatan retak, terutama untuk struktur baja yang umum digunakan selama konstruksi.

Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Permana & Badaruddin, 2013) pisau pemotong tebu (*blade chopper cane*), yaitu alat yang digunakan untuk mencacah tebu. Kendala yang terjadi pada Pisau Pemotong Tebu adalah tingkat keausan yang tinggi sehingga mengganggu produktivitas industri. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa *raw material* mempunyai struktur mikro yang tampak adalah *pearlite* dan *ferrite*, dimana *pearlite* berwarna gelap dan *ferrite* berwarna putih. Struktur *ferrite* tampak lebih dominan dari pada struktur *pearlite* sehingga mengakibatkan kekerasan dari *raw materials* menjadi rendah, dimana hasil nilai rata-rata kekerasan yang dimiliki adalah 142.6 MPa dengan hasil kekuatan tarik rata-rata 491.3 N/mm^2 .

Dari beberapa literatur yang didapat dan yang terjadi dilapangan pisau pemotong tebu cepat mengalami kerusakan, dan juga belum ada data yang memuat tentang laju perambatan retak fatik pisau pemotong tebu ini, maka penulis melihat pengujian perambatan retak fatik sangat di perlukan untuk mengetahui laju perambatan retak fatik dan diperlukan investigasi data untuk mengetahui kekuatan tarik dan ketahanan retak bahan pisau pemotong tebu ini sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan pisau secara mendadak pada saat produksi sedang berlangsung danantisipasi kecelakaan pada mesin yang sedang beroperasi. Maka dari itu, dengan melihat kebutuhan yang

tersebut diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul tentang **“INVESTIGASI KETAHANAN RETAK FATIK MATERIAL *SUGARCANE HARVESTER BLADES* (PISAU PEMOTONG TEBU) DI PT. SUGAR GROUP LAMPUNG”**

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1.2.1 Menginvestigasi retak fatik, kekuatan tarik, struktur mikro, dan SEM fraktografi pada *Sugarcane Harvester Blades* (pisau pemotong tebu)
- 1.2.2 Menganalisis hasil kekuatan tarik,retak fatik, struktur mikro, dan SEM fraktografi pada material *Sugarcane Harvester Blades*
- 1.2.3 Menganalisis perbandingan laju perambatan retak fatik *sugarcane harvester blades* (pisau pemotong tebu) berdasarkan arah pembebanan Y-X dan X-Y

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1.3.1 Bahan ini dalam keadaan *quenching - tempering*.
- 1.3.2 Pengambilan letak spesimen yang digunakan untuk uji retak fatik sesuai dengan arah pembebanan Y-X dan X-Y

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Berisikan tentang spesifikasi material *Sugarcane Harvester Blades*, kegunaan *Sugarcane Harvester Blades*, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika dari penelitian yang dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung pembahasan tentang masalah yang dipilih seperti kegunaan *Sugarcane Harvester Blades*, perambatan retak fatik, dan pengujian perambatan retak fatik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang metode-metode dalam mengumpulkan informasi, tempat dan waktu penelitian, dan menerangkan tentang alur penelitian serta bagaimana proses dari pengambilan data yang dilakukan.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang data pengamatan yang diperoleh, dan pembahasan data dari proses pengujian.

V. PENUTUP

Berisikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan serta saran yang dapat diberikan oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan sumber-sumber dari literatur yang dimuat dalam laporan penelitian.

LAMPIRAN

Berisikan data seperti foto-foto dan data yang mendukung laporan ini

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pisau Pemotong Tebu (*Sugarcane Harvester Blades*)

Pisau pemanen tebu atau *sugarcane harvester blades* merupakan komponen penting dari mesin *cane harvester* yang berfungsi sebagai mata pisau untuk memanen tebu. Menurut dua sistem utama digunakan dalam mekanisme pemotongan pemanen yaitu sistem pemotongan batang pemotong dan sistem pemotongan berputar. Pemanen tebu adalah mesin pertanian yang digunakan untuk memanen tebu dan melakukan sedikit pemrosesan pasca panen beberapa memotong dedaunan dan memisahkan tebu dari dedaunan (Ma et al., 2014).



Gambar 2.1 *Sugarcane Harvester Blades* (Ma et al., 2014)

Panah merah di gambar 2.1 menunjukkan pisau pemanen tebu yang terpasang pada mesin *cane harvester*. Pada penelitian ini bahan dari pisau pemotong tebu ini terbuat dari baja AISI D2 / DIN 1.2379 / JIS SKD11 dengan proses *cold work* dan *heat treatment* memiliki komposisi kimia yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Komposisi Kimia pada Pisau Pematik Tebu

Unsur Kimia	Jumlah Kandungan (Wt.%)
<i>Sulfur (S)</i>	0.012
<i>Aluminium (Al)</i>	0.050
<i>Carbon (C)</i>	0.379
<i>Nikel (Ni)</i>	0.053
<i>Niobium (Nb)</i>	-0.008
<i>Chromium (Cr)</i>	0.238
<i>Vanadium (V)</i>	0.003
<i>Mangan (Mn)</i>	0.912
<i>Molybdenum (Mo)</i>	0.017
<i>Wolfram (W)</i>	0.002
<i>Fosforus (P)</i>	0.014
<i>Tembaga (Cu)</i>	0.104
<i>Titanium (Ti)</i>	0.005
<i>Nitrogen (N)</i>	0.044
<i>Boron (B)</i>	0.009
<i>Timbal (Pb)</i>	0.005
<i>Antimon (Sb)</i>	0.004
<i>Kopernisium (Cn)</i>	0.031
<i>Magnesium (Mg)</i>	0.004
<i>Seng (Zn)</i>	0.008
<i>Kobalt (Co)</i>	0.064

Pisau pemotong tebu ini terbuat dari baja AISI D2 / DIN 1.2379 / JIS SKD11 dengan pengerjaan dingin (*cold work*) dan di beri perlakuan panas (liuzhou Lian United Knives Co., 2024). Baja ini termasuk jenis baja perkakas dengan proses pengerjaan dingin (*cold work*) dan perlakuan panas (*heat treatment*) baja ini sangat populer karena kekerasannya yang tinggi, ketahanan ausnya, dan ketahanan deformasi yang baik.

Pada tahap awal, baja ini beberapa kali mengalami *cold working* proses ini dilakukan pada suhu di bawah rekristalisasi dan meningkatkan kekuatan serta kekerasan melalui pengerasan kerja, pada saat *cold working* baja mengalami beberapa bentuk *cold working* seperti *rolling* dan *drawing*. Pada saat proses *rolling* baja melewati *hot rolling* yaitu baja dipanaskan dan digulung untuk mencapai bentuk dasar seperti *billet* atau *slab* kemudian setelah itu baja melewati *cold rolling* yaitu *billet* atau *slab* yang telah mengalami *hot rolling* kemudian didinginkan dan digulung lagi pada suhu kamar untuk menapai ketebalan dan dimensi yang lebih presisi. Pada saat proses *drawing* baja melewati *cold drawing* proses ini melibatkan penarikan baja melalui die untuk menghasilkan batang atau kawat dengan diameter yang lebih kecil sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik (Algarni, 2019) .

Pada saat proses perlakuan panas (*heat treatment*) baja melewati perlakuan *quenching-tempering*. Pada saat *quenching* pisau pemotong tebu ini dipanaskan terlebih dahulu dalam suhu 1060-1100°C untuk menciptakan struktur mikro austenit kemudian pisau pemotong tebu didinginkan menggunakan media minyak untuk mengubah struktur mikro austenit menjadi martensit yang lebih keras. Pada saat proses *tempering* pisau pemotong tebu dipanaskan kembali dalam suhu 510-540°C untuk mengurangi kegetasan martensit dan meningkatkan ketangguhan baja (Hariningsih et al., 2022).

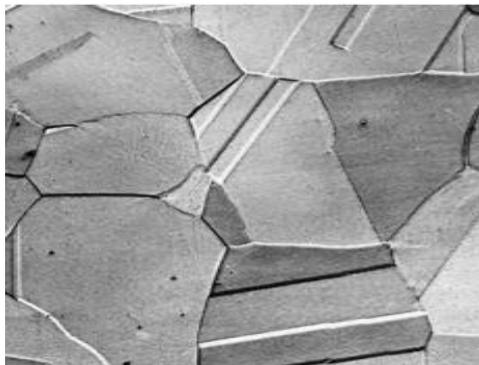
Sehingga dengan proses pengerjaan dingin dan perlakuan panas pada baja ini menghasilkan kekerasan yang tinggi, kekuatan tarik yang tinggi, dan juga ketahanan aus yang baik.

2.2 Struktur Mikro Baja

Struktur mikro merujuk pada pengaturan dan komposisi fasa-fasa dalam suatu material yang dapat diamati pada skala mikroskopis. Struktur mikro ini sangat mempengaruhi sifat mekanik dan fisik material, seperti kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus. Pengamatan dan analisis struktur mikro biasanya dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik atau mikroskop elektronafi. Berikut ini adalah klasifikasi struktur mikro baja:

2.3.1 Austenit (γ)

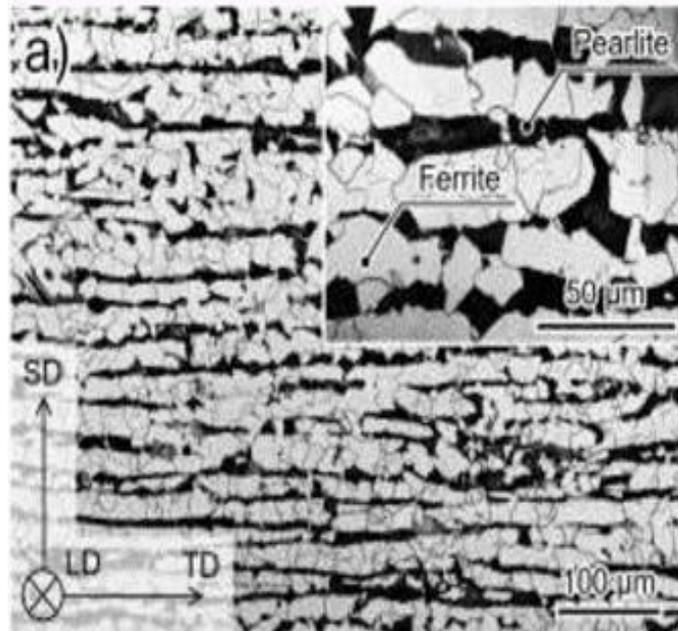
Austenit adalah salah satu fasa dalam baja dan paduan besi-karbon yang memiliki struktur kristal *Face-Centered Cubic* (FCC). Austenit terbentuk pada suhu tinggi dan merupakan fasa yang stabil pada rentang suhu tertentu tergantung pada komposisi paduan. Fasa ini sangat penting dalam proses termomekanik dan sifat-sifat akhir material baja.



Gambar 2.2 Austenit (Callister, 2007)

2.3.2 Ferit (α)

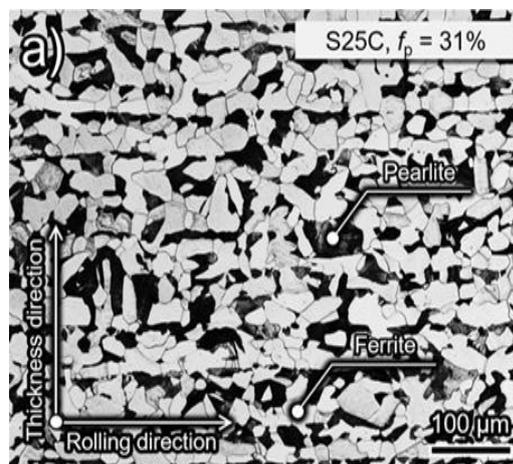
Ferit adalah sel satuan kubus pusat badan (BCC, atau *body centre cubic*) dengan suhu di bawah 910 °C. Ferit lebih lunak daripada sementit, dan sifatnya yang ulet memungkinkan material untuk dibentuk lebih mudah. Bahan yang mengandung ferit biasanya digunakan dalam konstruksi dan keperluan industri lainnya (Takakuwa et al., 2020).



Gambar 2.3 Ferit (Takakuwa et al., 2020)

2.3.3 Pearlite

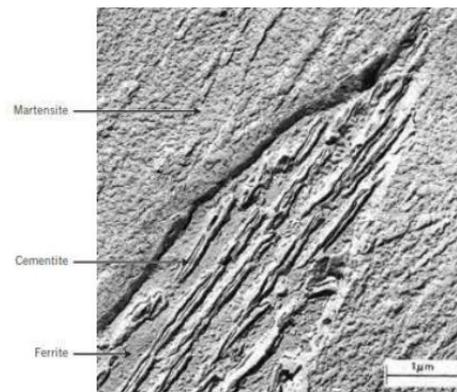
Pearlite adalah campuran antara ferit dan sementit, dengan lapisan halus dan suhu di bawah 723 °C. Meskipun kurang ulet daripada ferit, perlit memiliki sifat kuat dan keras. Transformasi austenit terjadi saat austenit dingin. Fasa martensit terbentuk jika pendinginan ini terjadi dengan cepat. Fasa ini memiliki sifat lebih keras dan kuat daripada *ferrite* dengan nilai kekerasan mencapai 10-30 HRC serta kekuatan tarik sekitar 120.000 psi, akan tetapi kurang liat dengan *elongation* sekitar 20 % dalam 2 in.



Gambar 2. 4 Pearlite (Ogawa et al., 2022)

2.3.4 Bainit

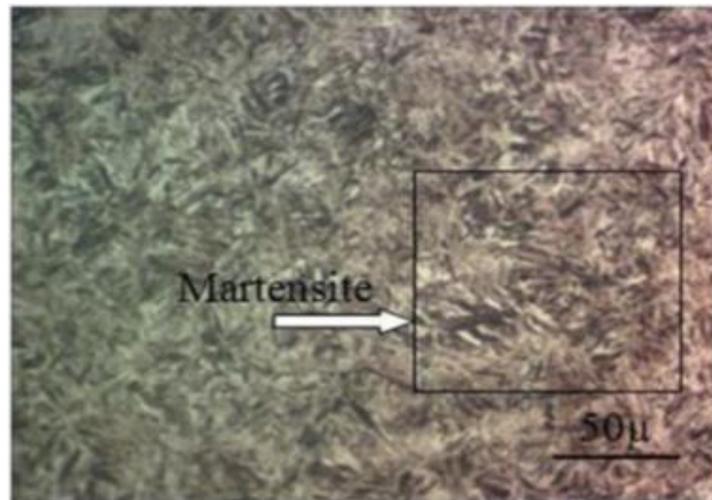
Bainit, fasa yang kurang stabil dari asutinit, dapat ditemukan pada suhu yang lebih rendah daripada suhu transformasi pearlite dan lebih tinggi daripada suhu transformasi martensit. Bentuk bainit seperti piring atau jarum, tergantung pada suhu transformasi hanya dengan menggunakan mikroskop elektron, detail struktur mikro bainit sangat halus. Dibentuk pada laju pendinginan sedang, bainit mengandung ferit, sementit, dan austenit sisa. Komponen keras yang membulat pada bainit membuatnya lebih tahan terhadap permulaan dan perambatan retak dibandingkan struktur datar dan memanjang seperti perlit. Keseimbangan kekuatan dan keuletan ini membuat baja bainitik cocok untuk aplikasi seperti roda otomotif dan lengan suspensi



Gambar 2.5 Transmisi Elektron Struktur Bainit (Callister, 2007)

2.3.5 Martensit

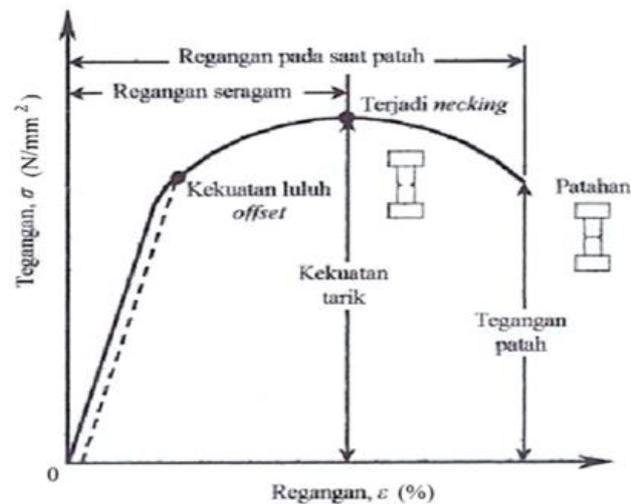
Martensit adalah fasa tunggal yang tidak seimbang yang terjadi akibat transformasi tanpa difusi dari austenit. Struktur FCC austenit akan berubah menjadi struktur BCT (*body centered tetragonal*) martensit pada transformasi ini. Karena transformasi martensit tidak melewati proses difusi, maka ia terjadi seketika sehingga laju transformasi martensit adalah tidak bergantung waktu. Pada Gambar 2.5 menunjukkan fasa martensit setelah proses pendinginan cepat (*quenching*). (Mizhar & Suherman, 2011)



Gambar 2.6 Martensit (Mizhar & Suherman, 2011)

2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik akan menunjukkan kekuatan material sehingga dapat merancang bangunan yang sesuai dengan sifat material tersebut. Uji tarik dilakukan dengan memberikan beban pada material dan menerapkan gaya ke arah yang berlawanan dari titik tengah. Sifat mekanik material dapat ditentukan melalui uji tarik. Karena merupakan dasar uji coba dan penelitian ketahanan material, pengujian tarik ini paling sering dilakukan. Perubahan bentuk atau deformasi material adalah hasil tarikan. Deformasi adalah pergerakan partikel kristal dalam bahan sampai ikatan kristalnya terlepas karena tekanan tertinggi. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mendapatkan data tegangan *yield* dan *ultimate* (MPa), energi elastis (kJ), energi plastis (kJ), modulus elastis (GPa), elongasi total (%), reduksi penampang (%). Pengujian tarik tidak hanya menghasilkan benda kerja yang patah karena proses penarikan, tetapi juga menghasilkan kurva uji tarik antara tegangan dan regangan. Kurva ini menunjukkan proses pembebanan pada benda kerja dari awal penarikan hingga akhir. Tujuan dari pengujian tarik ini adalah untuk mendapatkan pemahaman tentang sifat mekanik logam (Haris, 2016).



Gambar 2.7 Kurva Tegangan Regangan (Salindeho et al., 2013)

Sifat mekanik dapat diketahui berdasarkan kurva pengujian tarik yang dihasilkan yaitu kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Tegangan (σ) yang terjadi pada pengujian tarik didapatkan dari hasil membagi beban dengan luas penampang awal spesimen uji. Sedangkan regangan (ϵ) diperoleh dari hasil bagi antara perpanjangan spesimen uji setelah pengujian dengan panjang awal spesimen uji. Persamaan tegangan dan regangan pada pengujian tarik dapat dijabarkan dalam persamaan dibawah ini.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.1)$$

Dimana :

σ : Kekuatan tarik (MPa)

P_{max} : Beban maksimum (kN)

A_0 : Luas penampang awal (mm^2)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.2)$$

Dimana :

ΔL : Pertambahan panjang

L_0 : Panjang awal

2.4 Laju Pengerasan Regangan

Laju pengerasan regangan adalah ukuran perubahan tegangan yang diperlukan untuk menyebabkan perubahan regangan plastis dalam suatu material. Ini mengindikasikan seberapa cepat material menjadi lebih kuat dan lebih keras saat mengalami deformasi plastis. *Strain hardening* terjadi pada material logam dan mengalami dua dislokasi yakni yaitu dislokasi dalam unit sel dan dislokasi yang disebabkan oleh deformasi plastis. Semakin tinggi laju pengerasan regangan, semakin cepat material tersebut menguat dan mengeras saat mengalami deformasi plastis. Ini berarti bahwa material dengan laju pengerasan regangan tinggi akan lebih tahan terhadap deformasi plastis lebih lanjut setelah mengalami beberapa deformasi (Ghazani & Eghbali, 2021).

Untuk mendapatkan laju pengerasan regangan maka nilai regangan yang sebenarnya juga diperhitungkan dengan persamaan 2.3 berikut :

$$\varepsilon' = \ln(1 + \varepsilon) \quad (2.3)$$

Dan nilai tegangan sebenarnya dihitung melalui persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\sigma_t = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (2.4)$$

Dimana untuk memperoleh nilai K dan n maka dilakukan plot data *true strain* dan *true strain* maka dihasilkan persamaan :

$$\text{Log } \sigma = K \log + n \log \varepsilon \quad (2.5)$$

Setelah didapat nilai K dan n maka untuk mendapatkan nilai *strain hardening rate* maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\theta = K \varepsilon'^{1-n} \quad (2.6)$$

Dimana :

σ : Tegangan teknik

ε : Regangan teknik

ε' : Regangan sebenarnya

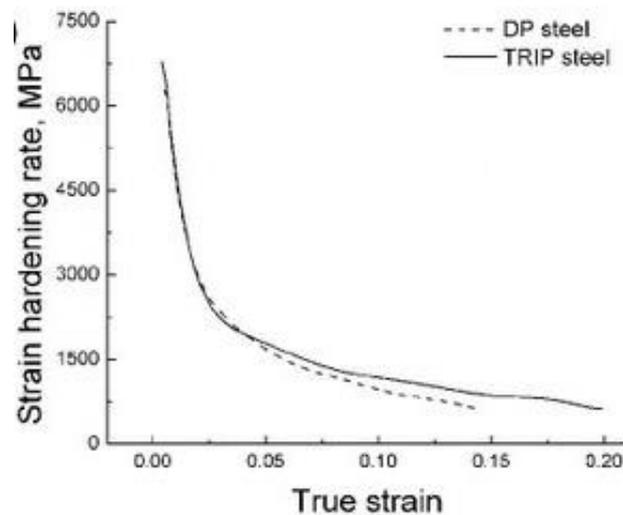
σ_t : Tegangan sebenarnya

θ : Laju Pengerasan Regangan

K : Koefisien kekuatan

n : Koefisien pengerasan regangan

setelah nilai *strain hardening rate* didapatkan selanjutnya *strain hardening rate* akan di plot dengan nilai *true strain*.



Gambar 2.8 Kurva *Strain Hardening Rate vs True Strain* (Xiong et al., 2014)

2.5 Retak Fatik

Fatig merupakan proses kerusakan material yang diakibatkan oleh tegangan berfluktasi yang lebih kecil dari tegangan akhir (σ_u) atau luluh. Jika suatu logam dikenai tegangan secara terus menerus, logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah daripada tegangan yang diperlukan untuk

menimbulkan perpatahan pada beban statik. Salah satu aspek dalam mekanika kelelahan yaitu *crack* atau retak. Retak pada umumnya digunakan untuk menganalisis mekanisme perambatan retak yang terjadi pada material ketika diberikan beban berulang secara terus menerus. Perambatan inilah yang biasanya dijadikan acuan untuk dapat menentukan umur kelelahan sebelum terjadi kegagalan struktur material (Pratowo & Apriansyah, 2016). Tahap terjadinya sebuah retak fatik pada material dibagi menjadi tahap retakan awal (*crack initiation*), tahap perambatan retak (*crack propagation*) dan patah (*final fracture*).

2.5.1 *Crack Initiation* (Retak Awal)

Pada umumnya mekanisme fatik dimulai dari retakan awal yang terjadi pada daerah dimana terjadinya konsentrasi tegangan dipermukaan akibat dari pembebanan yang berulang permukaan atau pada daerah material yang lemah.

2.5.2 *Crack Propagation* (Retak Merambat)

Pada tahap perambatan retak ini merupakan lanjutan dari kondisi cacat awal atau retak awal yang dibiarkan secara terus menerus sehingga retakan tersebut menjalar ke bidang material yang lain. Parameter yang menentukan perambatan retak diantaranya adalah ΔK dan K_{max} . Perambatan retak sejalan dengan pembebanan yang diberikan pada material

2.5.3 *Final Fracture* (Patah)

Patah adalah fase paling akhir yang terjadi pada material ketika mendapat pembebanan secara terus menerus. Kegagalan terjadi karena struktur material tersebut mengalami kerusakan atau crack. Retak yang terjadi dapat berupa *brittle fracture (cleavage)*, *ductile fracture (rupture)* atau kombinasi dari keduanya.

2.6 Laju Perambatan Retak Fatik

Konsep perambatan retak fatik material harus dipertimbangkan ketika melakukan desain aplikasi fatik (*fail-safe design*). Dengan mengetahui nilai perambatan retak fatik yang terjadi pada material, maka kondisi batas amannya dapat diketahui pula. Antara laju perambatan retak fatik dan faktor intensitas tegangan dapat dirumuskan dalam bentuk kurva skematis pembebanan fatik. Dan hubungan diantara keduanya dapat dijelaskan dalam persamaan (2.7)

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \quad (2.7)$$

$$\Delta K = (S_{max} - S_{min})\beta\sqrt{\pi}\alpha \quad (2.8)$$

Bila material tersebut diberi beban tekan dan nilai laju rambatan retak sama dengan 0, maka jika S_{min} merupakan tegangan tekan maka nilai dari K_{min} nya juga sama dengan 0. Pada kegagalan atau fatik, siklus yang diperlukan dalam proses ini terdiri dari dua tahap yaitu nukleasi retakan dan perambatan retakan sampai panjang retakan mencapai nilai kritis hingga putus (Thao, 2021). Untuk mengukur hubungan antara panjang retak dengan jumlah siklus maka dilakukanlah pengujian rambat retak fatik material.

Laju perambatan retak (da/dN) dan faktor intensitas tegangan (K) dihitung menggunakan metode *polynomial incremental* yang didasarkan pada standar ASTM E647. Hal tersebut dihitung berdasarkan data panjang retak dan jumlah siklus. Selanjutnya nilai (da/dN) dan (K) diplot dalam kurva logaritmik untuk menghasilkan konstanta material (C) dan konstanta eksponensial (m) mewakili kemiringan kurva dan disebut sebagai konstanta paris. Secara umum, bagian kurva yang dipertimbangkan untuk perhitungan (m) adalah bagian linier yang memiliki tingkat perambatan yang teratur. Laju perambatan retak fatik diukur dengan konstanta Paris (m), yang menunjukkan seberapa cepat retak tersebut merambat. Semakin besar konstanta Paris (m), semakin cepat pula laju perambatan retaknya. Persamaan paris law dapat dilihat dalam persamaan 2.9 :

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (2.9)$$

Dimana :

- $\frac{da}{dN}$: Laju perambatan retak (m/cycle)
 ΔK : Faktor intensitas tegangan
 C, m : Konstanta material

2.7 *Stress Intesity Factor (SIF)*

Salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan analisis keretakan adalah *Stress Intesity Faktor (SIF)*, yang menunjukkan tegangan yang terjadi pada ujung retak. SIF juga sering digunakan sebagai parameter desain yang dapat digunakan untuk menentukan umur sisa struktur yang mengalami kerusakan karena kelelahan. Dengan adanya SIF, nantinya juga dapat menentukan tingkat kelelahan perambatan ulang. *Stress Intesity Faktor (SIF)* digunakan untuk melihat medan tegangan di depan ujung retak. SIF adalah perhitungan numerik yang berhubungan dengan beban dan ukuran cacat pada geometri tertentu (Lin & Smith, 1999). Faktor intensitas tegangan dapat ditentukan dari Panjang retak fatik (a) dalam setiap rentang beban (ΔP). Hal tersebut akhirnya mengakibatkan retak menjalar didalam struktur material. Faktor intensitas tegangan terhadap Panjang retak dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini (ASTM E647, 2000):

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B\sqrt{W}} \frac{(2+a)}{(1-a)^{3/2}} (0.886 + 4.64a + 13.32a^2 + 14.72a^3 + 5.6a^4) \quad (2.10)$$

Dimana :

- a : a/W ; nilai ini valid jika $a/W \geq 0.2$
 ΔP : Rentang beban
 B : Tebal spesimen
 W : Lebar spesimen

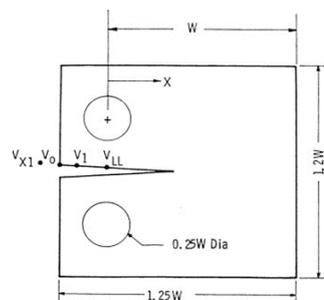
Rentang faktor intensitas tegangan pada ujung retak dapat didefinisikan sebagai $\Delta K = K_{maks} - K_{min}$. Dalam persamaan 2.10 diatas diasumsikan bahwa spesimen uji yang digunakan bersifat linear elastis, isotropic dan homogen. Persamaan 2.10 tersebut tidak memperhitungkan potensi pengaruh tegangan sisa atau penutupan retak pada nilai ΔK yang dihitung

2.8 Metode Compliance

Metode pengukuran retak dengan COD *gege* umumnya disebut teknik *compliance*. Jenis spesimen yang digunakan dalam metode compliance ini adalah model *compact tension* (CT). Pada pengujian FCG, gelombang sinusoidal sejati dengan frekuensi 10 Hz digunakan untuk memberikan beban konstan dengan rasio beban tertentu. Panjang retak fatik pada spesimen uji diukur melalui metode *compliance*. (ASTM E647, 2000)

Dalam pengujian mekanika perpatahan material, teknik konsistensi digunakan untuk mengidentifikasi perambatan retak subkritis. Ini didasarkan pada pengukuran dua besaran pengujian fatik yang paling penting, yaitu beban yang diberikan dengan defleksi spesimen. Selain itu, teknik ini sangat cocok untuk akuisisi data otomatis, dan mudah digunakan.

Standar ASTM E647 menetapkan bahwa posisi COD pada pengujian fatik dibagi menjadi empat lokasi. Geometri spesimen CT digambarkan pada gambar 2.9 Beberapa simbol menunjukkan kesesuaian yang dinormalisasi di beberapa lokasi penempatan COD pada spesimen.



Gambar 2.9 Geometri Spesimen CT (ASTM E647, 2000)

Pada gambar skematik geometri spesimen CT terdapat beberapa simbol yang digunakan untuk menunjukkan kesesuaian yang dinormalisasi di beberapa lokasi spesimen sebagai berikut:

- $(BEV_0)/P$ = Kesesuaian pada permukaan depan spesimen, lokasi yang ditetapkan adalah 0
- $(BEV_1)/P$ = Kesesuaian pada 1576 W dari garis beban ke arah permukaan depan spesimen, lokasi yang ditetapkan adalah 1
- $(BEV_{LL})/P$ = Kepatuhan garis beban, lokasi yang ditetapkan adalah LL
- $(BEV_{X1})/P$ = Kesesuaian pada jarak 345 W dari garis beban ke arah retakan ujung, lokasi yang ditetapkan X1

Dimana E merupakan modulus young, β ketebalan dari spesimen, V perpindahan, P beban, dan W merupakan lebar spesimen. Menurut Newman, kepatuhan yang dinormalisasi pada lokasi 0,1, LL dan 2 untuk panjang retak yang dipilih antara $a/w = 0,20$ dan $0,80$ nilai tersebut didapat dari tabel kesesuaian dan sumbu rotasi X_0/W sebagai fungsi perpanjangan retak untuk spesimen CT (Saxena et al, 1978).

Tabel 2.2 Nilai *compliance coefficient*

<i>Meas.</i>	X/W	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
<i>Location</i>							
C(T) Spesimen							
V _{X1}	-0.345	1.0012	-4.9165	23.057	-323.91	1798.3	-3513.2
V ₀	-0.250	1.0010	-4.6695	18.460	-236.82	1214.9	-2143.6
V ₁	-0.1576	1.0008	-4.4473	15.400	-180.55	870.92	-1411.3
V _{LL}	0	1.0002	-4.0632	11.242	-106.04	464.33	-650.68

Dengan asumsi bahwa hanya mekanisme disipasi energi *inelastic* yang terjadi pada ujung retak, sudut pandang mekanis *linear elastic fracture mechanics* (LEFM) (Ortega et al., 2014). Metode pengukuran retak menggunakan COD *gege* umumnya disebut teknik *compliance*. Laju pelepasan energi elastis (ERR) per unit di area baru yang dibuat dapat digunakan untuk mengukur ketahanan retak kritis. Dalam kasus di mana spesimen CT diambil, panjang retak dinormalisasi sebagai V_0

$$\frac{a}{w} = 1.0010 - 4.6695U + 18.460U^2 - 236.82U^3 + 1214.9U^4 - 21243.6U^5 \quad (2.11)$$

Dimana :

α : Panjang retak dari titik aplikasi beban

w : Bentang antara titik beban dan permukaan ujung spesimen

Nilai U diperoleh dari persamaan :

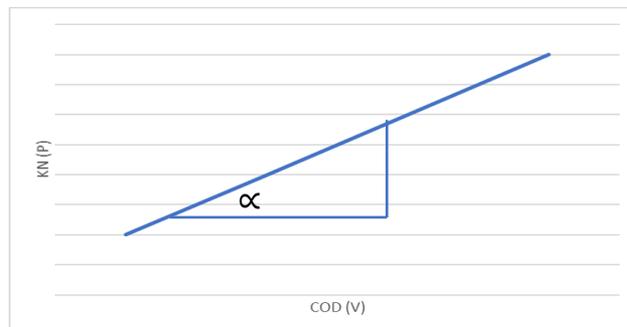
$$U = 1 / \left[1 + (EBC)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.12)$$

Dimana :

B : Tebal spesimen

E : Modulus young

C : *Compliance* (V/P)



Gambar 2.10 Grafik hubungan COD dengan Gaya

Persamaan $C = V/P$ didapat dari $Slope(\alpha) = \frac{P}{V}$ maka $C = \frac{1}{Slope} = \frac{1}{P/V}$ jadi, $C = V/P$ dan nilai U dapat diperoleh dari persamaan :

$$U = 1 / \left[1 + \left(\frac{BEV}{P} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.13)$$

Dimana :

V : Perpindahan antar titik pengukuran

P : Beban

2.9 Metode *polynomial incremental*

Setelah didapatkan nilai perbandingan Panjang retak dengan jumlah siklus, kemudian laju perambatan retak fatik (da/dN) dicari dengan menggunakan metode *Incremental Polynomial* (ASTM E647, 2000). Metode ini digunakan untuk menghitung perambatan retak fatik yang terjadi pada spesimen uji. Metode *Incremental Polynomial* ini digunakan dalam perhitungan da/dN yang didalamnya meliputi pas *polynomial* urutan kedua ke rangkaian $(2n+1)$ titik data yang tersusun berurutan, biasanya n memiliki nilai sebesar 1,2,3,4 atau 5 (ASTM E647, 2000).

$$a_i = b_0 + b_1 \left(\frac{N_i - c_i}{c_2} \right) + b_2 \left(\frac{N_i - c_i}{c_2} \right)^2 \quad (2.14)$$

Dimana,

$$-1 \leq \left(\frac{N_i - c_i}{c_2} \right) \leq +1 \quad (2.15)$$

Nilai b_0, b_1 dan b_2 adalah parameter regresi yang ditentukan melalui metode kuadrat terkecil minimalisasi kuadrat deviasi antara nilai ukuran retakan yang diamati dan nilai yang ditetapkan pada rentang $\alpha_{i-n} \leq \alpha \leq \alpha_{i-n}$. Nilai

dari α , merupakan nilai ukuran retakan yang sesuai pada N_i . Parameter $C_1 = 1/2(N_{i-n} + N_{i+n})$ dan $C_2 = 1/2(N_{i-n} + N_{i-n})$ digunakan untuk menskalakan data masukan untuk meminimalkan kesulitan numerik yang terkait dengan menentukan parameter regresi. Laju pertumbuhan retak pada N_i , didapat dari turunan parabola sebelumnya, yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_{d_i} = \frac{b_i}{C_2} + 2b_2 \left(\frac{N_i - C_i}{C_2^2}\right) \quad (2.16)$$

Dengan menggunakan program komputer *quick basic*, analisis data hasil pengujian retak fatik dihitung menggunakan metode *polynomial incremental*. K-kalibrasi spesimen digunakan untuk geometri C(T) spesimen. Informasi tentang spesimen, variable pembebanan, dan lingkungan dimasukkan ke dalam keluaran program, selain nilai tabulasi dari data mentah dan data yang diproses. Nilai ukuran retakan total A(Mcas.) dan A(Reg.) masing-masing diperoleh dari pengukuran dan dari persamaan regresi,. Koefisien korelasi berganda, MCC (MCC =1), menunjukkan kesesuaian sempurna persamaan ini. Nilai ΔK dan da/dN diberikan dalam satuan yang sama dengan variabel input.

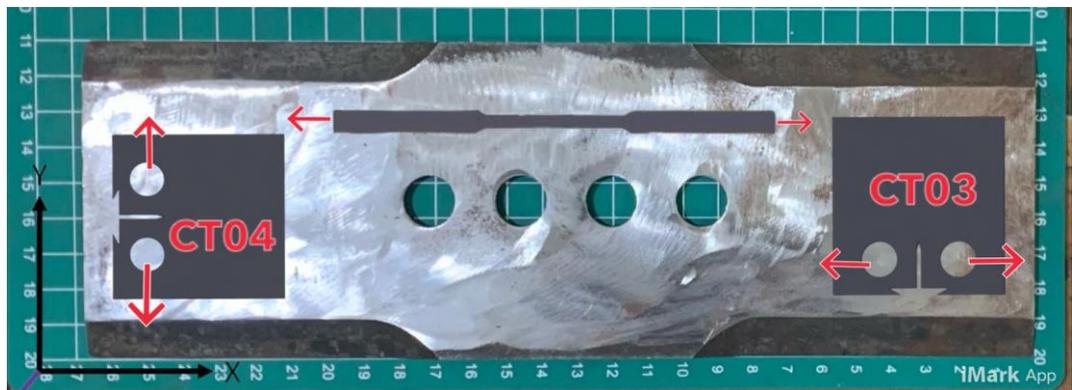
III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan Januari 2024 sampai dengan bulan Maret 2024. Pemotongan spesimen dilakukan di PT. *Metalin'Go Technology Engineering* Cikarang. Penelitian pengujian tarik dan perambatan retak fatik pisau pemotong tebu ini dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung untuk pengujian struktur mikro dan SEM fraktografi dilakukan di Laboratorium Material Universitas Diponegoro Semarang

3.2 Bahan yang Digunakan

Bahan dan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Sugarcane Harvester Blades* (Pisau Pemotong Tebu) dengan hasil uji komposisi yang dapat dilihat pada tabel 2.1



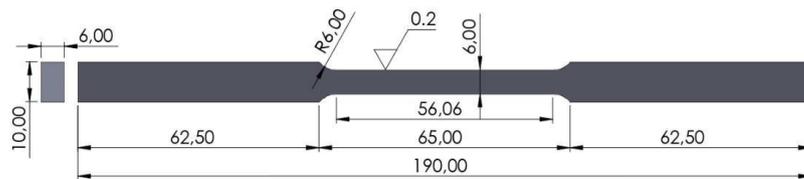
Gambar 3.1 Pengambilan Sampel Uji Tarik Dan Uji Perambatan Retak Fatik (panah merah menunjukkan arah pembebanan)

Bahan pisau pemotong tebu dilakukan pengambilan sampel untuk membuat spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E8 dengan tipe geometri *rectangle for tension*. Dan pengambilan sampel spesimen pengujian perambatan retak fatik di potong berdasarkan arah pembebanan berbeda, CT 03 dengan arah pembebanan Y-X pada arah pembebanan ini, perambatan retak terjadi pada sumbu Y dan gaya yang diterapkan sepanjang sumbu X, dan CT 04 dengan arah pembebanan X-Y, perambatan retak yang terjadi pada sumbu X dan gaya yang diterapkan sepanjang sumbu Y.

3.3 Pembuatan Spesimen

1. Spesimen Uji Tarik

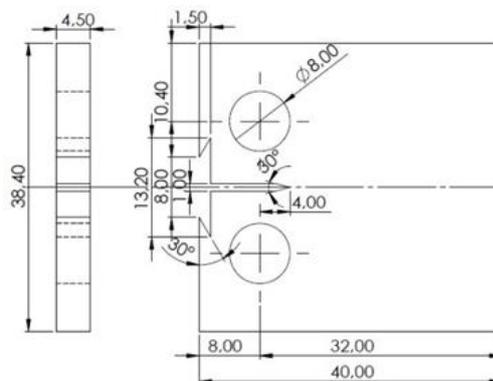
Spesimen yang digunakan untuk pengujian tarik disesuaikan dengan standar ASTM E8, dengan ukuran dan bentuk seperti pada gambar



Gambar 3.2 Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik (satuan mm) (ASTME8, 2000)

2. Spesimen Uji Perambatan Retak Fatik

Spesimen yang digunakan dalam pengujian retak fatik disesuaikan dengan standar ASTM E647, dengan ukuran dan bentuk seperti gambar



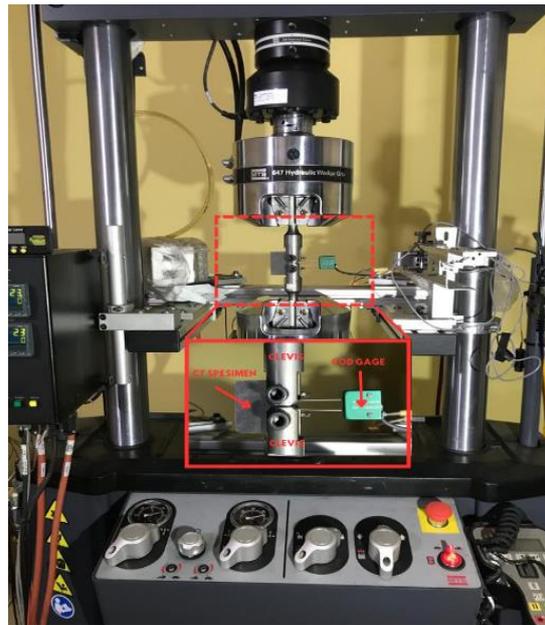
Gambar 3.3 Bentuk dan ukuran spesimen uji perambatan retak fatik (satuan mm) (ASTME647, 2004)

3.4 Alat Yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin MTS *Landmark* 100 kN

Mesin MTS *Landmark* 100 kN digunakan dalam pengujian Tarik dan pengujian fatik pada spesimen. Mesin ini terdapat di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung.



Gambar 3.4 Mesin MTS *Landmark* 100KN

2. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

Jangka sorong ini digunakan sebagai alat ukur Panjang spesimen uji sebelum pengujian maupun setelah pengujian dilakukan untuk mengetahui perubahan ukuran pada spesimen.



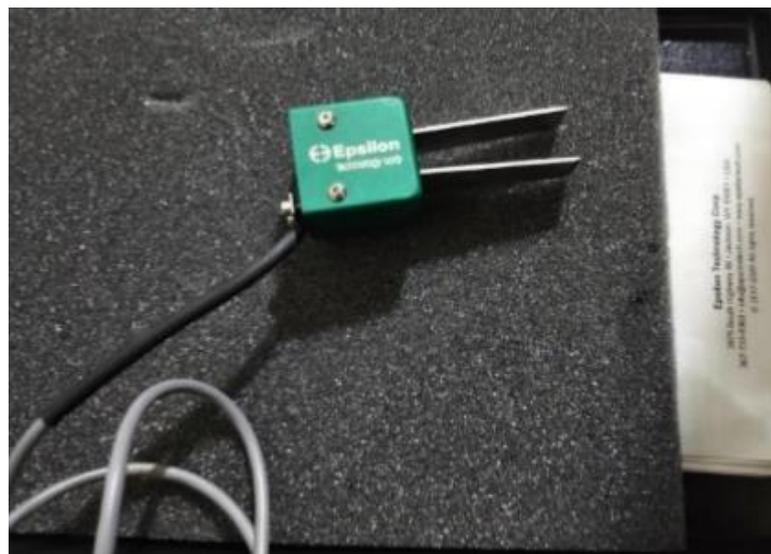
Gambar 3.5 Jangka Sorong

Table 3.1 Spesifikasi jangka sorong (*Vernier Caliper*)

Detail Spesifikasi	
Nama Merek	Mutituyo
Akurasi	0.02 mm / 0.001 in (100 mm)
Range	0-150 mm / 0-6 in
Indikasi Minimum	0.01 mm / 0.0005 in
Standar Temperatur	20°C
Berat	800 gram

3. *Clip Gage on Displacement* (COD)

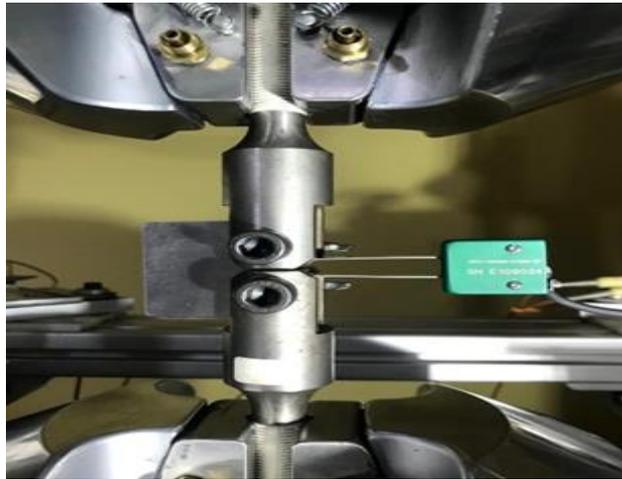
Clip Gage on Displacement (COD) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur variasi celah diantara takik pada spesimen saat pengujian fatik dilakukan, alat ini terdapat di Laboratorium Material Tenik Mesin Universitas Lampung.

**Gambar 3.6** *Clip Gage on Displacement* (COD)**Tabel 3.1** Spesifikasi *Clip Gage on Displacement* (COD)

Detail Spesifikasi	
Nama	Epsilon
Merek	3541-008M-040M-ST
Model	8.00 mm
Gauge Length Travel	+4.00 mm, -1.00mm
Temperature	-40°C to 100°C (-40°F to 120°F)

4. *Clevis*

Clevis merupakan alat yang digunakan pada mesin MTS Landmark 100 kN untuk mencekam spesimen uji dalam pengujian perambatan retak fatik, alat ini terdapat di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung



Gambar 3.7 *Clevis*.

5. *Olympus BX53M*

Olympus BX53M digunakan untuk mengamati struktur mikro pada pisau pemotong tebu. Alat ini terdapat di laboratorium material teknik Universitas Diponegoro Semarang



Gambar 3.8 *Olympus BX53M*

6. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Kegunaan *Scanning Electron Microscopy* untuk melihat dan mengobservasi retakan dan patahan pada permukaan pisau pemotong tebu setelah dilakukannya pengujian tarik dan pengujian perambatan retak fatik.



Gambar 3.9 *Scanning Electron Microscopy*

3.5 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini dibagi menjadi beberapa langkah yaitu :

3.4.1 Persiapan Spesimen Uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan dari *sugarcane harvester blades* (Pisau pemotong Tebu)

3.4.2 Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan spesimen pengujian dilakukan dengan mengikuti standarisasi dimensi pengujian baja yaitu standar ASTM E8 untuk spesimen uji tarik dan ASTM E647 untuk spesimen uji fatik. Pembentukan spesimen dilakukan dengan proses permesinan *Vertical Machining Center (CNC Milling Machine)*. Pembentukan

spesimen uji dilakukan oleh PT. *Metalin'Go Technology Engineering, Manufacture and machinery* beralamat di Jalan Cilemehabang T1-6A RT/RW 08/09 Jayamukti, Jababeka 2, Cikarang Pusat.

3.4.3 Parameter Pengujian

a. Parameter Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik membutuhkan beberapa parameter awal untuk proses pengujianya. Adapun beberapa parameter pengujianya sebagai berikut :

Tabel 3.2 Tabel Parameter Pengujian Tarik

No	Parameter	Nilai
1.	<i>Speed</i> (kN/s)	0.040
2.	<i>Gage Lenght</i>	50
3.	Tebal Spesimen (mm)	4.47
4.	Lebar Spesimen (mm)	6.01
5.	Frekuensi (Hz)	10
6.	Standar	ASTM E8
7.	Tipe Geometri	<i>Rectangle For Tension</i>

b. Parameter Pengujian Perambatan Retak Fatik

Proses pengujian Perambatan Retak Fatik membutuhkan beberapa parameter awal untuk proses pengujianya. Adapun beberapa parameter pengujianya sebagai berikut :

Tabel 3.3 Tabel Parameter Pengujian Retak Fatik

No	Parameter	Nilai
1.	P_{max} (kN)	3.57
2.	P_{min} (kN)	0.357
3.	Rasio	0.1
4.	Frekuensi (Hz)	10
5.	<i>Yield Streght</i> (MPa)	1415.26
6.	Lebar,W (mm)	32
7.	Tebal,B (mm)	4.63
8.	Modulus Elastis (GPa)	206.032
9.	Standar Pengujian'E	ASTM E647

3.4.4 Tahap Pengujian

a. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan terhadap spesimen untuk mengetahui nilai tegangan luluh (σ_y) pada baja. Berikut merupakan langkah yang dilakukan untuk melakukan pengujian tarik :

1. Menyiapkan spesimen uji yang sudah sesuai dengan standar ASTM E8.
2. Menghidupkan *chiller* dan *Hydraulic Power Unit* atau HPU.
3. Menghidupkan mesin MTS Landmark 100 kN.
4. Memilih program *controller 793B* lalu pilih manual *command*, klik *displacement mode*, dan naikkan *actuator* pada posisi nol.
5. Memasang spesimen uji pada *cross head grip* atas kemudian cekam spesimen.
6. Kemudian turunkan *cross head grip* sampai ujung bawah spesimen masuk ke dalam *grip* bawah.
7. Menekan manual *command* dan tekan *control mood* ke *force*.
8. Memilih *auto offset* untuk *force*, kemudian cekam *grip* bawah sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak mengalami perubahan.
9. Memasang *extensometer* pada spesimen dengan posisi *zero* pin kemudian tekan manual *offset* untuk *extensometer* dan *zero* pin dilepas dari *extensometer*.
10. Memilih program MTS *Test Suite* (MPE), pilih template untuk uji tarik statis.
11. Masukkan data spesimen meliputi Panjang, lebar dan tebal.
12. Masukkan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
13. Setelah semua data sudah di input kemudian klik *RUN*.

b. Pengujian Perambatan Retak Fatik

Dalam pengujian perambatan retak fatik dilakukan *precrack* terlebih dahulu dengan F_{max} sebesar 3.40 kN dan F_{min} 0.340 setelah itu baru dilakukan FCG *test* dengan F_{max} sebesar 3.57kN dan F_{min} sebesar 0.357 kN. Adapun prosedur pengujian perambatan retak fatik yang akan dilakukan yaitu:

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E 647.
2. Menghidupkan *Chiller* dengan menekan tombol merah terlebih dahulu kemudian tombol hijau pada *chiller* kemudian membuka katup salah satu pompa yang akan digunakan dan terakhir naikkan saklar.
3. Hidupkan HPU (*Hydraulic Power Unit*) dengan menekan tombol *on/off* kemudian pada panel kontroler HPU klik *main display-set up-main controler*.
4. Menghidupkan MTS *Landmark* 100 kN dan temperatur kontroler.
5. Menghidupkan lampu penerang pada MTS *Landmark* 100 kN.
6. Membuka program *Station Manager* kemudian klik *project-open-FCG-open* (parameter set di FCG COD) lalu memilih file *precrack* 2022 dan *configuration file* tanpa *Extensometer* yaitu *Axial Basic* lalu klik open.
7. Pada *station manager* klik *ceklis* pada *Exclusive Control* lalu pada *manual command ceklist* pada *Enable Manual Command*.
8. Pada *station manager* di *controls detector* ubah *Upper Action* pada *axial displacement* dari *interlock* ke *disable* lalu klik *reset* pada *interlock* 1 di *station manager*.
9. Lalu klik HPU *power low* dan tunggu hingga lampu kuning pada tombol berhenti berkedip, kemudian klik HPU *power high* dan tunggu beberapa detik. Lalu melakukan hal yang sama pada HSM, klik HSM *power low* dan tunggu beberapa

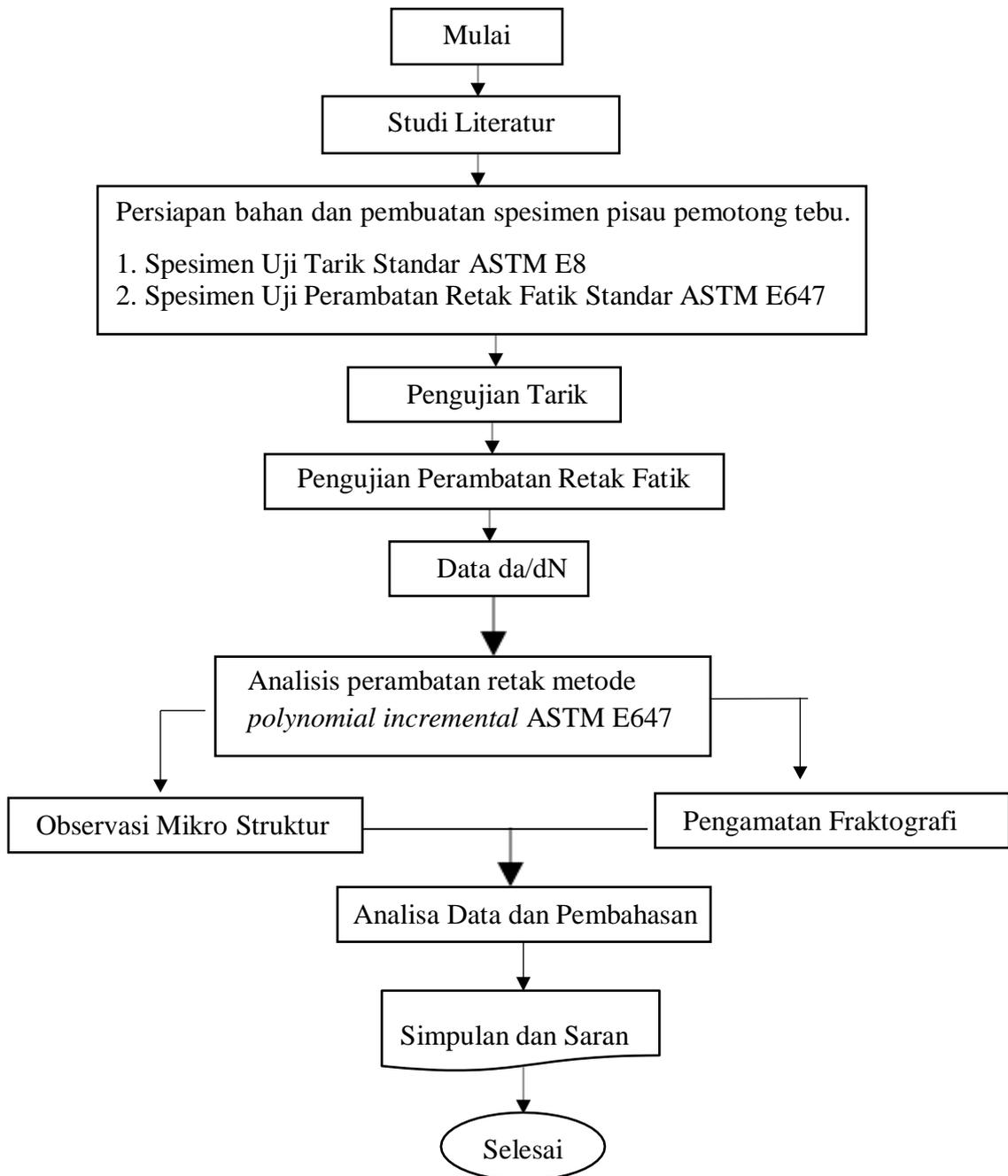
saat, lalu terakhir klik HSM *power high*.

10. Pada *manual command* setelah posisi *actuator* terdeteksi, lalu klik posisi *actuator* sedikit untuk membuka katup, setelah posisi *actuator* aman terhadap *cross head grip* atas aman, maka selanjutnya menaikkan *actuator* ke posisi nol (*zero*).
11. Pada *detector*, ubah *upper action* ada *axial displacement* dari *disable* ke *interlock*.
12. Membuka program *MTS Test Suite (MPE)*, memilih *template* untuk *fatigue crack growth testing*.
13. Memasangkan spesimen pada *cross head grip* atas dengan rapi kemudian spesimen dicekam.
14. Kemudian menurunkan *cross head* sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam *grip* bawah dengan kedalaman 45 mm atau sesuai dengan solatip yang digunakan untuk *grip* spesimen.
15. Meluruskan *grip* bawah sesuai dengan *grip* atas, lalu pada *manual command*, klik *control mode* dan ganti *displacement* ke *force* dan *grip* bagian bawah dicekam
16. Kemudian *reset* pada *interlock 1 station manager* dan *uncklist enable manual command* pada *manual command*.
17. Klik *new test run* pada *software MTS Test Suite*, dan mengatur *setup variables fatigue crack growth testing* yaitu dengan memasukkan data tebal spesimen, *compliment* koefisien C₀-C₅ sesuai standar ASTM E467 V₀, F_{max} dan F_{min}, total *cycles* 1000000, frekuensi 10 Hz, *cycle increament* , *compliment* koefisien C₀-C₅, dan beban uji fatik menggunakan kontrol beban yang sudah ditentukan dari nilai *yield strength* yang diperoleh dari hasil uji tarik.
18. Pada *precrack* test masukan nilai *crack lenght deck* 5 mm.
19. Kemudian klik OK dan *Run Test*.

20. Kemudian tunggu sampai FCG *crack length* nya mencapai nilai yang ditentukan yaitu 5 mm.
 21. Setelah test *precrack* dilakukan dan patahan sudah mencapai retak *precrack* yang dilakukan kemudian mulai FCG test.
 22. Klik *new test run* pada *software* MTS *Test Suite*, dan mengatur *setup variables fatigue crack growth testing* yaitu memasukan data tebal spesimen, compliment koefisien C₀-C₅ sesuai standar ASTM E467 V₀, F_{max} dan F_{min}, total *cycles* 1000000, frekuensi 10 Hz, *cycle increament* , *final crack length* dan beban uji fatik menggunakan control beban yang sudah ditentukan dari 30% nilai *ultimate strenght* yang diperoleh dari hasil uji tarik.
 23. . Kemudian klik OK dan *Run Test*.
- c. Analisa Mikrostruktur dan SEM Fraktografi
- Analisa mikrostruktur dan pengamatan fraktografi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur mikro awal material setelah dilakukan pengujian fatik. SEM Fraktografi untuk mengetahui jenis patahan yang terjadi pada spesimen uji.

3.6 Diagram Alur Penelitian

Adapun alur penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut



Gambar 3.10 Diagram Alur Penelitian

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Setelah dilakukan penelitian pada bahan *sugarcane harvester blades* (pisau pemotong tebu) maka penulis dapat memberikan simpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian tarik bahan pisau pemotong tebu mendapatkan tegangan luluh sebesar 1415.26 MPa, tegangan *ultimate* sebesar 1555.56 MPa dan nilai elongasi yang diperoleh sebesar 8.1%. Hasil ini menunjukkan bahwa bahan pisau pemotong tebu memiliki kekuatan tarik yang besar
2. Pengujian perambatan retak fatik pada arah pembebanan X-Y menghasilkan laju perambatan retak fatik yang lebih cepat sedikit dibandingkan dengan arah pembebanan Y-X. Hal ini dikarenakan laju perambatan retak fatik arah pembebanan X-Y mendapatkan nilai konstanta eksponensial (m) sebesar 2.462 lebih besar sedikit daripada arah pembebanan Y-X yaitu sebesar 2.287. Dimana semakin besar nilai konstanta eksponensial (m) maka semakin cepat perambatan retak yang terjadi.
3. Fasa yang dihasilkan dari pengamatan struktur mikro terdiri dari dua fasa, yaitu fasa ferit (berwarna terang) dan fasa martensit (berwarna gelap). Fasa martensit lebih mendominasi dibandingkan dengan fasa ferit, hal ini menunjukkan pisau pemotong tebu memiliki kekuatan mekanik yang kuat dan keras
4. Hasil pengamatan fraktografi dengan metode SEM pada zona *paris law* (II) pada perbesaran 3000x terlihat pola patahan *intergranular*, dan *secondary crack*. Perbesaran 5000x terdapat *clavage*, *secondary crack*, dan *voids*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian perambatan retak fatik yang sudah dilakukan, maka penulis memberikan saran untuk mendukung penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya diperlukan pengujian kekerasan pada sampel pisau pemotongan tebu agar dapat mengetahui secara lengkap informasi kekuatan mekanik pisau pemotong tebu
2. Perlunya dilakukan pengujian perambatan retak fatik pisau pemotong tebu dengan memvariasikan perlakuan panas agar dapat melihat perbandingan kekuatan tarik, laju perambatan retak fatik, dan struktur mikro yang dihasilkan

DAFTAR PUSTAKA

- Algarni, M. (2019). Mechanical properties and microstructure characterization of AISI “D2” and “O1” cold work tool steels. *Metals*, 9(11), 1169.
- ASTME8. (2000). *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*. ASTM International.
- ASTME647. (2004). *Metal Test Methods and Analytical Procedures, Annual Book of ASTM Standard* (Vol. 03.01). ASTM international.
- Callister, W. D. (2007). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*.
- Chen, Z., Yuan, Y., Qin, Z., Wang, W., & Li, H. (2024). The mechanism of crack propagation under dynamic loading stress at different rates. *Computational Particle Mechanics*, 1-12.
- Ghazani, M. S., & Eghbali, B. (2021). Strain hardening behavior, strain rate sensitivity and hot deformation maps of AISI 321 austenitic stainless steel. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(11), 1799-1810.
- Hariningsih, H., Lutiyatmi, L., & Daryanto, T. (2022). Effects of heat treatment on microstructure and hardness of D2 tools. *Applied Research and Smart Technology (ARSTech)*, 3(1), 29-37.

- Haris, B. (2016). Budiman, H. (2016). Analisis pengujian tarik (tensile test) pada baja st37 dengan alat bantu ukur load cell. *J-ENSITEC*, 3(1).
- Lin, X., & Smith, R. (1999). Finite element modelling of fatigue crack growth of surface cracked plates: Part III: Stress intensity factor and fatigue crack growth life. *Engineering Fracture Mechanics*, 63(5), 541-556.
- liuzhou Lian United Knives Co., L. (2024). *OEM Factory Sugar Cane Blade*. made-in-china. Retrieved July,19 from https://id.made-in-china.com/amp/co_luk-knife/product_OEM-Factory-Sugar-Cane-Blade_yuueysreug.html
- Ma, S., Karkee, M., Scharf, P. A., & Zhang, Q. (2014). Sugarcane harvester technology: a critical overview. *Applied engineering in agriculture*, 30(5), 727-739.
- Melinia, F. A. (2022). Penanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) di Areal Replanting Divisi II PT Gula Putih Mataram Sugar Group Companies Lampung.
- Mizhar, & Suherman. (2011). Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140. *Jurnal dinamis*, 2(8).
- Nanda, F., & Badaruddin, M. (2023). Perilaku Perambatan Retak Fatik Stainless Steel 304 yang Dilapisi Aluminium Celup Panas Secara Eksperimental dan Numerikal. *MECHANICAL*, 14(1), 175.
- Ogawa, Y., Nishida, H., Nakamura, M., Olden, V., Vinogradov, A., & Matsunaga, H. (2022). Dual roles of pearlite microstructure to interfere/facilitate gaseous hydrogen-assisted fatigue crack growth in plain carbon steels. *International Journal of Fatigue*, 154, 106561.

- Ortega, A., Maimí, P., González, E., & Ripoll, L. (2014). Compact tension specimen for orthotropic materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 63, 85-93.
- Permana, B. A., & Badaruddin, M. (2013). Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Carbon Rendah Untuk Cane Cutter Blade Pada PT Gunung Madu Plantation. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(3).
- Pratowo, B., & Apriansyah, N. (2016). Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah SC10 Dengan Tipe Rotary Bending. *J. Tek. Mesin Univ. Bandar Lampung*, 2(1), 49-58.
- Salindeho, R. D., Soukotta, J., & Poeng, R. (2013). Pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material. *JURNAL POROS TEKNIK MESIN UNSRAT*, 2(2).
- Takakuwa, O., Ogawa, Y., Okazaki, S., Nakamura, M., & Matsunaga, H. (2020). A mechanism behind hydrogen-assisted fatigue crack growth in ferrite-pearlite steel focusing on its behavior in gaseous environment at elevated temperature. *Corrosion Science*, 168, 108558.
- Thao, B. P. (2021). *Microstructural Factors Influencing Fatigue Crack Growth Mechanism In Low-Carbon And High-Carbon Steels* Thesis). Material Science, Nagaoka University of Technology, Japan].
- Xiong, Z., Kostryzhev, A., Stanford, N., & Pereloma, E. V. (2014). Microstructures and mechanical properties of DP and TRIP steels after laboratory simulated strip casting.