

**UJI PUNTIR PADA BAJA ST-41 DENGAN MENGGUNAKAN  
ALAT UJI *ROTARY***

**SKRIPSI**



oleh

**Khoirul Umam  
NIM H42160450**

**PROGRAM STUDI MESIN OTOMOTIF  
JURUSAN TEKNIK  
POLITEKNIK NEGERI JEMBER  
2020**

**UJI PUNTIR PADA BAJA ST-41 DENGAN MENGGUNAKAN  
ALAT UJI *ROTARY***

**SKRIPSI**



Diajukan sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Terapan Teknik  
(S.Tr.T) di Politeknik Negeri Jember Jurusan Teknik Program Studi Mesin  
Otomotif

oleh

**Khoirul Umam**  
**NIM H42160450**

**PROGRAM STUDI MESIN OTOMOTIF**  
**JURUSAN TEKNIK**  
**POLITEKNIK NEGERI JEMBER**  
**2020**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
POLITEKNIK NEGERI JEMBER  
JURUSAN TEKNIK**

---

---

**UJI PUNTIR PADA BAJA ST-41 DENGAN MENGGUNAKAN ALAT UJI  
ROTARY**

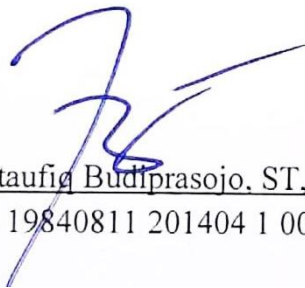
**Khoirul Umam (NIM H42160450)**  
Telah Diuji pada Tanggal 24 Juni 2020  
Dan Dinyatakan Memenuhi Syarat

Ketua Penguji,



Ir. Dwi Djoko Suranto, MT  
NIP. 19610623 198811 1 001

Sekretaris,



Azamataufiq Budiprasojo, ST, MT  
NIP. 19840811 201404 1 001

Anggota Penguji,



Dicky Adi Tyagita, ST, MT  
NIP. 19890622 201803 1 001

Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik



Mochammad Nuruddin, ST, M.Si  
NIP. 19761111 200112 1 001

## **SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Khoirul Umam

NIM : H42160450

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Skripsi saya yang berjudul “Uji Puntir pada Baja ST-41 dengan Menggunakan Alat Uji *Rotary*” merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir Laporan Skripsi ini.

Jember, 24 Juni 2020

Khoirul Umam  
NIM H42160450



**PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN  
AKADEMIS**

Yang bertandatangan di bawah ini, saya:

Nama : Khoirul Umam  
NIM : H42160450  
Program studi : Mesin Otomotif  
Jurusan : Teknik

Demi pembangunan Ilmu Pengetahuan, saya menyetujui untuk memebrikan kepada UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas Karya Ilmiah **berupa Laporan skripsi saya yang berjudul:**

**UJI PUNTIR PADA BAJA ST-41 DENGAN MENGGUNAKAN ALAT UJI  
*ROTARY***

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember berhak menyimpan, mengalih media atau format, mengelola dalam bentuk Pangkalan Data (Database), mendistribusikan karya dan menampilkan atau mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Politeknik Negeri jember, Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas Pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Jember  
Pada Tanggal : 24 Juni 2020  
Yang menyatakan

Nama : Khoirul Umam  
NIM : H42160450

## **MOTTO**

“Jika kamu ingin hidup bahagia, terikatlah pada tujuan, bukan orang atau benda”

(Albert Einstein)

“Kesempatan bukanlah hal yang kebetulan. Kamu harus menciptakannya”

(Chris Grosser)

## PERSEMBAHAN

Segala syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga proses penulisan skripsi dengan judul “Uji Puntir pada Baja ST-41 dengan Menggunakan Alat Uji *Rotary*” sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik di Politeknik Negeri Jember dapat terselesaikan sebagaimana mestinya.

Terselesaikannya penulisan skripsi ini tidak lepas dari banyaknya dukungan, bantuan, serta masukan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya ingin sampaikan dan saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kelancaran, dan kemudahan yang tiada batas, atas izin-Nya skripsi ini dapat selesai pada waktunya.
2. Kepada Bapak dan Ibu saya yang telah memberikan doa, dukungan serta motivasi tiada henti kepada saya sampai saat ini.
3. Yang terhormat Azamataufiq Budiprasojo, ST, MT, selaku dosen pembimbing saya. Terimakasih telah membimbing saya dengan sabar dan memberikan pengarahan dalam penyusunan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen D-IV Mesin Otomotif beserta Teknisi, terimakasih atas semua bimbingan dan bantuannya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan maksimal.
5. Almamater tercinta Politeknik Negeri Jember.
6. Sahabat dan Teman-teman Jurusan Teknik, khususnya Mesin Otomotif angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan dan motivasi.

**Uji Puntir pada Baja ST-41 dengan Menggunakan Alat Uji Rotary (*Twist Test on ST-41 Steel by using a Rotary Test Tool*). Pembimbing (Azamataufiq Budiprasojo, ST, MT)**

**Khoirul Umam**  
**Study Program of Automotive Engineering**  
**Majoring of Engineering**  
Program Studi Mesin Otomotif  
Jurusan Teknik

**ABSTRAK**

Kerusakan pada mesin atau struktur dimulai dari lokasi yang mempunyai konsentrasi tegangan. Munculnya konsentrasi tegangan dapat disebabkan lubang, kekasaran permukaan, cacat material, porositas, inklusi, pemanasan lebih lokal pada saat pemesinan, dekarburasi dan sebagainya. Pengujian *rotary* penting guna memprediksi kekuatan lelah puntir dari suatu poros, untuk meminimalisir terjadinya kegagalan material pada poros. Proses pengujian adalah memberikan beban puntir pada poros sampai poros terputus. Tujuan dari penelitian adalah menganalisis kekuatan puntir baja ST-41 dengan menggunakan alat uji *rotary*. Jenis penelitian ini menggunakan penelitian eksperimental. Objek penelitian ini adalah kekuatan puntir baja ST-41. Hasil dari penelitian yang didapatkan oleh peneliti terkait kekuatan puntir baja ST-41 yaitu Kegagalan poros dimulai dari awal retakan dan merembet secara vertikal sampai membuat retakan besar, retakan ini disebabkan oleh momen puntir yang terjadi. Retakan akan terus merembet sampai putus sempurna, patahan cenderung mengarah pada bagian yang berdiameter kecil. Spesimen yang dibuat dengan bertakik akan lebih cepat mengalami perpatahan. Kekuatan puntir material ditunjukkan dengan nilai tegangan gesernya. Hasil perhitungan data didapatkan nilai kekuatan puntir dari spesimen bertakik menggunakan alat uji standar adalah sebesar 14,66 Mpa dan menggunakan alat uji hasil perancangan adalah sebesar 15,92 Mpa, sedangkan untuk spesimen tanpa takik dengan menggunakan alat uji standar adalah sebesar 33,73 Mpa dan menggunakan alat uji hasil perancangan adalah sebesar 35,42 Mpa. Sudut puntir maksimum rata-rata pada spesimen tanpa takik sebesar 110° pada putaran ketiga pada alat uji standar dan 360° pada putaran ketiga pada alat uji rancangan, maka dapat disimpulkan bahwa material mempunyai sifat ulet (*ductile*).

**Kata kunci :** tegangan geser, kekuatan puntir, baja ST-41



**Uji Puntir pada Baja ST-41 dengan Menggunakan Alat Uji Rotary** (*Twist Test on ST-41 Steel by using a Rotary Test Tool*). Pembimbing (Azamataufiq Budiprasojo, ST, MT)

**Khoirul Umam**  
**Study Program of Automotive Engineering**  
**Majoring of Engineering**  
Program Studi Mesin Otomotif  
Jurusan Teknik

**ABSTRACT**

*Damage to the machine or structure starts from a location that has a stress concentration. The emergence of stress concentrations can be caused by holes, surface roughness, material defects, porosity, inclusions, more local heating at machining, decarburation and so on. Rotary testing is important in order to predict the strength of twisting fatigue of a shaft, to minimize the occurrence of material failure on the shaft. The testing process is giving the twisting load on the shaft until the shaft is cut off. The purpose of this study is to analyze the strength of the ST-41 steel twisting using a rotary test tool. This type of research uses experimental research. The object of this study is the strength of steel twisting ST-41. The results of the study obtained by researchers related to the strength of the ST-41 steel twisting are shaft failure starting from the beginning of the crack and creeping vertically to make large cracks, these cracks are caused by the moment of twisting that occurs. The crack will continue to spread until it breaks completely, the fault tends to lead to a small diameter. Specimens made with notches will fracture more quickly. The torsional strength of a material is indicated by its shear stress value. The results of the calculation of the data obtained value of twisting strength of notched specimens using standard test equipment amounted to 14.66 MPa and using the design test results was 15.92 MPa, whereas for specimens without notches using standard test equipment was 33.73 MPa and using the design test results is 35.42 MPa. The maximum maximum twist angle of the specimen without a notch is  $110^\circ$  in the third round in the standard test equipment and  $360^\circ$  in the third round in the design test, it can be concluded that the material has ductile properties.*

**Keyword:** *shear stress, twisting strength, ST-41 steel*

## RINGKASAN

**Uji Puntir pada Baja ST-41 dengan Menggunakan Alat Uji *Rotary***, Khoirul Umam, Nim H42160450, Tahun 2020, 86 hlm., Jurusan Teknik Program Studi D-IV Mesin Otomotif, Politeknik Negeri Jember, Azamataufiq Budiprasojo, ST, MT

Kerusakan pada mesin atau struktur dimulai dari lokasi yang mempunyai konsentrasi tegangan. Munculnya konsentrasi tegangan dapat disebabkan lubang, kekasaran permukaan, cacat material, porositas, inklusi, pemanasan lebih lokal pada saat pemesinan, dekarburasi dan sebagainya. Pengujian *rotary* penting guna memprediksi kekuatan lelah puntir dari suatu poros, untuk meminimalisir terjadinya kegagalan material pada poros. Proses pengujian adalah memberikan beban puntir pada poros sampai poros terputus.

Tujuan dari penelitian adalah menganalisis kekuatan puntir baja ST-41 dengan menggunakan alat uji *rotary*. Jenis penelitian ini menggunakan penelitian eksperimental. Objek penelitian ini adalah kekuatan puntir baja ST-41.

Hasil dari penelitian yang didapatkan oleh peneliti terkait kekuatan puntir baja ST-41 yaitu Kegagalan poros dimulai dari awal retakan dan merembet secara vertikal sampai membuat retakan besar, retakan ini disebabkan oleh momen puntir yang terjadi. Retakan akan terus merembet sampai putus sempurna, patahan cenderung mengarah pada bagian yang berdiameter kecil. Spesimen yang dibuat dengan bertakik akan lebih cepat mengalami perpatahan. Kekuatan puntir material ditunjukkan dengan nilai tegangan gesernya. Nilai kekuatan puntir dari spesimen bertakik menggunakan alat uji standar adalah sebesar 14,66 Mpa dan menggunakan alat uji hasil perancangan adalah sebesar 15,92 Mpa, sedangkan untuk spesimen tanpa takik dengan alat uji standar adalah sebesar 33,73 Mpa dan dengan alat uji hasil perancangan adalah sebesar 35,42 Mpa. Sudut puntir maksimum rata-rata pada spesimen tanpa takik sebesar 110° pada putaran ketiga pada alat uji standar dan 360° pada putaran ketiga pada alat uji rancangan, maka dapat disimpulkan bahwa material mempunyai sifat ulet (*ductile*).

## **PRAKATA**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat rahmad dan karunia-Nya sehingga penulis karya tulis ilmiah berjudul “Uji Puntir pada Baja ST-41 dengan Menggunakan Alat Uji *Rotary*” dapat diselesaikan dengan baik.

Tulisan ini adalah laporan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai bulan September, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) di Program Studi Mesin Otomotif Jurusan Teknik.

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya sebagai berikut.

1. Saiful Anwar, S.TP, MP selaku Direktur Politeknik Negeri Jember.
2. Mochammad Nuruddin, ST, M.Si selaku ketua jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember.
3. Aditya Wahyu Pratama, ST, MT selaku ketua program studi Mesin Otomotif Politeknik Negeri Jember.
4. Azamataufiq Budiprasojo, ST, MT selaku dosen pembimbing.
5. Bapak dan ibu dosen serta para teknisi Politeknik Negeri Jember
6. Kedua orang tua yang telah mendoakan sepanjang hari.

Laporan Skripsi ini masih kurang sempurna, mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Jember, 24 April 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN MAHASISWA.....</b>	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI .....</b>	<b>v</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>x</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Tujuan.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Manfaat.....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Uji Puntir .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Faktor Penyebab Kelelahan.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Faktor Kelembaban Lingkungan .....	5
2.2.2 Faktor Tipe Pembebanan.....	5
2.2.3 Faktor Putaran .....	6

2.2.4 Faktor Temperatur (Suhu) .....	6
2.2.5 Faktor Tegangan Sisa .....	6
2.2.6 Faktor Komposisi Kimia Material.....	7
<b>2.3 Klasifikasi Baja Karbon .....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Unsur Paduan .....	7
2.3.2 Klasifikasi.....	8
<b>2.4 Baja ST-41 .....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 ASTM (<i>American Society of Testing and Material</i>) .....</b>	<b>10</b>
2.5.1 Spesimen .....	11
2.5.2 Pemilihan dan Persiapan Spesimen.....	11
2.5.3 Metode Pengujian.....	12
2.5.4 Standar Alat Uji.....	13
<b>2.6 Sifat Mekanik .....</b>	<b>14</b>
<b>2.7 Penelitian Terdahulu .....</b>	<b>16</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Waktu dan Tempat .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Alat.....	20
3.2.2 Bahan .....	20
<b>3.3 Skema Alat Uji .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Metode Penelitian.....</b>	<b>23</b>
<b>3.5 Tahapan Penelitian .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6 Parameter Penelitian .....</b>	<b>25</b>
3.6.1 Variabel Bebas .....	25
3.6.2 Variabel Terikat .....	25
<b>3.7 Prosedur Penelitian.....</b>	<b>25</b>
<b>3.8 Skema Pengujian.....</b>	<b>27</b>

<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Pembuatan Spesimen .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Patahan.....</b>	<b>29</b>
4.2.1 Proses Patahan.....	29
4.2.2 Hasil Patahan.....	31
<b>4.3 Pengujian Kekuatan Puntir.....</b>	<b>32</b>
4.3.1 Hasil Pengujian Spesimen Bertakik .....	33
4.3.2 Hasil Pengujian Spesimen Tanpa Takik.....	35
<b>4.4 Perhitungan Tegangan Geser.....</b>	<b>41</b>
4.3.1 Tegangan Geser Spesimen Bertakik .....	41
4.3.2 Tegangan Geser Spesimen Tanpa Takik.....	42
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>44</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>45</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>52</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Spesimen uji rotary standar ASTM E8 .....	10
2.2 Bentuk Patahan .....	16
2.3 Tahap patahan cup dan cone .....	16
2.4 Penampakan .....	17
2.5 Hasil SEM .....	17
3.1 Komponen alat uji .....	23
3.2 Alat Uji <i>Rotary</i> .....	24
3.3 Motor Listrik .....	25
3.4 Diagram Alur Penelitian .....	26
3.5 Skema Uji Puntir .....	29
4.1 Spesimen Uji Rotary Standar ASTM E8 .....	30
4.2 Proses Pembuatan Spesimen Tanpa Takik .....	30
4.3 Proses Pembuatan Spesimen dengan Takik .....	31
4.4 Proses Pengaliran Air pada Pembubutan .....	31
4.5 Awal Retakan .....	32
4.6 Penampang Patahan Spesimen .....	32
4.7 Patah Sempurna .....	33
4.8 Penampang Patahan Spesimen Bertakik .....	33
4.9 Patahan Spesimen Bertakik .....	34
4. 10 Penampang Patahan Spesimen Tanpa Takik .....	34
4.11 Patahan Spesimen Tanpa Takik .....	34
4.12 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Bertakik .....	37
4.13 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Tanpa Takik .....	43

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Kimia Baja ST-41 .....	9
2.2 Dimensi spesimen uji puntir standar ASTM E8 .....	10
2.3 Penelitian Terdahulu .....	20
4.1 Dimensi Spesimen Uji Puntir Standar ASTM E8 .....	30
4.2 Hasil Pengujian Alat Uji Kekuatan Puntir Bertakik .....	36
4.3 Hasil Pengujian Alat Uji Kekuatan Puntir Tanpa Takik .....	38
4.4 Hasil Tegangan Geser Spesimen Bertakik .....	45
4.5 Hasil Tegangan Geser Spesimen Tanpa Takik .....	46
4.6 Komparasi Hasil Perhitungan Kekuatan Puntir .....	46
4.7 Kelebihan dan Kekurangan Alat Uji .....	47



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Surat Penelitian.....	53
2. Uraian Jadwal Kegiatan.....	54
3. Dokumentasi Penelitian.....	55
4. Proses Patahan .....	58
5. Hasil Patahan .....	61
6. Alat Uji Puntir.....	67
7. Sertifikat Uji Plagiasi.....	69

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kegagalan lelah adalah kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik setelah periode pemakaian cukup lama. *Fatigue* menduduki 90% penyebab utama kegagalan pemakaian. Tahapan kelelahan material terdiri atas *crack initiation* yang bermula pada daerah dengan konsentrasi tegangan yang tinggi, *crack growth* dan *final fracture*. Kerusakan pada mesin atau struktur dimulai dari lokasi yang mempunyai konsentrasi tegangan. Munculnya konsentrasi tegangan dapat disebabkan lubang, kekasaran permukaan, cacat material, porositas, inklusi, pemanasan lebih lokal pada saat pemesinan, dekarburasi dan sebagainya (Hutabarat, 2017).

Sebagian besar kerusakan yang terjadi pada konstruksi permesinan disebabkan oleh kegagalan lelah. Kelelahan adalah salah satu jenis kegagalan (patah) pada komponen akibat pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah. Diperkirakan 50% hingga 90% kelelahan yang terjadi disebabkan oleh faktor mekanis (Wahyudi, 2014).

Menurut Sugiarto (2013) logam merupakan material yang banyak digunakan dalam kegiatan sektor perindustrian, logam telah diketahui memiliki sifat mekanik tertentu yang mengalami pembebanan dengan tegangan dinamis dan berulang dalam jangka waktu yang lama. Baja ST-41 adalah baja yang memiliki kadar karbon 0,16%, karena kadar karbonnya kurang dari 0,30% maka baja ini termasuk golongan baja karbon rendah dan mempunyai regangan sebesar 36-24%. Adanya pembebanan dengan tegangan dinamis dan berulang dalam jangka waktu yang lama pada baja maka perlu dilakukan pengujian untuk memprediksi kegagalan material. Salah satu tipe pengujian untuk memprediksi kegagalan material adalah pengujian kekuatan puntir dengan menggunakan mesin uji kekuatan puntir tipe *rotary*.

Baja ST-41 yang dibuat pada industri akan melalui pengujian sebelum diedarkan dipasaran. Pengujian yang dilakukan oleh industri mengacu pada standar pabrik itu sendiri dan hanya mengambil beberapa sampel dari keseluruhan

produksi baja yang akan diedarkan dan tidak memungkinkan masing-masing baja memiliki kekuatan puntir yang sama, sehingga pengujian puntir yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai puntir yang sebenarnya dari baja tersebut. Penakikan yang diberikan pada baja bertujuan untuk memberikan simulasi kecacatan untuk mengetahui keadaan baja ST-41 ketika mengalami kecacatan di lapangan. Pengujian *rotary* penting guna memprediksi kekuatan lelah puntir dari suatu poros, untuk meminimalisir terjadinya kegagalan material pada poros. Proses pengujian adalah memberikan beban puntir pada poros sampai poros terputus. Baja ST-41

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Uji Puntir pada Baja ST-41 dengan Menggunakan Alat Uji *Rotary*”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya, maka rumusan permasalahan pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

- a. Bagaimana proses terjadinya kegagalan material baja ST-41 ?
- b. Bagaimana hasil pengujian baja ST-41 pada uji kekuatan puntir dengan alat uji *rotary* ?
- c. Bagaimana komparasi data kekuatan puntir dengan menggunakan alat uji *rotary* standar dan alat uji *rotary* perancangan ?

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis proses terjadinya kegagalan material baja ST-41.
- b. Menganalisis data hasil pengujian baja ST-41 pada alat uji *rotary*.
- c. Menganalisis komparasi data kekuatan puntir dengan menggunakan alat uji *rotary* standar dan alat uji *rotary* perancangan.

#### **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Dapat mengetahui kekuatan material baja ST-41 pada saat menerima beban dinamik.
- b. Dapat menemukan batas lelah dari material baja ST-41.
- c. Dapat digunakan pada penelitian sejenis.
- d. Menambah khasanah ilmu pengetahuan.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E-143.
- b. Pengaruh lingkungan (kelembapan, perubahan temperatur) diabaikan.
- c. Kecepatan putaran spesimen dianggap konstan pada setiap pengamatan.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Uji Puntir

Uji Puntir merupakan salah satu jenis pengujian material dengan sifat merusak (*destructive test*). Tujuannya adalah untuk mengetahui sifat material berupa kekuatan puntir setelah menerima tegangan puntir. Pengkondisian yang ditentukan terhadap benda uji/spesimen adalah dengan membuat dua jenis kondisi material (Jatmiko, 2012).

Uji puntir pada suatu spesimen dilakukan untuk menentukan sifat-sifat seperti batas luluh geser dari suatu material. Spesimen yang digunakan pada pengujian puntir adalah batang dengan penampang lingkaran karena bentuk penampang ini paling sederhana sehingga mudah diukur. Spesimen tersebut hanya dikenai beban puntiran pada salah satu ujungnya karena dua pembebanan akan memberikan ketidak konstanan sudut puntir yang diperoleh dari pengukuran (Tambunan, 2019). Momen lentur yang mengakibatkan terbentuknya beban lentur di permukaan material dan nilainya dihitung menggunakan rumus persamaan sebagai berikut (Jatmiko, 2012).

Momen puntir yang mengakibatkan terbentuknya beban puntir di permukaan material dan nilainya dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Jatmiko, 2012).

$$\tau_g = \frac{16.T_{mak}}{\pi.d^3} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

- $\tau_g$  = Tegangan geser (MPa)
- $T_{mak}$  = Torsi maksimal (Nm)
- 16 = Konstanta
- $\pi$  = 3.14
- $d$  = Diameter spesimen

## **2.2 Faktor Penyebab Kelelahan**

Faktor-faktor yang dapat mengubah kekuatan lelah adalah tipe pembebanan, putaran, kelembaban udara (korosi), konsentrasi tegangan, temperatur, kelelahan material, komposisi kimia material, tegangan sisa, dan tegangan kombinasi. Faktor-faktor yang cenderung dapat mengubah kekuatan lelah adalah kelembaban lingkungan, tipe pembebanan, putaran, temperatur, komposisi kimia material dan tegangan sisa (Nugroho, 2018).

### **2.2.1 Faktor Kelembaban Lingkungan (Korosi)**

Faktor ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan lelah. Kekuatan lelah sangat menurun pada lingkungan kelembaban tinggi yaitu pada kelembaban relatif 70% sampai 85%. Lingkungan kelembaban tinggi akan mempercepat kegagalan, karena pada saat itu terbentuk pit korosi dan keretakan pada permukaan material (Nugroho, 2018).

### **2.2.2 Faktor Tipe Pembebanan**

Faktor ini memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan lelah, baja S45C yang menerima tipe pembebanan lentur putar serta pembebanan aksial memiliki kekuatan lelah yang berbeda, baja S45C dengan pembebanan aksial memiliki kekuatan lelah yang lebih rendah dibandingkan dengan baja dengan pembebanan lentur putar (Nugroho, 2018).

### **2.2.3 Faktor Putaran**

Putaran antara 750 rpm sampai 1500 rpm mempunyai kekuatan lelah yang hamper sama tetapi apabila putaran 50 rpm menurunkan kekuatan lelah jauh lebih besar dibandingkan putaran 750 rpm dan 1500 rpm, sehingga putaran yang berada diantara 750 rpm sampai 1500 rpm tidak berpengaruh terhadap kekuatan lelah secara signifikan (Nugroho, 2018).

### **2.2.4 Faktor Temperatur (Suhu)**

Suhu sangat berpengaruh terhadap kekuatan lelah, karena suhu dapat menaikkan konduktivitas elektrolit lingkungan yang dapat mempercepat oksidasi.

Pengujian pada suhu 40°C retakan pada material membujur dibandingkan pengujian pada suhu 25°C dengan retakan yang halus, sebab suhu yang tinggi mengakibatkan molekul air yang terbentuk mengecil di permukaan baja yang membuat lebih cepat terjadinya oksidasi dan meningkatkan jumlah pit korosi, hal tersebut menyebabkan pit korosi cepat berkumpul membentuk retakan yang membujur. Dieter (1992) menyatakan umumnya kekuatan leleh baja turun seiring meningkatnya suhu yang melebihi suhu kamar kecuali baja lunak dan kekuatan leleh menjadi lebih besar apabila ada penurunan suhu.

#### 2.2.5 Faktor Tegangan Sisa

Tegangan sisa yang kemungkinan muncul saat pembuatan material yang diturunkan dengan cara pengurangan pahat sehalus mungkin pada material sehingga tidak meningkatkan suhu yang dapat mengakibatkan timbulnya tegangan sisa maupun tegangan lentur terhadap material (Nugroho, 2018).

#### 2.2.6 Faktor Komposisi Kimia Material

Faktor ini diharapkan sama untuk semua material uji dengan pemilihan bahan pembuatan dalam satu kali proses produksi, sehingga akan tercipta standar untuk seluruh material uji (Nugroho, 2018).

### 2.3 Klasifikasi Baja Karbon

Bahan logam pada jenis besi merupakan material yang paling sering digunakan dalam membuat paduan logam lain untuk mendapatkan sifat bahan yang diinginkan. Baja karbon terdiri dari besi dan karbon, karbon merupakan unsur penguat besi yang paling efektif dan murah. Umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya (Murtiono, 2012).

#### 2.3.1 Unsur Paduan

##### a. Carbon (C)

Karbon pada baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan tetapi jika berlebihan akan menurunkan ketangguhan (*toughness*).

b. Mangan (Mn)

Semua baja mengandung mangan karena sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan lebih kurang 0,6% masih belum dapat sebagai paduan dan tidak mempengaruhi sifat baja, dengan kata lain mangan tidak memberikan pengaruh yang besar pada struktur baja dalam jumlah rendah. Dengan bertambahnya kandungan mangan maka suhu kritis menurun secara seimbang, mangan membuat butiran lebih halus, penambahan unsur mangan dalam baja dapat meningkatkan kuat tarik tanpa mengurangi regang. Sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan kenyal. Selain itu mangan juga dapat mencegah terjadinya *hot shortness* (kegetasan pada suhu tinggi) terutama pada saat pengerolan panas.

c. Phospor (P)

Unsur ini membuat baja mengalami retak dingin (*cold shortness*) atau getas pada suhu rendah, sehingga tidak baik untuk baja yang diberi beban benturan pada suhu rendah. Tetapi efek baiknya adalah dapat menaikkan fluiditas yang membuat baja mudah dirol panas. Kadar phospor dalam baja biasanya kurang dari 0,05%.

d. Sulfur (S)

Sulfur dapat menjadikan baja getas pada suhu tinggi, karena itu dapat merugikan baja yang dipakai pada suhu tinggi, disamping menyulitkan pengerjaan seperti dalam pengerolan panas atau proses lainnya. Kadar sulfur harus dibuat serendah-rendahnya yaitu lebih rendah dari 0,05%.

e. Silikon (Si)

Silikon sampai kadar 3,2 % bersifat menurunkan kekerasan besi. Kadar silikon menentukan beberapa bagian dari karbon yang terkait dengan besi dan beberapa bagian terbentuk grifit (kadar karbon bebas) setelah mencapai keadaan seimbang. Kelebihan silikon akan membentuk ikatan yang keras dengan besi, sehingga dapat dikatakan silikon diatas 3,2% akan meningkatkan kekerasan. Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering



digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin dan lainnya.

### 2.3.2 Klasifikasi Berdasarkan Jumlah Komposisi Kimia Karbon

#### a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan karbon  $< 0,3$  memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik. Baja karbon rendah biasanya digunakan untuk pembuatan jembatan, bangunan gedung, kendaraan bermotor dan kapal laut. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah, penggunaan baja karbon rendah :

1. Sebagai plat pada kendaraan.
2. Profil, batang untuk keperluan tempa.
3. Pekerjaan mesin dan konstruksi bangunan.

#### b. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja ini mengandung karbon antara 0,30% sampai dengan 0,60%. Baja karbon ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Besarnya karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang dalam perdagangan biasanya digunakan sebagai alat-alat perkakas, baut, poros, engkol, roda gigi, ragum, pegas, dan lain-lain

#### c. Baja Karbon Tinggi

Baja yang mengandung karbon antara 0,70% sampai dengan 1,5%. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat

dilakukan proses pengerasan permukaan. Baja karbon ini banyak digunakan untuk keperluan pembuatan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam penggunaannya akan menerima dan mengalami panas, misalnya landasan, palu, gergaji, pahat, kikir, mata bor, bantalan peluru dan sebagainya.

#### 2.4 Baja ST-41

Menurut Mustofa (2018) baja ST-41 adalah baja yang memiliki kadar karbon 0,16 %, karena kadar karbonnya kurang dari 0,30 % maka baja ini termasuk golongan baja karbon rendah dan mempunyai regangan sebesar 36-24 % . Makna dari penamaan ST-41 sendiri adalah dari ST memiliki arti baja (*Stahl*), angka 41 dalam baja ini menunjukkan bahwa minimum ketangguhan putus-tarik adalah 41 kg/mm<sup>2</sup>. Ketangguhan tarik juga dibatasi keatas yaitu umumnya  $S-41 \leq 50$  kg/mm<sup>2</sup>. Baja ST-41 termasuk baja karbon rendah. Baja ST-41 memiliki sifat *tensile streng* yang kadang kala butuh untuk dinaikan kekuatannya, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemanasan dan pendinginan dengan bertahap atau cepat sesuai dengan kebutuhan. Perubahan sifat fisik baja ST-41 akan tergantung dengan cara pendinginan dan pemanasan yang dilakukan termasuk jenis media pendingin yang dilakukan (Setyawan, 2018).

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja ST-41

Unsur	% Komposisi Kimia
Besi (Fe)	98,985
Karbon (C)	0,10
Silikon (Si)	0,25
Sulfur (S)	0,035
Phospor (P)	0,03
Mangan (Mn)	0,6

Sumber : Gunawan, 2017

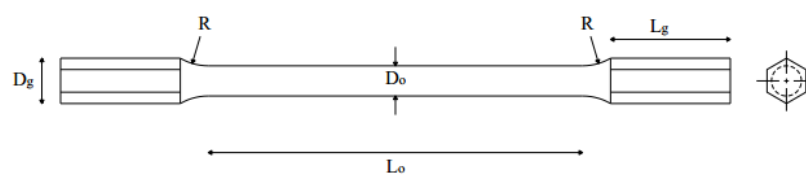
## 2.5 ASTM (*American Society of Testing and Material*)

Metode pengujian ini mencakup penentuan modulus geser bahan struktural. Metode pengujian ini terbatas pada bahan untuk menekankan, sedangkan retakan diabaikan. dibandingkan dengan uji tarik yang data dapat diketahui setelah pengujian. Sifat elastis seperti modulus geser, modulus *young*, dan rasio *poisson* tidak ditentukan secara rutin dan umumnya tidak ditentukan dalam spesifikasi bahan. Tegangan puntir merupakan tegangan geser dalam suatu benda, dalam alat uji normal ke sumbu atau rotasi, yang dihasilkan dari aplikasi torsi.

### 2.5.1 Spesimen

#### ASTM E8

( *Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitudo Axial Fatigue Test of Metallic Material* )



Gambar 2.1 Spesimen uji rotary standar ASTM E8 (Jatmiko, 2012)

Tabel 2.2 Dimensi spesimen uji puntir standar ASTM E8

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)				
	Do	Lo	R	Dg	Lg
ASTM E8	8	100	15	12	32

Sumber : Jatmiko (2012)

#### Keterangan :

Spesimen uji puntir dibuat dalam dua kondisi, meliputi kondisi normal dan kondisi bertakik. Gambar diatas menunjukkan spesimen dalam kondisi normal, sedangkan dalam kondisi bertakik (asumsi cacat material) akan ditambahkan takik jenis U ditengah-tengah panjang ukur ( $L_o$ ) dengan kedalaman 1 mm ( $L_o = 6$  mm) dan jari-jari kelengkungan takik ( $R_t$ ) 2 mm (Jatmiko, 2012).

### 2.5.2 Pemilihan dan Persiapan Spesimen

- a. Spesimen harus dipilih dari bentuk fisik.

Ketidaktepatan sedikit di dekat permukaan, seperti celah yang akan memiliki efek yang dapat diabaikan dalam menentukan modulus *Young*, dapat menyebabkan kesalahan yang cukup besar dalam modulus geser. Dalam kasus perawatan spesimen harus dilakukan untuk mencegah perubahan sifat-sifat bahan di permukaan spesimen.

1. Spesimen dalam bentuk silinder padat seharusnya lurus dan berdiameter seragam untuk panjang yang sama dengan pengukur panjang plus dua hingga empat diameter.
2. Dalam hal tabung, spesimen harus lurus dan dengan diameter dan ketebalan dinding yang seragam untuk panjang yang sama hingga panjang pengukur ditambah setidaknya empat kali diameter luar.
3. Panjang spesimen harus setidaknya empat kali diameter. Panjang spesimen harus memadai untuk garis panjang antara pegangan sama dengan panjang pengukur ditambah dua hingga empat diameter, kecuali ditentukan lain dalam spesifikasi produk. Namun, rasio panjang bebas terhadap diameter tidak boleh menjadi begitu besar sehingga memutar heliks sumbu spesimen terjadi sebelum penentuan selesai.

### 2.5.3 Metode Pengujian

Pengujian kelelahan dilakukan pada sistem. Spesimen kelelahan dipotong dari panel paralel ke arah bergulir spesimen perhatikan perubahan suhu, pastikan saat pemotongan menggunakan media pendingin. Sebelum melakukan pengujian kelelahan, mesin *uniaksial* diverifikasi untuk kekuatan, amplitudo, dan penyetaraan spesimen sesuai dengan E8.

- a. Perhatikan untuk memastikan alignment aksial dari contoh agar tidak terjadi penyimpangan nilai yang besar.
- b. Buat pengukuran simultan peningkatan torsi dan sudut putaran dan merekam data.

- c. Pertahankan kecepatan pengujian tinggi cukup untuk membuat retakan diabaikan.
- d. Catat suhu. Hindari perubahan dalam suhu selama tes.
- e. Spesimen uji dimuat baik secara bertahap dengan menerapkan torsi eksternal sehingga menyebabkan *twist* seragam dalam panjang pengukur.
- f. Perubahan torsi dan perubahan terkait sudut *twist* ditentukan baik secara bertahap atau terus menerus kemiringan yang sesuai kemudian dihitung dari geser kurva tegangan regangan, yang mungkin diturunkan dalam kondisi baik meningkatkan atau menurunkan torsi (meningkat dari torsi ke torsi maksimum atau menurun dari maksimum torsi ke *pretorque*).
- g. Perpindahan pointer pada satu lengan relatif terhadap skala di sisi lain. Bacaan harus diambil untuk kedua set lengan dan dirata-rata untuk menghilangkan kesalahan karena tekukan spesimen

Spesimen kemudian ditempatkan komputer kerangka uji. Tes puntir dilakukan sesuai dengan prosedur standar ASTM E-143. Semua tes puntir dilakukan pada pembebanan amplitudo konstan dengan berbagai pembebanan frekuensi untuk meminimalkan kemungkinan pembangkitan panas pada material komposit. Sistem dinilai gagal dalam kelelahan ketika sepenuhnya material delaminasi terjadi. Jumlah siklus, beban maksimum dan minimum dan perpindahan dicatat untuk siklus dalam peningkatan logaritmik sampai tes dihentikan. Setelah spesimen putus spesimen akan dilepas dari pegangannya (Reyes and Kang, 2007).

#### 2.5.4 Standart alat uji

##### a. Mesin Uji

Mesin uji torsi, yaitu untuk digunakan untuk menerapkan torsi yang diperlukan pada spesimen, harus dikalibrasi untuk kisaran torsi yang digunakan dalam penentuan. Koreksi dapat diterapkan untuk ditunjukkan kesalahan sistematis. Torsi harus dipilih dalam modulus geser, karena kesalahan dalam torsi dapat mempengaruhi baik dalam hasil atau akurasi yang diperlukan.

b. Genggaman

Ujung spesimen harus digenggam tegas antara rahang mesin uji yang telah dirancang untuk menghasilkan keadaan *twist* yang seragam dalam pengukur panjangnya. Dalam kasus tabung, pas steker kaku dapat dimasukkan ke ujung memungkinkan mengencangkan pegangan tanpa menghancurkan spesimen. pegangan harus sedemikian rupa sehingga perataan aksial dapat diperoleh dan dipertahankan untuk mencegah penerapan lentur momen. Satu pegangan harus bebas bergerak secara aksial untuk mencegahnya penerapan gaya aksial.

c. *Twist Gages*

Sudut putaran dapat diukur dengan dua pasang lengan yang ringan namun kaku, masing-masing pasangan diikat ke cincin yang terpasang pada tiga titik pada bagian di ujung panjang pengukur dan setidaknya satu dari *grip* yang bebas. Perpindahan relatif dari keduanya bagian dapat diukur dengan mekanik, optik, atau elektronik.

d. Standart keamanan

Semua benda berputar baik *sprocket* ataupun *chart* harus tertutup dengan baik untuk menghindarkan dari kecelakaan kerja.

## 2.6 Sifat Mekanik

Sifat mekanik didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan. Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban.

Berikut adalah beberapa sifat mekanik yang penting untuk diketahui :

- a. Kekuatan, menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis beban yang bekerja atau mengenainya. Contoh kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

- b. Kekerasan, dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*). Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
- c. Kekenyalan (*elasticity*), menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu benda mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Apabila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi hanya bersifat sementara, perubahan bentuk tersebut akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan yang diberikan. Akan tetapi apabila tegangan yang bekerja telah melewati batas kemampuannya, maka sebagian dari perubahan bentuk tersebut akan tetap ada walaupun tegangan yang diberikan telah dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastis yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, atau dapat dikatakan dengan kata lain adalah kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
- d. Kekakuan (*stiffness*), menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi). Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting daripada kekuatan.
- e. Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastik (permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai macam pembentukan seperti forging, rolling, extruding dan lain sebagainya. Sifat ini juga sering disebut sebagai keuletan (*ductility*). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastik cukup besar dikatakan sebagai bahan yang memiliki keuletan tinggi, bahan yang ulet (*ductile*). Sebaliknya bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi

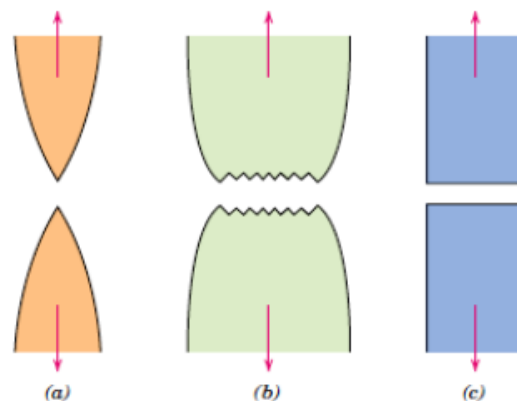
plastik dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan rendah atau getas (*brittle*).

- f. Ketangguhan (*toughness*), menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit diukur.
- g. Kelelahan (*fatigue*), merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang – ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastiknya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan ini. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.
- h. Creep, atau bahasa lainnya merambat atau merangkak, merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik yang besarnya berubah sesuai dengan fungsi waktu, pada saat bahan atau komponen tersebut tadi menerima beban yang besarnya relatif tetap (Wahyudi, 2014).

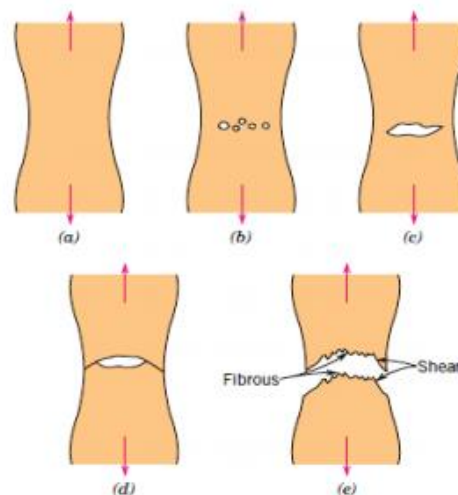
## 2.7 Patah Ulet

Bentuk patahan ulet memiliki karakteristik yang berbeda jika diamati secara makroskopis. Pada gambar 2.2 ditunjukkan skematik *representative* dari dua karakteristik profil patahan secara makro. Konfigurasi yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 (a) ditemukan pada material lunak seperti emas pada temperature ruang dan metal, polimer dan inorganik gelas pada temperature yang relatif tinggi. Secara umum profil patahan material ulet akibat tegangan tarik ditunjukkan pada Gambar 2.2 (b) dimana patahan didahului oleh adanya necking. Proses patahan ulet dari material terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, setelah terjadi pengecilan luasan setempat (*necking*) *cavities* kecil atau *microvoid* terbentuk di dalam struktur material seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3 (Pratama, 2016).





Gambar 2.2 Bentuk Patahan (a) ulet, (b) ulet setelah terjadi necking, (c) getas tanpa terjadi deformasi plastis (Pratama, 2016)



Gambar 2.3 Tahap patahan cup dan cone (Pratama, 2016)

Kemudian dengan bertambahnya deformasi akibat tegangan maka *microvoid* membesar dan berkumpul menjadi satu yang kemudian *coalesce* membentuk retak secara elips yang memiliki panjang tegak lurus dari arah pembebanan. Retak kemudian tumbuh sejajar dengan arah pembebanan, akhirnya patahan terbentuk oleh perambatan retak yang cepat disekitar area *necking* oleh deformasi geser pada sudut disekitar arah tegangan tarik dimana sudut ini merupakan tegangan geser tertinggi (Pratama, 2016).

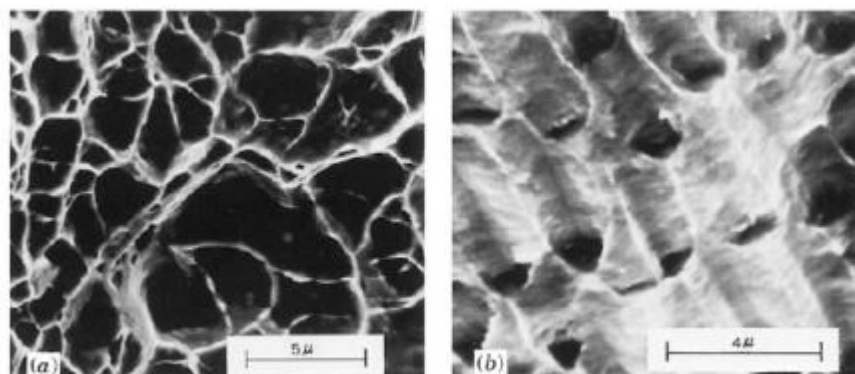
Terkadang sebuah patahan mempunyai karakteristik kontur seperti *cup* dan *cone* karena salah satu permukaan patahan menyerupai *cone*. Spesimen yang mempunyai bentuk patahan seperti ini berbentuk fibrous yang tidak teratur

dimana hal ini menandakan deformasi plastis. Lebih jauh lagi untuk mengetahui informasi mengenai penentuan secara pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Studi mengenai tipe patahan disebut *fractographic*. *Scanning Electron Microscope* (SEM) lebih banyak digunakan dalam mengamati bentuk *crack*, patahan karena mempunyai resolusi dan kedalaman observasi yang lebih tinggi dari mikroskopik optik. Gambar 2.4 menunjukkan patah ulet *cup* dan *cone* dan perbedaan patah getas pada *mild steel* (Pratama, 2016).



Gambar 2.4 Penampakan (a) patah ulet (cup and cone) pada aluminium, dan (b) patah getas pada mild steel (Pratama, 2016)

Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjalaran retakan mikro (*microvoids coalescence*) pada Gambar 2.5 (Pratama, 2016).



Gambar 2.5 Hasil SEM (Pratama, 2016)

## 2.8 Penelitian Terdahulu

2.8.1 Tri Cahyo Wahyudi dan Eko Nugroho, 2014 dalam penelitian yang berjudul *“Hubungan Siklus Putaran dan Beban Terhadap Kekuatan Bahan pada Uji Fatik Bending”*

Tujuan pengujian fatik bending Mengetahui hubungan siklus putaran dan beban terhadap kekuatan bahan uji, Menentukan nilai hubungan dan tegangan yang terjadi siklus terhadap putaran, Menentukan Jenis bahan yang mana memiliki keuletan dan kegetasan terhadap jenis patahan. Cara kerja uji fatik bending yaitu benda uji di jepit pada ragum penjepit yang dihubungkan dengan poros yang digerakan oleh motor listrik dan pada poros penjepit di beri pemberat, kemudian benda uji tersebut di putar. pada waktu tertentu benda uji tersebut mengalami kelelahan fatik sehingga akan putus (patah) dengan menggunakan variasi beban 9,81 N, 14,72 N, 19,62 N, 24,53 N dan 29,43 N. Dan tiap-tiap benda uji memiliki ukuran diameter 4 mm, 5 mm dan 6 mm bahan yang di gunakan yakni bahan St 37 dan St 40 dengan putaran motor 1486 rpm. Hubungan siklus putaran dan beban terhadap kekuatan bahan uji ini menunjukkan semakin kecil beban maka jumlah siklus putaran akan semakin besar dengan jumlah siklus tertinggi yakni 15085,9. Putaran sangat erat hubungannya dengan tegangan benda uji, Karena semakin besar tegangan maka akan semakin kecil jumlah siklus putaran, dan sebaliknya. Pada nilai hubungan tegangan dengan siklus putaran terlihat tegangan terkecil 0,34 N/mm<sup>2</sup> untuk jumlah siklus tertinggi 15085,9. Dalam proses pengujian terlihat hasil bahwa nilai kekerasan yang tinggi yaitu 40,98 menunjukkan patah getas pada bahannya dan nilai kekerasan yang rendah yaitu 39,90 yang memiliki bahan patah ulet.

2.8.2 Ali Mustofa, Sarjito Jokosisworo, dan Ari Wibawa Budi S, 2018 dalam penelitian yang berjudul *“Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Lentur Putar dan Kekuatan Puntir Baja ST 41 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Quenching”*

Dalam penelitian ini akan dilakukan uji komposisi, uji tarik, uji lentur putar, uji puntir, dan uji metalografi untuk material baja karbon ST41 guna untuk

bahan poros baling-baling kapal setelah proses *quenching*. Tujuannya untuk mengetahui apakah baja ST41 memenuhi persyaratan BKI ditinjau dari aspek kekuatan tarik dan komposisi materialnya. Sedangkan untuk uji puntir dan lentur putar adalah untuk menganalisa kelelahan material. Pada penelitian ini dilakukan proses perlakuan panas *quenching* dengan menggunakan media pendingin pelumas Mesran SAE 20W – 50. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik tarik, lentur putar, puntir dan struktur metalografi pada material baja ST 41 setelah proses *quenching*. Hasil penelitian ini berupa nilai kekuatan material yang kemudian dibandingkan dengan nilai minimum persyaratan *rules* BKI. Beberapa hasil penelitian seperti penampang patahan juga dapat mewakili karakter keuletan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja ST 41 perlakuan panas *quenching* memiliki kekuatan tarik 393 Mpa, kekuatan puntir 448,65 Mpa dan untuk uji lentur putar diperoleh nilai batas aman 149,14 Mpa dengan 2074300 siklus.

### 2.8.3 Bambang Pratowo dan Novran Apriansyah, 2016 dalam penelitian yang berjudul “*Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah SC10 dengan Tipe Rotary Bending*”

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa nilai kefatikan pada poros dengan material baja karbon rendah dengan kadar C 0,1 – 0,3 % C dengan jenis SC10 menggunakan alat uji fatik tipe rotary bending. Uji lelah dilakukan terhadap baja karbon rendah SC10 tanpa mendapatkan perlakuan panas. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan variasi pembebanan 40 %, 50 %, 60 %, 70 % dari UTS material. Spesimen yang digunakan adalah berdasarkan standar ASTM E466. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin bubut. Uji lelah dilakukan dengan menggunakan mesin uji fatik tipe rotary bending. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh siklus patah pada masing-masing variasi pembebanan semakin besar beban yang diberikan semakin kecil siklus yang terjadi dan sebaliknya. Pembebanan 40% dari UTS diperoleh 112.252 siklus sedangkan pada pengujian 70% dari UTS diperoleh 35.196 siklus. Siklus patah disajikan dalam bentuk kurva S-N.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Tahun	Hasil Penelitian
1.	Tri Cahyo Wahyudi dan Eko Nugroho	Hubungan Siklus Putaran dan Beban Terhadap Kekuatan Bahan pada Uji Fatik Bending	2014	Dalam proses pengujian terlihat hasil bahwa nilai kekerasan yang tinggi yaitu 40,98 menunjukkan patah getas pada bahan nya dan nilai kekerasan yang rendah yaitu 39,90 yang memiliki bahan patah ulet.
2.	Ali Mustofa, Sarjito Jokosisworo, dan Ari Wibawa Budi S	Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Lentur Putar dan Kekuatan Puntir Baja ST 41 sebagai Bahan Poros Baling- baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Quenching	2018	Hasil penelitian ini berupa nilai kekuatan material yang kemudian dibandingkan dengan nilai minimum persyaratan <i>rules</i> BKI. Beberapa hasil penelitian seperti penampang patahan juga dapat mewakili karakter keuletan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja ST 41 perlakuan panas <i>quenching</i> memiliki kekuatan tarik 393 Mpa, kekuatan puntir 448,65 Mpa dan untuk uji lentur putar diperoleh nilai batas aman 149,14 Mpa dengan 2074300 siklus.
3.	Bambang Pratowo,	Analisis Kekuatan Fatik	2019	Hasil dari pengujian yang dilakukan diperoleh siklus

---

Indra Surya dan Witoni	Baja Karbon Rendah SC10 dengan Tipe Rotary Bending	patah pada masing-masing variasi pembebanan semangkin besar beban yang diberikan semangkin kecil siklus yang terjadi dan sebaliknya. Pembebanan 40% dari UTS diperoleh 112.252 siklus sedangkan pada pengujian 70% dari UTS diperoleh 35.196 siklus.
---------------------------	---	---

---

## **BAB 3. METODE PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan gedung Laboratorium Mesin Otomotif Politeknik Negeri Jember Jalan Mastrip No. 3/80 Lingkungan Panji, Sumbersari Jember, dan di gedung Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Waktu pelaksanaan November 2019 - Juni 2020.

### **3.2 Alat dan Bahan**

#### **3.2.1 Alat**

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mesin bubut
- b. Mesin gerinda atau mesin potong
- c. Sketmat
- d. *Stopwatch*
- e. Alat uji *rotary*
- f. Busur

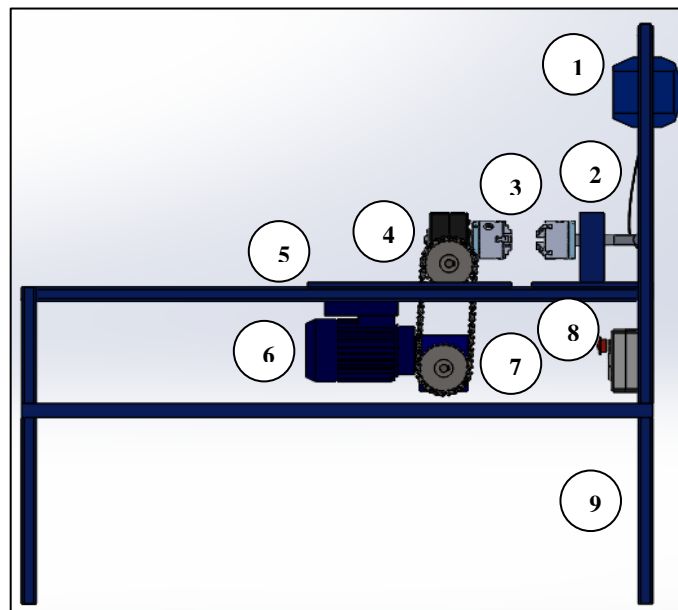
#### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Baja ST-41
- b. Amplas

### **3.3 Skema Alat Uji**

Pada skema pengujian, adapun modeling dan spesifikasi alat dan bahan yang digunakan berupa alat uji kekuatan puntir tipe *rotary*.

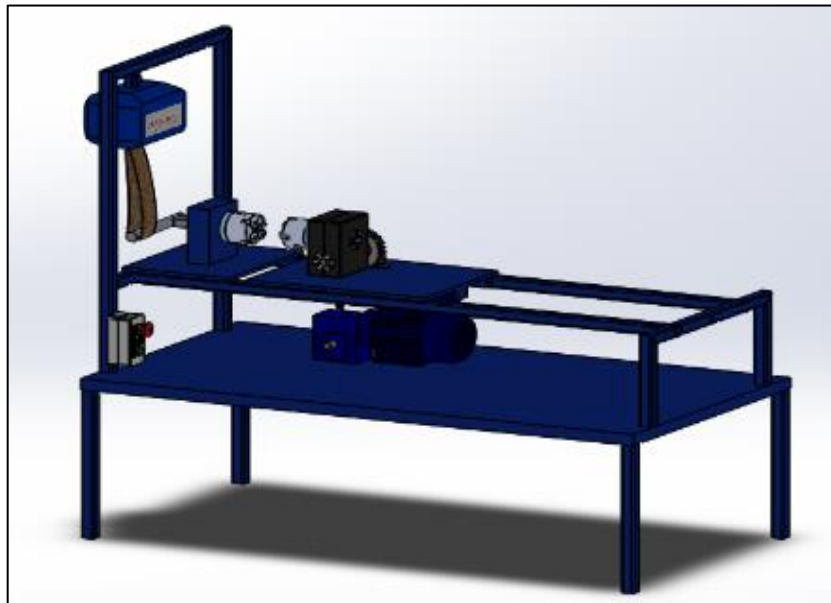


Gambar 3.1 Komponen alat uji (Dokumen Pribadi, 2019)

Keterangan:

1. Alat ukur beban
2. *Fix holder*
3. *Chart*
4. *Gear box*
5. Meja geser
6. Motor listrik
7. *Hub chain*
8. *Power supply*
9. Kontruksi alat uji





Gambar 3.2 Alat Uji *Rotary* (Dokumen pribadi, 2019)

Spesifikasi Cekam:

Model	: K11-80
Material	: <i>Iron (chuck body), steel (jaws)</i>
<i>Chuck Type</i>	: <i>3-jaws chuck</i>
<i>Chuck Structure</i>	: <i>Big through-hole chuck</i>
<i>Power Type</i>	: Manual
<i>Chuck Diameter</i>	: 80 mm / 3.1 in
<i>Chuck Hole Diameter</i>	: 16mm / 0.6in
<i>Clamping Range</i>	: 2~22mm / 0.1~0.9in
<i>Supporting Range</i>	: 25~70mm / 1~2.8in
<i>Centering Precision</i>	: 0.07mm
<i>Suitable Machine Tool</i>	: <i>Lathe</i>
<i>Speed</i>	: 6600 r/min
<i>Max. Input Moment of Force</i>	: 40
<i>Weight</i>	: 1980 g / 69.8 oz( <i>approx</i> )



Gambar 3.3 Motor Listrik (Dokumen Pribadi, 2019)

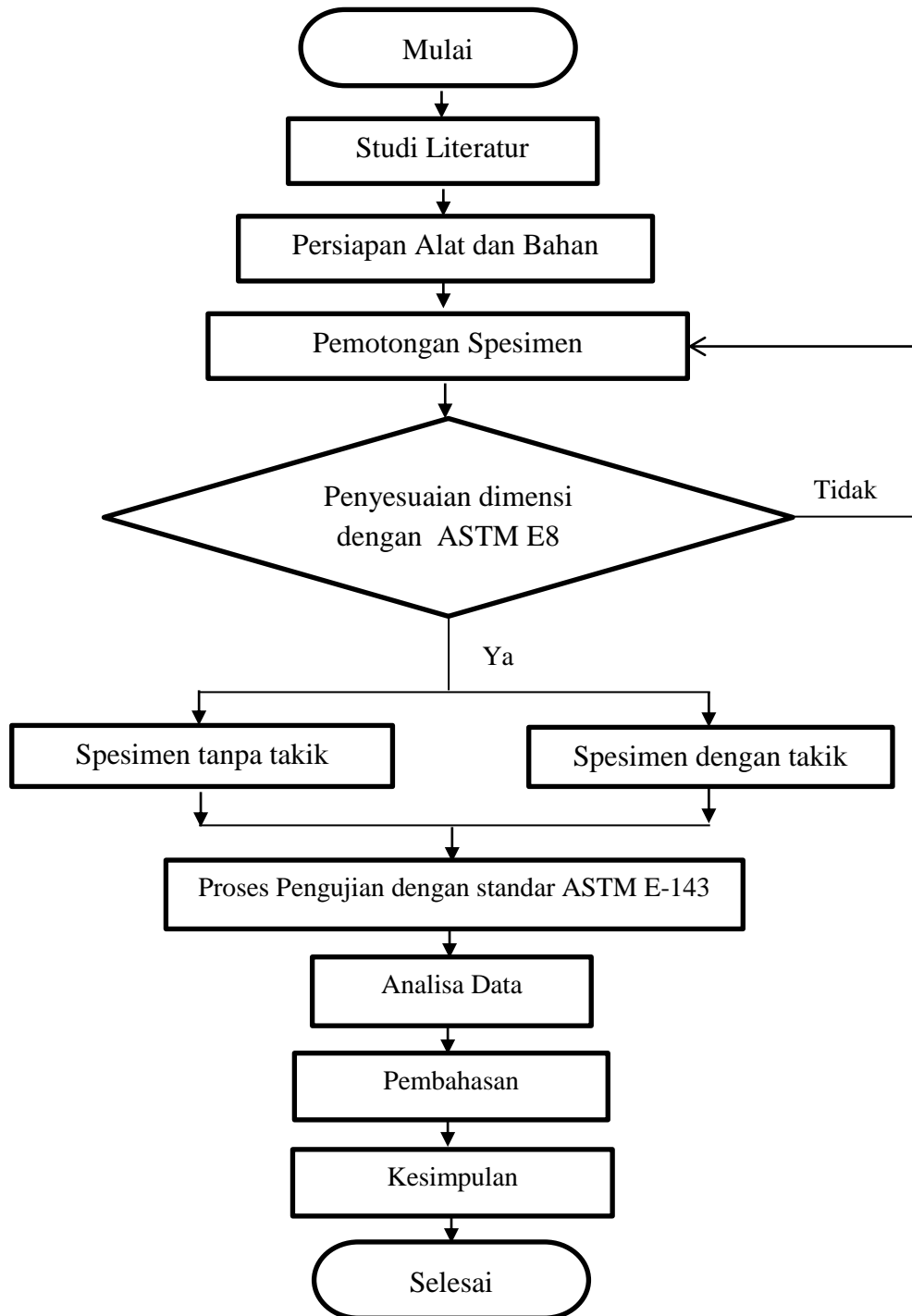
Spesifikasi Motor Listrik:

<i>Brand</i>	: Alliance Motori
<i>Type</i>	: A-YL Series - Single Phase Motor Induksi
<i>Available Range</i>	: 0.25 - 5 HP
<i>Features</i>	: Aluminium Casing, Top Cover Terminal Box
<i>Protection Class</i>	: IP55
<i>Insulation Class</i>	: Class F
<i>3 Phase, Mounted</i>	: B3, B5, B35, B14, B34
<i>Voltage</i>	: 220 / 380 V (50 / 60 Hz)

### 3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental adalah metode yang digunakan untuk membandingkan pengujian beberapa variasi perlakuan dengan pengujian variasi sebagai pembanding. Penelitian eksperimental ini digunakan untuk mengetahui kekuatan puntir pada baja ST-41 dengan menggunakan alat uji *rotary*.

### 3.5 Tahapan Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alur Penelitian (Dokumen Pribadi, 2019)

### **3.6 Parameter Penelitian**

#### 3.6.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi hasil dari suatu penelitian, variabel ini dipilih oleh peneliti untuk mempengaruhi sebuah penelitian dan hasil dari penelitian diobservasi. Adapun variabel bebas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Dimensi spesimen
- b. Material bahan spesiemen

#### 3.6.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang mendapatkan pengaruh, dan merupakan faktor-faktor yang diobservasi dan diukur untuk mengetahui adanya pengaruh dari variabel bebas. Adapun variabel terikat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Standar ASTM
- b. Momen puntir (Nm)
- c. Tegangan Geser (MPa)

### **3.7 Prosedur Penelitian**

#### 3.7.1 Pembuatan Spesimen

Langkah pembuatan material uji adalah sebagai berikut :

- a. Langkah Pembuatan Desain

Langkah awal dalam pembuatan material uji adalah pembuatan desain. Desain yang digunakan yaitu menggunakan standar ASTM E-143 dengan Do 8 mm variasi dengan takik dan tanpa takik.

- b. Langkah Perubahan Bentuk Material

Langkah selanjutnya yaitu langkah perubahan bentuk material. Langkah ini merubah baja ST-41 yang awalnya berbentuk bulat menjadi mengerucut ke dalam sesuai seperti desain. Proses perubahan ini dilakukan dengan cara dipotong menggunakan mesin potong berpendingin dan juga dibubut.

c. Langkah Akhir

Langkah terakhir ini bertujuan agar material menjadi halus dan tidak ada bekas dari bubutan, sehingga pada saat diuji material tidak patah pada ujung porosnya. Proses ini menggunakan amplas.

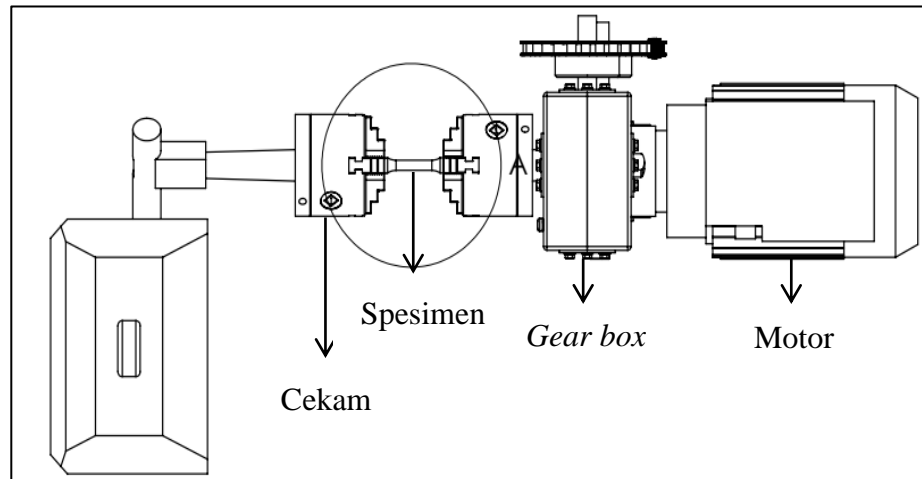
### 3.7.2 Proses Pengujian

Proses pengujian dalam penelitian ini memiliki beberapa langkah yaitu sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan spesimen tanpa takik sebanyak lima spesimen dan bertakik sebanyak lima spesimen sesuai prosedur ASTM E-143.
- b. Memasang spesimen pada cekam alat uji, pastikan antar cekam lurus sehingga tidak terjadi pembengkokan saat pengencangan cekam, kemudian kencangkan cekam.
- c. Kalibrasi timbangan ke angka nol dan kalibrasi jarum busur ke angka nol derajat.
- d. Pastikan tidak ada kain atau benda yang menghalangi perputaran dari motor.
- e. Hidupkan *power supply* dan *stopwatch* secara bersamaan.
- f. Hitung per siklus dari putaran jarum derajat.
- g. Saat terjadi perpatahan hentikan mesin dan *stopwatch*.
- h. Catat beban tertinggi dan banyak siklus yang terjadi.
- i. Lepaskan spesimen pada cekam.
- j. Ulangi proses dari poin a hingga j. sampai 5 spesimen untuk tanpa takik dan 5 spesimen untuk bertakik setiap pembebanan

### 3.8 Skema pengujian

#### 3.8.1 Skema Alat Uji



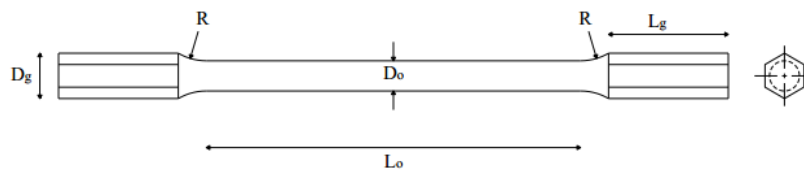
Gambar 3.5 Skema Uji Puntir (Dokumen pribadi, 2019)

Kekuatan puntir dari baja ST-41 dapat diketahui melalui pengujian puntir dengan meletakkan spesimen pada *chart* dan diuji. Setelah spesimen diuji dapat diketahui beban dan berapa lama spesimen akan terputus. Metode pengujian dapat menyesuaikan dari kebutuhan material yang akan di aplikasikan pada suatu poros.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pembuatan Spesimen

Pengujian kekuatan puntir pada penelitian ini menggunakan spesimen yang dirancang dengan menggunakan baja ST-41. Dimensi spesimen yang akan digunakan dalam penelitian mengikuti standar dari ASTM E8.



Gambar 4.1 Spesimen Uji Rotary Standar ASTM E8 (Jatmiko, 2012)

Tabel 4.1 Dimensi Spesimen Uji Puntir Standar ASTM E8

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)				
	Do	Lo	R	Dg	Lg
ASTM E8	8	100	15	12	32

Sumber : Jatmiko (2012)



Gambar 4.2 Proses Pembuatan Spesimen Tanpa Takik (Dokumen Pribadi, 2020)

Spesimen dibuat dengan menggunakan bahan mentah yang berkualitas dengan kondisi fisik yang baik seperti tanpa goresan, tidak ada bercak, maupun cacat. Pembuatan spesimen dilakukan dengan melakukan pembubutan pada material yang sudah disesuaikan dengan standar ASTM E8.



Gambar 4.3 Proses Pembuatan Spesimen dengan Takik (Dokumen Pribadi, 2020)

Pembuatan spesimen dilakukan dengan melakukan pembubutan pada material yang sudah disesuaikan dengan standar ASTM E8, dan dilakukan pembuatan takik pada bagian tengah spesimen. Proses penyesuaian dimensi spesimen juga harus menjaga suhu dari spesimen agar tidak mengalami kenaikan yang signifikan dengan cara mengaliri spesimen dengan *cooler* atau air sebagai media pendingin saat pembubutan.



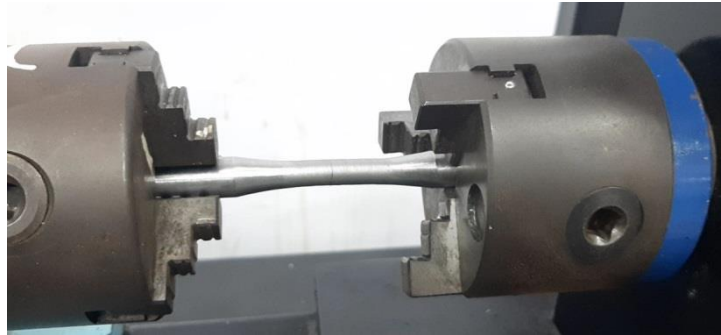
Gambar 4.4 Proses Pengaliran Air pada Pembubutan (Dokumen Pribadi, 2020)

## 4.2 Patahan

### 4.2.1 Proses Patahan

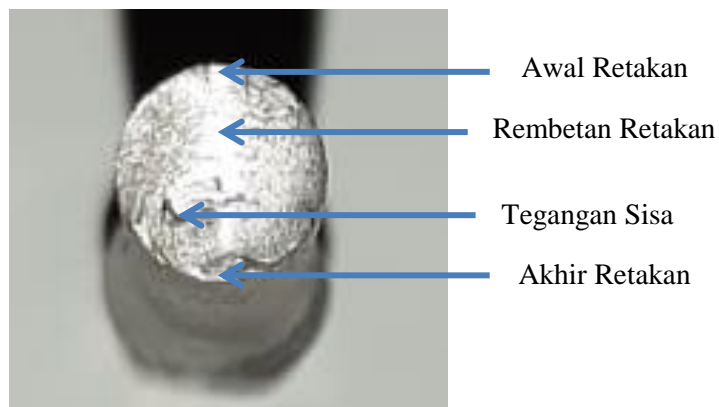
Awal mula terjadi kegagalan poros adalah dimulai dari awal retakan dan merambat secara vertikal sampai membuat retakan besar, retakan ini disebabkan oleh momen puntir yang terjadi.





Gambar 4.5 Awal Retakan (Dokumen Pribadi, 2020)

Retakan akan terus merembet sampai ke bagian tengah dan semakin membesar sampai menyeluruh memisahkan menjadi dua bagian dan berakhir dengan putus sempurna, patahan cenderung mengarah pada bagian yang berdiameter kecil.

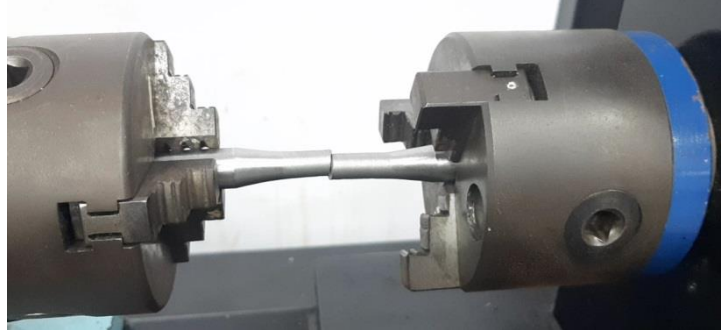


Gambar 4.6 Penampang Patahan Spesimen (Dokumen Pribadi, 2020)

Awal retakan terjadi akibat momen puntir di sekitar retakan, retakan kecil akan merembet secara melingkar kedalam. Rembetan ini perlahan memisahkan kedua sisi spesimen dan berakhir pada akhir retakan dan spesimen belum benar-benar terpisah dikarenakan terdapat tegangan sisa. Tegangan sisa inilah yang menyebabkan spesimen belum terpisah secara sempurna dan membutuhkan beberapa waktu untuk benar-benar terpisah, dan jarum neraca menunjukkan angka nol.

Berdasarkan hasil pengujian spesimen yang dibuat dengan bertakik akan lebih cepat mengalami perpatahan daripada spesimen yang dibuat tanpa takik. Spesimen bertakik dapat dipatahkan hanya dengan sekali putaran sudut,

sedangkan spesimen tanpa takik dapat dipatahkan dengan beberapa kali putaran, antara tiga hingga lima putaran.

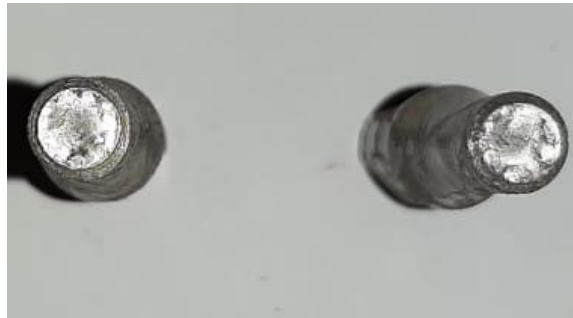


Gambar 4.7 Patah Sempurna (Dokumen Pribadi, 2020)

Spesimen yang patah diakibatkan cekam yang kuat puntiran yang memiliki torsi besar dari motor penggerak yang diroduksi oleh *gearbox*. Memungkinkan spesimen patah karena ketahanan material yang rendah dibandingkan dengan torsi motor yang besar.

#### 4.2.2 Hasil Patahan

##### a. Spesimen Bertakik



Gambar 4.8 Penampang Patahan Spesimen Bertakik (Dokumen Pribadi, 2020)

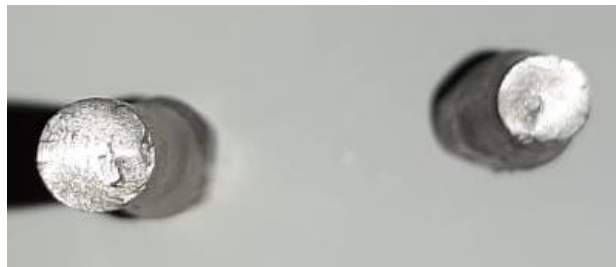
Spesimen bertakik memiliki patahan yang rapi dan berada pada pusat atau bagian tengah takik, tetapi untuk ketahanan, spesimen bertakik tidak bisa menahan momen yang tinggi.



Gambar 4.9 Patahan Spesimen Bertakik (Dokumen Probadi, 2020)

Patahan spesimen terletak pada bagian tengah dari bagian (Lo) pada tabel dimensi spesimen. Patahan dapat terjadi pada bagian tengah spesimen dikarenakan adanya takik atau garis yang melintang untuk mengarahkan patahan kebagian yang diharapkan untuk mempermudah pengamatan dari pagujian.

b. Spesimen Tidak Bertakik



Gambar 4.10 Penampang Patahan Spesimen Tanpa Takik (Dokumen Pribadi, 2020)

Spesimen tanpa takik memiliki patahan yang kurang rapi dan tidak berada pada pusat atau bagian tengah takik, tetapi untuk ketahanan, spesimen tanpa takik mampu menahan momen yang tinggi.



Gambar 4.11 Patahan Spesimen Tanpa Takik (Dokumen Pribadi, 2020)

Patahan spesimen terletak tidak pada bagian tengah dari bagian (Lo) pada tabel dimensi spesimen. Patahan dapat terjadi pada bagian tersebut dikarenakan beberapa faktor salah satunya terjadi karena proses pembubutan yang dilakukan menggunakan mesin bubut manual, yang terjadi adalah ketidakrataan permukaan yang membuat fokus patahan tidak terjadi pada bagian tengah, faktor lainnya adalah terletak pada alat uji yang tidak center yang menyebabkan patahan tidak pada bagian tengah spesimen.

### **4.3 Pengujian Kekuatan Puntir**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan puntir dari baja ST-41 dengan menggunakan alat uji kekuatan puntir hasil perancangan dan alat uji kekuatan puntir standar. Pengujian dilakukan dengan melakukan pemasangan spesimen tanpa takik dan dengan pada cekam alat uji *rotary*. Pengujian dilakukan pada 5 variasi spesimen baja ST-41.

Langkah pertama pengujian yaitu dengan menghidupkan mesin untuk memulai pengujian, pada saat yang bersamaan juga memulai pencatatan disetiap  $10^\circ$  dengan mencatat perubahan beban yang terjadi terhadap waktu dengan stopwatch. Ketika material patah maka stopwatch dan mesin akan dimatikan, kemudian mencatat waktu yang diperoleh dari stopwatch dan mencatat putaran yang diperoleh dari indikator. Selanjutnya adalah menandai material untuk pengujian pertama dan seterusnya.

#### **4.3.1 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir dengan Spesimen Bertakik**

Hasil pengujian alat uji kekuatan puntir dilakukan pada alat uji standar dan alat uji hasil perancangan pada spesimen bertakik. Hasil pengujian pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Alat Uji Kekuatan Puntir Bertakik

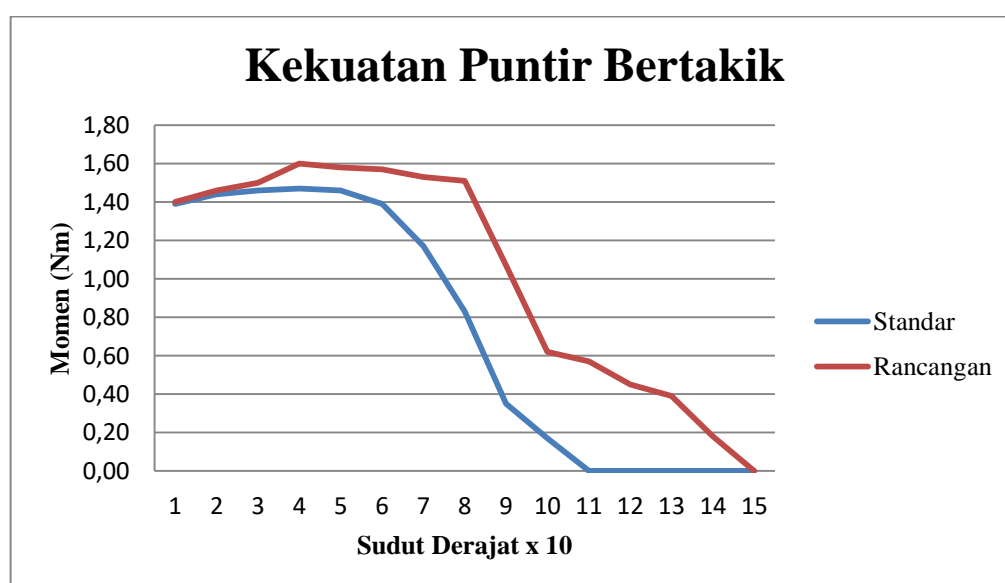
Pengujian dengan Spesimen Bertakik												
Sudut Derajat	Alat Uji Standar (Nm)					Rata-rata	Alat Uji Perancangan (Nm)					Rata-rata
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
10	1.45	1.3	1.45	1.3	1.45	<b>1.39</b>	2.1	0.75	0.7	1.5	1.95	<b>1.40</b>
20	1.45	1.4	1.5	1.4	1.45	<b>1.44</b>	2.1	1.5	0.7	1.05	1.95	<b>1.46</b>
30	1.45	1.45	1.5	1.4	1.5	<b>1.46</b>	2.1	1.65	0.75	1.05	1.95	<b>1.50</b>
40	1.45	1.45	1.5	1.45	1.5	<b>1.47</b>	2.1	1.65	0.8	1.65	1.8	<b>1.60</b>
50	1.45	1.4	1.5	1.45	1.5	<b>1.46</b>	1.95	1.65	1	1.65	1.65	<b>1.58</b>
60	1.45	1.3	1.45	1.45	1.3	<b>1.39</b>	1.8	1.65	1.1	1.65	1.65	<b>1.57</b>
70	1.2	1.05	1.25	1.3	1.05	<b>1.17</b>	1.65	1.5	1.2	1.8	1.5	<b>1.53</b>
80	1	0.65	0.85	1	0.65	<b>0.83</b>	1.5	1.35	1.4	1.95	1.35	<b>1.51</b>
90	0.45	0.35	0.3	0.3	0.35	<b>0.35</b>	0.3	1.05	1.3	1.95	0.75	<b>1.07</b>
100	0.2	0.2	0.15	0.2	0.1	<b>0.17</b>	0.15	0.75	0.6	1	0.6	<b>0.62</b>
110	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0.15	0.15	0.75	1.35	0.45	<b>0.57</b>
120	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0.15	0.15	0.6	1.2	0.15	<b>0.45</b>
130	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0.15	0.08	0.45	1.13	0.15	<b>0.39</b>
140	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0.15	0	0	0.75	0	<b>0.18</b>
150	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	0	<b>0</b>

Sumber : Dokumen Pribadi (2020)

Berdasarkan tabel 4.2 dapat diketahui perbandingan hasil pengujian kekuatan puntir dari baja ST-41 dengan menggunakan alat uji standar dan alat uji hasil perancangan yang menggunakan 5 variasi spesimen bertakik. Pengujian dengan menggunakan spesimen pertama pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut 110°, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut 150°. Pengujian dengan menggunakan spesimen kedua pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut 110°, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut 140°. Pengujian dengan menggunakan spesimen ketiga pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut 110°, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut 140°. Pengujian dengan menggunakan spesimen keempat pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut 110°, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut 140°. Pengujian dengan

menggunakan spesimen kelima pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut  $110^\circ$ , sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut  $140^\circ$ .

Hasil pengujian yang didapat dari alat uji kekuatan puntir standar maupun alat uji kekuatan puntir hasil perancangan akan dikomparasikan dengan menggunakan grafik. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pembacaan dari hasil pengujian. Hasil komparasi data dari pengujian pada spesimen bertakik dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 4.12 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Bertakik (Dokumen Pribadi, 2020)

Berdasarkan gambar 4.12 dapat diketahui bahwa pada alat uji kekuatan puntir standar kelima spesimen rata-rata berada pada puncak momen tertinggi pada sudut  $40^\circ$  dan awal retakan terjadi setelah puncak momen tertinggi kemudian benar-benar putus pada sudut  $110^\circ$ , sedangkan pada alat uji kekuatan puntir hasil perancangan kelima spesimen rata-rata berada pada puncak momen tertinggi pada sudut  $60^\circ$  dan benar-benar putus pada sudut  $150^\circ$ .

Alat uji hasil standar memiliki kekuatan maksimal pada saat putus pada sudut  $40^\circ$  dengan momen terbaca 1,47 Nm, dan alat uji perancangan memiliki kekuatan maksimal pada saat putus pada  $40^\circ$  dengan momen terbaca 1,60 Nm. Kekuatan maksimal tersebut terdapat selisih sebesar 0,13 Nm atau sebesar 8,8%.

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir dengan Spesimen Tanpa Takik

Hasil pengujian alat uji kekuatan puntir dilakukan pada alat uji standar dan alat uji hasil perancangan pada spesimen bertakik. Hasil pengujian pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Alat Uji Kekuatan Puntir Tanpa Takik

Pengujian dengan Spesimen Tanpa Bertakik												
Sudut derajat	Alat Uji Standar (Nm)					Rata-rata	Alat Uji Perancangan (Nm)					Rata-rata
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
10	1.5	1.3	2.1	1.5	1.5	<b>1.58</b>	3.0	2.0	3.0	1.5	1.0	<b>2.10</b>
20	2.2	1.6	2.5	2.3	2.2	<b>2.14</b>	3.2	2.2	3.2	2.3	2.0	<b>2.55</b>
30	2.6	2.6	2.6	2.4	2.3	<b>2.5</b>	3.3	2.3	3.3	3.0	2.2	<b>2.82</b>
40	2.7	3.0	2.7	2.6	2.6	<b>2.7</b>	3.5	2.4	3.3	3.6	2.3	<b>2.99</b>
50	2.7	3.0	2.8	2.7	2.7	<b>2.77</b>	3.5	2.4	3.3	3.6	2.4	<b>3.04</b>
60	2.8	3.0	2.9	2.8	2.8	<b>2.83</b>	3.6	2.5	3.3	3.8	2.4	<b>3.10</b>
70	2.9	3.1	3.0	2.8	2.8	<b>2.9</b>	3.7	2.5	3.4	3.8	2.4	<b>3.15</b>
80	2.9	3.2	3.0	2.9	2.9	<b>2.93</b>	3.8	2.5	3.4	3.8	2.4	<b>3.17</b>
90	2.9	3.2	3.0	2.9	2.9	<b>2.95</b>	3.8	2.5	3.4	3.8	2.4	<b>3.17</b>
100	2.9	3.2	3.0	2.9	2.9	<b>2.97</b>	3.8	2.5	3.5	3.9	2.4	<b>3.20</b>
110	3.0	3.2	3.0	2.9	2.9	<b>2.98</b>	3.8	2.5	3.5	3.9	2.4	<b>3.22</b>
120	3.0	3.2	3.0	2.9	2.9	<b>2.99</b>	3.8	2.5	3.5	3.9	2.4	<b>3.22</b>
130	3.0	3.2	3.0	2.9	2.9	<b>2.99</b>	3.8	2.5	3.6	3.9	2.4	<b>3.23</b>
140	3.0	3.2	3.0	3.0	3.0	<b>3.01</b>	3.8	2.5	3.6	3.9	2.4	<b>3.23</b>
150	3.0	3.2	3.0	3.0	3.0	<b>3.01</b>	3.8	2.5	3.6	3.9	2.5	<b>3.24</b>
160	3.0	3.3	3.0	3.0	3.0	<b>3.02</b>	3.8	2.5	3.6	3.9	2.5	<b>3.24</b>
170	3.0	3.3	3.1	3.0	3.0	<b>3.05</b>	3.8	2.5	3.6	3.9	2.5	<b>3.24</b>
180	3.0	3.3	3.1	3.1	3.1	<b>3.07</b>	3.8	2.5	3.6	3.9	2.5	<b>3.26</b>
190	3.0	3.3	3.1	3.1	3.1	<b>3.08</b>	3.9	2.5	3.6	3.9	2.5	<b>3.27</b>
200	3.0	3.3	3.1	3.1	3.1	<b>3.1</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
210	3.0	3.3	3.1	3.1	3.1	<b>3.1</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
220	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.14</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
230	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.14</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
240	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.15</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
250	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.15</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
260	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.16</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
270	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.17</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
280	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.17</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
290	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.17</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
300	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.17</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>

Pengujian dengan Spesimen Tanpa Bertakik												
Sudut derajat	Alat Uji Sttandar (Nm)					Rata-rata	Alat Uji Perancangan (Nm)					Rata-rata
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
310	3.1	3.3	3.1	3.2	3.2	<b>3.17</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
320	3.1	3.3	3.2	3.2	3.2	<b>3.18</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
330	3.1	3.3	3.2	3.2	3.2	<b>3.18</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.5	<b>3.30</b>
340	3.1	3.3	3.2	3.2	3.2	<b>3.18</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.6	<b>3.31</b>
350	3.1	3.3	3.2	3.2	3.2	<b>3.18</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.6	<b>3.31</b>
360	3.1	3.3	3.2	3.2	3.2	<b>3.18</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.6	<b>3.31</b>
10	3.1	3.3	3.2	3.2	3.2	<b>3.19</b>	3.9	2.5	3.6	4.0	2.6	<b>3.31</b>
20	3.1	3.3	3.2	3.2	3.2	<b>3.19</b>	3.9	2.5	3.7	4.0	2.6	<b>3.32</b>
30	3.1	3.4	3.2	3.2	3.2	<b>3.2</b>	3.9	2.5	3.7	4.0	2.6	<b>3.32</b>
40	3.1	3.4	3.2	3.2	3.2	<b>3.2</b>	3.9	2.6	3.7	4.0	2.6	<b>3.33</b>
50	3.1	3.4	3.2	3.2	3.2	<b>3.2</b>	3.9	2.6	3.7	4.0	2.6	<b>3.33</b>
60	3.1	3.4	3.2	3.2	3.2	<b>3.2</b>	3.9	2.6	3.7	4.0	2.6	<b>3.33</b>
70	3.1	3.4	3.2	3.2	3.3	<b>3.22</b>	3.9	2.6	3.7	4.0	2.6	<b>3.34</b>
80	3.1	3.4	3.2	3.2	3.3	<b>3.22</b>	3.9	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.36</b>
90	3.1	3.4	3.2	3.2	3.3	<b>3.22</b>	3.9	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.36</b>
100	3.1	3.4	3.2	3.2	3.3	<b>3.22</b>	3.9	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.36</b>
110	3.1	3.4	3.2	3.2	3.3	<b>3.22</b>	3.9	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.36</b>
120	3.1	3.4	3.2	3.2	3.3	<b>3.23</b>	4.0	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.37</b>
130	3.1	3.4	3.2	3.4	3.4	<b>3.27</b>	4.0	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.37</b>
140	3.1	3.4	3.2	3.4	3.4	<b>3.27</b>	4.0	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.37</b>
150	3.1	3.4	3.2	3.4	3.4	<b>3.28</b>	4.0	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.39</b>
160	3.1	3.4	3.2	3.4	3.4	<b>3.28</b>	4.0	2.6	3.7	4.1	2.6	<b>3.39</b>
170	3.1	3.4	3.2	3.4	3.4	<b>3.28</b>	4.0	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.40</b>
180	3.1	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.29</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
190	3.1	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.29</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
200	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.3</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
210	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.32</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
220	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.32</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
230	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.32</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
240	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.32</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
250	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.33</b>	4.1	2.6	3.8	4.1	2.6	<b>3.42</b>
260	3.2	3.5	3.2	3.4	3.4	<b>3.33</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.43</b>
270	3.2	3.5	3.2	3.5	3.5	<b>3.35</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.43</b>
280	3.2	3.5	3.2	3.5	3.5	<b>3.35</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.43</b>
290	3.2	3.5	3.2	3.5	3.5	<b>3.35</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>
300	3.2	3.5	3.2	3.5	3.5	<b>3.35</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>



Pengujian dengan Spesimen Tanpa Bertakik												
Sudut derajat	Alat Uji Standar (Nm)					Rata-rata	Alat Uji Perancangan (Nm)					Rata-rata
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
310	3.2	3.5	3.2	3.5	3.5	<b>3.35</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>
320	3.2	3.5	3.3	3.5	3.5	<b>3.36</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>
330	3.2	3.5	3.3	3.5	3.5	<b>3.36</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>
340	3.2	3.5	3.3	3.5	3.5	<b>3.36</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>
350	3.2	3.5	3.3	3.5	3.5	<b>3.36</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>
360	3.2	3.5	3.3	3.5	3.5	<b>3.36</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.44</b>
10	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.6	3.8	4.2	2.6	<b>3.46</b>
20	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.6	<b>3.47</b>
30	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
40	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
50	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
60	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
70	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
80	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
90	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
100	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
110	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.39</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
120	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.4</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
130	3.2	3.5	3.4	3.5	3.5	<b>3.4</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.48</b>
140	3.2	1.5	3.4	3.5	3.5	<b>3</b>	4.1	2.7	3.8	4.2	2.7	<b>3.49</b>
150	3.2	0.6	3.4	3.5	3.5	<b>2.82</b>	4.1	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.51</b>
160	3.2	0.6	3.4	3.5	3.5	<b>2.82</b>	4.1	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.51</b>
170	3.2	0.5	3.4	3.5	3.5	<b>2.8</b>	4.1	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.52</b>
180	3.2	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.7</b>	4.1	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.52</b>
190	3.2	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.7</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.53</b>
200	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.53</b>
210	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.53</b>
220	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.53</b>
230	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.53</b>
240	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.53</b>
250	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.53</b>
260	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.54</b>
270	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.54</b>
280	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.54</b>
290	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.54</b>
300	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.54</b>

Pengujian dengan Spesimen Tanpa Bertakik												
Sudut derajat	Alat Uji Standar (Nm)					Rata-rata	Alat Uji Perancangan (Nm)					Rata-rata
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
310	3.3	0.0	3.4	3.5	3.5	<b>2.71</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.54</b>
320	3.3	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.72</b>	4.2	2.7	3.9	4.2	2.7	<b>3.54</b>
330	3.3	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.72</b>	4.2	2.7	3.9	4.3	2.7	<b>3.56</b>
340	3.3	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.72</b>	4.2	2.7	3.9	4.3	2.7	<b>3.56</b>
350	3.3	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.72</b>	4.2	2.7	3.9	4.3	2.7	<b>3.56</b>
360	3.3	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.72</b>	4.2	2.7	3.9	4.3	2.7	<b>3.56</b>
10	2.5	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.58</b>	4.2	2.7	3.9	4.3	2.0	<b>3.42</b>
20	1.4	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.36</b>	4.2	2.7	3.9	4.3	0.5	<b>3.12</b>
30	1.0	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.28</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.3	<b>3.09</b>
40	0.5	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.18</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.3	<b>3.09</b>
50	0.0	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.08</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.3	<b>3.09</b>
60	0.0	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.08</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.3	<b>3.09</b>
70	0.0	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.08</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.03</b>
80	0.0	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.08</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
90	0.0	0.0	3.5	3.5	3.5	<b>2.08</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
100	0.0	0.0	3.5	3.5	3.2	<b>2.02</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
110	0.0	0.0	3.5	3.2	3.2	<b>1.96</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
120	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	<b>0.6</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
130	0.0	0.0	0.6	0.4	0.4	<b>0.26</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
140	0.0	0.0	0.5	0.2	0.2	<b>0.15</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
150	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	<b>0.11</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
160	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	<b>0.05</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
170	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
190	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.2	2.7	3.9	4.4	0.0	<b>3.05</b>
200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.2	2.7	4.0	4.4	0.0	<b>3.06</b>
210	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.2	2.7	4.0	4.4	0.0	<b>3.06</b>
220	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.2	2.8	4.0	4.4	0.0	<b>3.07</b>
230	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.3	2.8	4.0	4.4	0.0	<b>3.09</b>
240	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.3	2.0	4.0	4.4	0.0	<b>2.94</b>
250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.3	1.5	4.0	3.0	0.0	<b>2.55</b>
260	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.3	1.0	4.0	1.5	0.0	<b>2.15</b>
270	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.3	0.5	4.0	1.1	0.0	<b>1.96</b>
280	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	4.3	0.2	4.0	0.8	0.0	<b>1.84</b>
290	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	1.5	0.0	4.0	0.6	0.0	<b>1.22</b>
300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.9	0.0	4.0	0.6	0.0	<b>1.10</b>

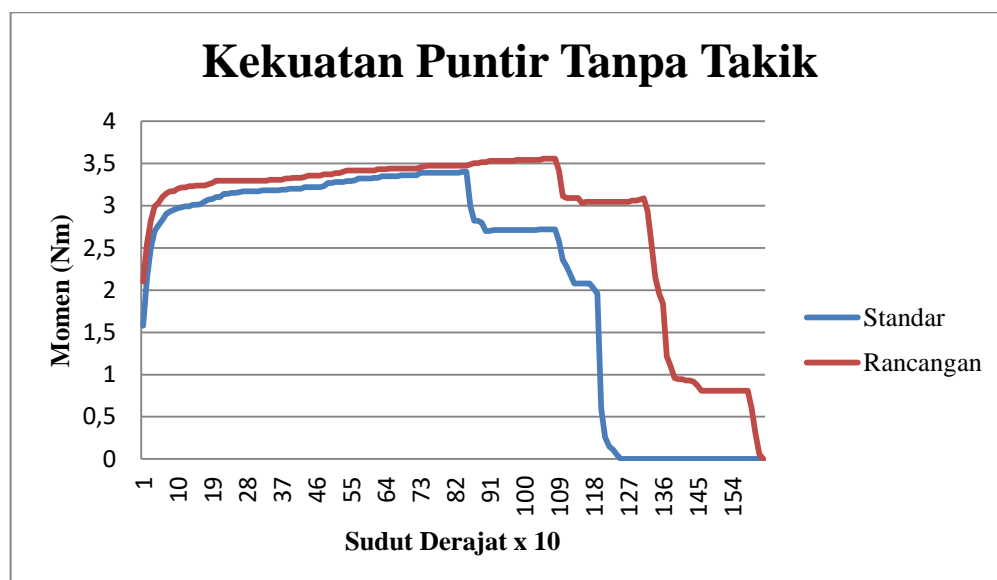
Pengujian dengan Spesimen Tanpa Bertakik												
Sudut derajat	Alat Uji Standar (Nm)					Rata-rata	Alat Uji Perancangan (Nm)					Rata-rata
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
310	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.8	0.0	4.0	0.0	0.0	<b>0.96</b>
320	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.8	0.0	4.0	0.0	0.0	<b>0.95</b>
330	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.7	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.95</b>
340	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.6	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.93</b>
350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.6	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.93</b>
360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.5	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.92</b>
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.3	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.87</b>
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
130	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
140	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	<b>0.81</b>
150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	<b>0.60</b>
160	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	<b>0.30</b>
170	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	<b>0.06</b>
180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.00</b>

Sumber : Dokumen Pribadi (2020)

Berdasarkan tabel 4.3 dapat diketahui perbandingan hasil pengujian alat uji standar dan alat uji hasil perancangan dengan menggunakan 5 variasi spesimen tanpa takik baja ST-41. Pengujian dengan menggunakan spesimen pertama pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut 50° pada putaran keempat, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut 20° pada putaran kelima. Pengujian dengan menggunakan spesimen kedua pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut 180° pada putaran ketiga, sedangkan pada

alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut  $290^\circ$  pada putaran keempat. Pengujian dengan menggunakan spesimen ketiga pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut  $170^\circ$  pada putaran keempat, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut  $180^\circ$  pada putaran kelima. Pengujian dengan menggunakan spesimen keempat pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut  $160^\circ$  pada putaran keempat, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut  $310^\circ$  pada putaran keempat. Pengujian dengan menggunakan spesimen kelima pada alat uji standar dapat dipatahkan pada sudut  $160^\circ$  pada putaran keempat, sedangkan pada alat uji hasil perancangan spesimen dapat dipatahkan pada sudut  $70^\circ$  pada putaran keempat.

Hasil pengujian yang didapat dari alat uji kekuatan puntir standar maupun alat uji kekuatan puntir hasil perancangan akan dikomparasikan dengan menggunakan grafik. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pembacaan dari hasil pengujian. Hasil komparasi data dari pengujian pada spesimen bertakik dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 4.13 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Tanpa Takik (Dokumen Pribadi, 2020)

Berdasarkan gambar 4.13 dapat diketahui bahwa pada alat uji kekuatan puntir standar kelima spesimen rata-rata berada pada puncak momen tertinggi

pada sudut 110° pada putaran ketiga dan awal retakan terjadi setelah puncak momen tertinggi kemudian benar-benar putus pada sudut 170° pada putaran keempat, sedangkan pada alat uji kekuatan puntir hasil perancangan kelima spesimen rata-rata berada pada puncak momen tertinggi pada sudut 360° pada putaran ketiga dan benar-benar putus pada sudut 180° pada putaran kelima.

Alat uji hasil standar memiliki kekuatan maksimal pada saat putus pada sudut 110° pada putaran ketiga dengan momen terbaca 3,39 Nm, dan alat uji perancangan memiliki kekuatan maksimal pada saat putus pada 360° pada putaran ketiga dengan momen terbaca 3,56 Nm. Kekuatan maksimal tersebut terdapat selisih sebesar 0,17 Nm atau sebesar 5%.

#### 4.4 Perhitungan Tegangan Geser

Momen puntir yang mengakibatkan terbentuknya beban puntir di permukaan material dan nilainya dihitung menggunakan rumus persamaan tegangan geser sebagai berikut (Jatmiko, 2012).

$$\tau_g = \frac{16.T_{mak}}{\pi.d^3} \dots\dots\dots 4.1$$

Keterangan :

$\tau_g$  = Tegangan geser (MPa)

$T_{mak}$  = Torsi maksimal (Nmm)

16 = Konstanta

$\pi$  = 3.14

$d$  = diameter spesimen(cm)

##### 4.4.1 Tegangan Geser Spesimen Bertakik

###### a. Alat Uji Standar

$$\tau_g = \frac{16.T_{mak}}{\pi.d^3}$$

$$\tau_g = \frac{16 \times 1470 \text{ Nmm}}{3,14 \times 8^3}$$

$$\tau_g = \frac{23570}{1607,68}$$

$$\tau_g = 14,66 \text{ Mpa}$$

## b. Alat Uji Hasil Perancangan

$$\tau_g = \frac{16 \cdot T_{mak}}{\pi \cdot d^3}$$

$$\tau_g = \frac{16 \times 1600 \text{ Nmm}}{3,14 \times 8^3}$$

$$\tau_g = \frac{25600}{1607,68}$$

$$\tau_g = 15,92 \text{ Mpa}$$

Perhitungan menggunakan data hasil dari uji puntir, maka tegangan geser spesimen bertakik yang dapat diketahui adalah :

Tabel 4.4 Hasil Tegangan Geser Spesimen Bertakik

Alat Uji	Sudut	Torsi Maksimal (Nmm)	Tegangan Geser (Mpa)
Standar	40°	1470 Nmm	14,66 Mpa
Perancangan	40°	1600 Nmm	15,92 Mpa

Sumber : Data Primer (2020)

## 4.4.2 Tegangan Geser Spesimen Tanpa Takik

## a. Alat Uji Standar

$$\tau_g = \frac{16 \cdot T_{mak}}{\pi \cdot d^3}$$

$$\tau_g = \frac{16 \times 3390 \text{ Nmm}}{3,14 \times 8^3}$$

$$\tau_g = \frac{54240}{1607,68}$$

$$\tau_g = 33,73 \text{ Mpa}$$

## b. Alat Uji Hasil Perancangan

$$\tau_g = \frac{16 \cdot T_{mak}}{\pi \cdot d^3}$$

$$\tau_g = \frac{16 \times 3560 \text{ Nmm}}{3,14 \times 8^3}$$

$$\tau_g = \frac{56960}{1607,68}$$

$$\tau_g = 35,42 \text{ Mpa}$$

Perhitungan menggunakan data hasil dari uji puntir, maka tegangan geser spesimen tidak bertakik yang dapat diketahui adalah :

Tabel 4.5 Hasil Tegangan Geser Spesimen Tanpa Takik

Alat Uji	Sudut	Torsi Maksimal (Nmm)	Tegangan Geser (Mpa)
Standar	110° putaran ketiga	3390 Nmm	33,73 Mpa
Perancangan	360° putaran ketiga	3560 Nmm	35,42 Mpa

Sumber : Data Primer (2020)

Telah diketahui dari hasil pengujian dan olah data sebelumnya bahwa pengkondisian material dengan pemberian takik sangat berpengaruh terhadap kekuatan material. Analisisnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Kekuatan puntir material ditunjukkan dengan nilai tegangan gesernya.

Hasil perhitungan data didapatkan nilai di bawah ini :

Tabel 4.6 Komparasi Hasil Perhitungan Kekuatan Puntir

Spesimen	Sudut		Kekuatan Puntir (Mpa)	
	Alat Uji Standar	Alat Uji Rancangan	Alat Uji Standar	Alat Uji Rancangan
Bertakik	40°	40°	14,66 Mpa	15,92 Mpa
Tanpa Takik	110° putaran ketiga	360° putaran ketiga	33,73 Mpa	35,42 Mpa

Sumber : Data Primer (2020)

Kondisi material yang diasumsikan cacat dengan diberi takik akan mempercepat terjadinya kegagalan material akibat puntiran.

- b. Melihat sudut puntir maksimum rata-rata pada spesimen tanpa takik sebesar 110° pada putaran ketiga pada alat uji standar dan 360° pada putaran ketiga pada alat uji rancangan, maka dapat disimpulkan bahwa material mempunyai sifat ulet (*ductile*).

#### 4.5 Kelebihan dan Kekurangan Alat Uji

Tabel 4.7 Kelebihan dan Kekurangan Alat Uji

No	Alat Uji	Kelebihan	Kekurangan
1.	Alat Uji Puntir Standar	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Hasil yang didapatkan lebih presisi</li> <li>b. Torsi sesuai untuk baja ST-41</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Motor penggerak kecil</li> <li>b. Penyalur daya terlalu panjang, sehingga memberikan dampak <i>losses</i> tenaga</li> </ul>
2.	Alat Uji Puntir Perancangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Konstruksinya lebih kokoh</li> <li>b. Lebih minim <i>losses</i> tenaga pada penyalur daya, karena jarak antar <i>gearbox</i> dekat</li> <li>c. Motor penggerak besar, serta memiliki daya yang besar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Chart</i> lemah untuk menggenggam permukaan yang halus</li> <li>b. Kurang presisi, karena selisih jarak lengan dengan alat uji standar 5 cm.</li> </ul>

Sumber : Data Primer (2020)



## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan terkait perancangan alat uji kekuatan puntir tipe *rotary* yaitu :

- a. Spesimen yang dibuat dengan bertakik akan lebih cepat mengalami perpatahan daripada spesimen yang dibuat tanpa takik.
- b. Spesimen dari alat uji standar bertakik putus pada sudut  $110^\circ$ , sedangkan alat uji perancangan putus pada sudut  $150^\circ$ . Alat uji standar memiliki momen maksimal 1,47 Nm, dan alat uji perancangan momen maksimal 1,60 Nm. Terdapat selisih sebesar 0,13 Nm atau sebesar 8,8%. Spesimen tanpa takik dari alat uji standar putus pada sudut  $170^\circ$  pada putaran keempat, sedangkan alat uji perancangan putus pada sudut  $180^\circ$  pada putaran kelima. Alat uji standar memiliki momen maksimal 3,39 Nm, dan alat uji perancangan saat putus pada  $360^\circ$  pada putaran ketiga dengan momen maksimal 3,56 Nm. Selisih sebesar 0,17 Nm atau sebesar 5%.
- c. Nilai tegangan geser dari spesimen bertakik alat uji standar adalah sebesar 14,66 Mpa dan menggunakan alat uji hasil perancangan adalah sebesar 15,92 Mpa, sedangkan untuk spesimen tanpa takik alat uji standar adalah sebesar 33,73 Mpa dan alat uji hasil perancangan adalah sebesar 35,42 Mpa. Sudut puntir maksimum rata-rata pada spesimen tanpa takik sebesar  $110^\circ$  pada putaran ketiga pada alat uji standar dan  $360^\circ$  pada putaran ketiga pada alat uji rancangan, maka dapat disimpulkan bahwa material mempunyai sifat ulet (*ductile*).

### 5.2 Saran

Penelitian ini mengusulkan beberapa saran atau masukan yang dapat digunakan sebagai bahan untuk masukan ataupun saran yang bermanfaat :

- a. Ketika dilakukan pembuatan spesimen diusahakan jangan sampai terdapat pemanasan berlebih (*over heat*), dan memperhatikan spesimen pada saat

pengujian, diusahakan jangan sampai *chart* dan spesimen slip, dilihat dari grafik jangan sampai ada kesumbangan.

- b. Perlu adanya penyesuain untuk perancangan alat uji dengan cara memberikan kontur terhadap spesimen yang ada di alat uji hasil perancangan sehingga pencekaman lebih optimal.
- c. Perbedaan angka dalam patahan spesimen dapat diatasi dengan cara memperpendek jarak lengan beban yang ada pada alat uji hasil perancangan, sehingga pengukurannya lebih presisi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, A. dan F.A. Lubis. 2018. *Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine*. Jurnal Ilmiah MEKANIK Teknik Mesin ITM, Vol. 4 No. 2
- Dieter, Gorge E. 1992. *Metalurgi mekanik*, Jilid 1. Edisi ketiga. Ahli bahasa oleh Sriati Djafrie. Jakarta: Erlangga.
- Hutabarat, U.J. dan M.B.H. Sitorus. 2017. *Perancangan Mesin Uji Lelah Baja Poros dengan Pembebanan Puntir Dinamis*. Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol. 06, No. 4
- Gunawan, Eddy. 2017. *Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Rendah (ST-41) Dengan Metode Pack Carbirizing*. Engineering and Sains Journal Vol. 1 No. 2
- Haftirman. 1995. *Fatigue Stregth of Steel in High Humadity Environment*. Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Japan, pp 1174-1184.
- Jatmiko, S. dan S. Jokosisworo. 2012. *Analisis Kekuatan Puntir dan Kekuatan Lentur Putar Poros Baja ST-60 Sebagai Aplikasi Perencanaan Bahan Poros Baling-baling*. Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan Universitas Diponegoro, vol. 5, no. 1, pp. 42-51
- Lisendra, Eldo Oktri. 2015. *Rancang Bangun Alat Penghalus Main Journal Crankshaft (Pembuatan)*. Skripsi. Politeknik Negeri Sriwijaya
- Muharnif dan R. Septiawan. 2018. *Analisa Pengujian Lelah Material Stainless Steel 304 Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine*. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Vol. 1, No. 1
- Mustofa, A., S. Jokosisworo, A. W Budi S. 2018. *Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Lentur Putar dan Kekuatan Puntir Baja ST-41 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Quenching*. Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro Vol. 6, No.1
- Murtiono, Arief. 2012. *Pengaruh Quenching dan Tempering terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*. Jurnal e-Dinamis, Volume II, No.2

- Nugroho, R.P. 2018. *Rancang Bangun Mesin Fatigue Rotary Bending Dengan Pengujian Spesimen Tipe ASTM E-466*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Malang
- Pratowo, B. dan N. Apriansyah. 2016. *Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah SC10 Dengan Tipe Rotary Bending*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung Vol. 2 No. 1
- Reyes, G. and H. Kang. 2007. *Mechanical behavior of lightweight thermoplastic fiber-metal laminates*. Journal of Materials Processing Technology University of Michigan-Dearborn 186 (2007) 284–290
- Setyawan, D., F. Rhozman, A. Mufarrih. 2018. *Pengaruh proses perlakuan panas terhadap penggunaan media pendingin terhadap kekuatan tarik material ST-41*. Jurnal Mesin Nusantara Universitas Nusantara PGRI Kediri, Vol. 1, No. 1
- Sugiarto, T., Zulhanif, dan Sugiyanto. 2013. *Analisis Uji Ketahanan Lelah Baja Karbon Sedang Aisi 1045 Dengan Heat Treatment (Quenching) Dengan Menggunakan Alat Rotary Bending*. JURNAL FEMA Universitas Lampung Vol. 1 No. 3
- Wahab. R., S. Tangkuman, T. Arunpadang. 2017. *Analisis Kelelahan Axle Shaft Truk Isuzu Elf 125 Ps*. Jurnal Online Poros Teknik Mesin Vol. 6 No. 2
- Wahyudi, T.C dan E. Nugroho. 2014. *Hubungan Siklus Putaran Dan Beban Terhadap Kekuatan Bahan Pada Uji Fatik Bending*. TURBO Vol. 3 No. 1 Universitas Muhammadiyah Metro.
- Pratama, A. (2016). *Analisis Kegagalan Water Injection pada Vertical Roller Mill di Finish Mill PT. Holcim Tuban Plant Indonesia*.