



**PENGARUH KEDALAMAN TAKIK ULIR
WHITWORTH TERHADAP KEKUATAN LELAH
PUNTIR DINAMIS PADA BAJA AISI 1010**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

A Hasan Atho'ullah

NIM.5201414065

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : A Hasan Atho'ullah

NIM : 5201414065

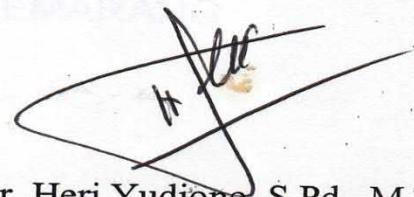
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Kedalaman Takik Ulir *Whitworth* Terhadap Kekuatan
Lelah Puntir Dinamis Pada Baja AISI 1010

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian
Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Negeri Semarang

Semarang, 15 Januari 2019

Dosen Pembimbing



Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T.

NIP. 196511051991021001

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh Kedalaman Takik Ulir *Whitworth* Terhadap Kekuatan Lelah Puntir Dinamis Pada Baja AISI 1010” telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 22 Bulan Januari Tahun 2019

Oleh

Nama : A Hasan Atho'ullah
NIM : 5201414065
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S. T., M.T., IPP
NIP.197509272006041002

Penguji 1



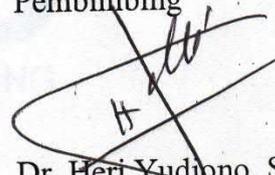
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Penguji 2



Drs. Sunyoto, M.Si.
NIP. 196511051991021001

Pembimbing



Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M.T.
NIP. 196707261993031003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T.

NIP. 196911301994031001

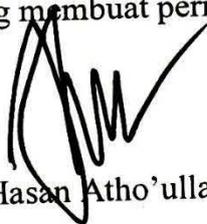
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan /atau doktor) baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 2 Januari 2019

Yang membuat pernyataan,


A Hasan Atho'ullah

NIM. 5201414065

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

1. Tidak semua usaha akan sukses, tapi tidak ada sukses tanpa usaha
2. Tidak ada harta yang lebih berharga daripada keluarga.
3. Berpikir kedepan adalah cara terbaik untuk menang tanpa harus berperang.

Persembahan

Karya ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda saya, bapak Junaidi dan ibunda saya, ibu Nurhidayati yang selalu memotivasi dan mendoakan saya tiada henti.
2. Adik saya, Maznah Athi'yaturrahma dan Damrah Afdharullrahman yang selalu menyemangati dan mendoakan tiada henti.
3. Keluarga besar yang selalu memotivasi.
4. Teman-teman teknik mesin, terutama Pendidikan Teknik Mesin 2014 seperjuangan yang selalu menemani dan memberi dukungan.

RINGKASAN

Atho'ullah, A Hasan. 2018. Pengaruh Kedalaman Takik Ulir *Whitworth* Terhadap Kekuatan Lelah Puntir Dinamis Pada Baja AISI 1010. Heri Yudiono. Pendidikan Teknik Mesin.

Fenomena kegagalan lelah sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kedalaman takik ulir *whitworth* terhadap kekuatan lelah pada baja AISI 1010.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan menggunakan teknik analisis deskriptif, yang bertujuan untuk mengetahui sebab dan akibat yang muncul dari perlakuan yang diberikan. Perlakuan yang diberikan dalam penelitian adalah kedalaman takik ulir *whitworth* sedalam 0.67 mm, 0.81 mm, 0.9 mm dan 1.16 mm. Kemudian dilakukan uji komposisi kimia *raw materials*, foto mikro *raw materials*, pengujian puntir dinamis dan foto makro.

Hasil pengujian komposisi kimia didapat kandungan carbon sebesar 0.12%. Pada pengamatan struktur mikro, terdapat dua fasa utama, yaitu ferrit dan perlit dimana ferrit lebih dominan. Hasil pengujian puntir menunjukkan bahwa kedalaman ulir 0.67 mm memiliki kekautan lelah tertinggi sebesar 21.986 siklus dan kedalaman takik ulir 1.16 mm memiliki kekuatan lelah terendah sebesar 6.037 siklus. Pengamatan makro pada bentuk penampang menunjukkan bahwa semua penampang mengalami patahan lelah yang ditandai dengan adanya patah awal, beachmarks dan patah akhir. Simpulan dari penelitian ini adalah kedalaman takik ulir *whitworth* berpengaruh terhadap kekuatan lelah pada baja AISI 1010 dan bentuk penampang patah keseleuruhan spesimen sama dengan menunjukkan patah lelah.

Kata Kunci : *Ulir Whitworth, Puntir Dinamis, Struktur Mikro, Patah Lelah*

PRAKATA

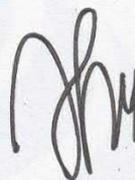
Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Kedalaman Takik Ulir *Whitworth* Terhadap Kekuatan Lelah Puntir Dinamis Baja AISI 1010”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam dihaturkan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan syafaat-Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian Skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M. T., Dekan Fakultas Teknik.
2. Rusiyanto, S. Pd., M. T., Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin.
3. Dr. Heri Yudiono, S.Pd., M. T., Dosen Pembimbing.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT UNNES.
5. Teman-teman PTM 2014 khususnya rombel 2.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat dan membantu kelancaran penelitian yang akan dilaksanakan.

Se.narang, 2 Januari 2019



penulis

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN KELULUSAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Tujuan Penelitian	6
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1 Kajian Pustaka	8
2.2 Ladasan Teori	10
BAB III METODE PENELITIAN	37

3.1 Desain Penelitian	37
3.2 Alat dan Bahan.....	37
3.3 Parameter Penelitian	40
3.4 Dimensi Benda Uji	41
3.5 Alur Penelitian	46
3.6 Cara Penelitian.....	47
3.7 Teknik Pengumpulan Data.....	49
3.8 Teknik Analisa Data	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Hasil Penelitian	51
4.2 Pembahasan Penelitian.....	58
BAB V PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN-LAMPIRAN	70

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kesesuaian Antara Kandungan Karbon dengan Suhu Pemanasan	36
Tabel 2. Lembar Pengambilan Data.....	49
Tabel 3. Hasil Pengujian Komposisi <i>Raw Materials</i>	51
Tabel 4. Hasil Pengambilan Data Pengujian Puntir Dinamis	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ulir Pada Baut	15
Gambar 2. Dongkrak Ulir Mekanis	16
Gambar 3. Ulir Tunggal dan Ulir Ganda	16
Gambar 4. Ulir <i>Metris</i> dan Ulir <i>Whitworth</i>	18
Gambar 5. Ulir Tabel Standarisasi Ulir <i>Whitworth</i>	18
Gambar 6. Ulir Segiempat	19
Gambar 7. Ulir Trapesium	19
Gambar 8. Benda Uji Pada Pengujian Puntir Dinamis	21
Gambar 9. Diagram Momen Puntir-Sudut Puntir Dinamis	22
Gambar 10. Jenis Patahan Pada Pengujian Puntir Dinamis	23
Gambar 11. Proses <i>Ductile Fracture</i>	25
Gambar 12. Bentuk Patahan <i>Cup and Cone Fracture</i>	26
Gambar 13. <i>Ductile Fracture</i> Dengan Metode <i>Fractographic</i>	26
Gambar 14. Awal Mula <i>Crack</i>	27
Gambar 15. Karakteristik <i>Brittle Fracture</i>	27
Gambar 16. Variasi Tegangan Penyebab Kelelahan	29
Gambar 17. Permukaan Patah Akibat Kelelahan.....	30
Gambar 18. Lapisan Permukaan Setelah <i>Case Hardening</i>	31
Gambar 19. Desain Komponen Meningkatkan <i>Limit Fatigue</i>	32
Gambar 20. Geometris Kristal	33
Gambar 21. Diagram Fasa Baja	33
Gambar 22. Fasa <i>Ferrite</i>	34

Gambar 23. Fasa <i>Pearlite</i>	35
Gambar 24. Mesin Puntir Statis-Dinamis	38
Gambar 25. Mesin Bubut Konvensional.....	38
Gambar 26. Mesin Frais Konvensional.....	38
Gambar 27. Mesin Gergaji.....	39
Gambar 28. Kunci <i>Chuck</i>	39
Gambar 29. Perlengkapan Pendukung	39
Gambar 30. Potongan Baja AISI 1010.....	40
Gambar 31. Desain dan Spesimen Uji Fisis.....	41
Gambar 32. Desain dan Spesimen dengan Kedalaman Ulir 0.67 mm.....	42
Gambar 33. Desain dan Spesimen dengan Kedalaman Ulir 0.81 mm.....	43
Gambar 34. Desain dan Spesimen dengan Kedalaman Ulir 0.9 mm.....	44
Gambar 35. Desain dan Spesimen dengan Kedalaman Ulir 1.16 mm.....	45
Gambar 36. Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 37. Diagram Analisa Data	50
Gambar 38. Hasil Foto Mikro <i>Raw Material</i>	54
Gambar 39. Grafik Rata-rata Kekuatan Lelah	56
Gambar 40. Patahan Penampang Kedalaman 0.67 mm dan 0.81 mm.....	57
Gambar 41. Patahan Penampang Kedalaman 0.9 mm dan 1.16 mm.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing.....	70
Lampiran 2. Persetujuan Seminar Proposal	71
Lampiran 3. Surat Tugas Penguji Seminar Proposal	72
Lampiran 4. Surat Izin Penelitian.....	73
Lampiran 5. Hasil Uji Komposisi <i>Raw Material</i>	74
Lampiran 6. Tabel Hasil Pengambilan Data Seluruh Spesimen	75
Lampiran 7. Hasil Foto Makro.....	76
Lampiran 8. Foto <i>Counter</i> Siklus Semua Spesimen	78
Lampiran 9. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Spesimen Tanpa Ulir	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan sudah menjadi bagian dari kehidupan manusia, mulai dari zaman batu hingga zaman modern. Bahan yang paling sering digunakan dalam berbagai macam keperluan, terutama dalam bidang teknik seperti industri dan konstruksi adalah baja. Baja sering digunakan karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan keuletan yang baik (Hutabarat dan Sitorus, 2017). Kelebihan lainnya adalah baja memiliki sifat mampu bentuk yang baik dan sifat-sifat mekaniknya mampu diperbaiki melalui perlakuan panas (*heat treatment*).

Proses pengolahan bahan semakin maju seiring dengan meningkatnya kebutuhan dan tuntutan untuk menghasilkan komponen yang diinginkan. Saya perlu untuk mengetahui sifat-sifat dari bahan untuk proses pembuatan komponen yang diinginkan. Sifat-sifat bahan yang perlu diketahui misalnya kekuatan lelah, kekuatan tarik, kekerasan dan lain sebagainya. Semakin bagus sifat dari bahan tersebut, maka komponen yang dihasilkan akan semakin bagus dan awet. Data tentang kekuatan tarik, kekuatan lelah dan sebagainya saya dapatkan melalui pengujian. Terdapat berbagai macam pengujian untuk mendapatkan data yang diinginkan seperti, pengujian puntir, pengujian tarik, pengujian tekan, pengujian kekerasan dan lain sebagainya.

Data yang dimiliki melalui pengujian tidak menjamin komponen bebas dari kegagalan. Kegagalan komponen ini terjadi karena dalam proses desainnya

menggunakan data dengan tegangan statis. Kenyataan yang sering terjadi di lapangan adalah tegangan yang berfluktuasi. Tegangan berfluktuasi ini disebabkan oleh getaran dimana semakin tinggi getaran, waktu putus semakin cepat (Chesnic dan Slavic, 2014), konsentrasi tegangan dimana semakin tinggi konsentrasi tegangan, Kekuatan lelah semakin menurun (Agrawal, *et al.*, 2014) dan perubahan temperatur dimana semakin tinggi temperatur, kekuatan lelah semakin menurun (Hussain dan Nuawi, 2016). Tegangan ini terjadi terus-menerus hingga membentuk siklus. Tegangan-tegangan fluktuasi ini besarnya lebih kecil dari tegangan maksimum ataupun tegangan luluh (*yield*) komponen yang diberikan beban konstan, tapi karena terjadi dalam periode yang lama dan berbentuk siklus, komponen akan mengalami kegagalan (*failure*). Proses dimana tegangan terjadi hingga komponen mengalami kegagalan (*failure*) disebut dengan kelelahan (*fatigue*).

Awal mula dari kelelahan adalah permulaan retak (*initiation crack*) yang terjadi di daerah konsentrasi tegangan atau permukaan (Kuroda, *et al.*) yang lemah seperti goresan, kekasaran permukaan, cacat material dan sebagainya. Kemudian retakan menyebar menjadi *microcracks*, berkembang menjadi *macrocracks* dan akhirnya patah (*fracture*). Sebagian besar kegagalan tidak terdeteksi, sehingga menyebabkan patahan pada komponen secara tiba-tiba. Kelelahan (*fatigue*) menjadi salah satu penyebab paling sering yang membuat komponen mengalami kegagalan (*failure*).

Contoh komponen yang dapat mengalami kegagalan adalah baut. Baut berfungsi untuk menggabungkan komponen-komponen agar menjadi satu-

kesatuan. Baut sering saya jumpai di kendaraan-kendaraan bermotor, pesawat, produk telekomunikasi dan lain sebagainya. Ulir menjadi hal yang penting dalam baut. Jenis ulir yang digunakan sebagai penyambung umumnya memiliki bentuk penampang segitiga. Ulir berpenampang segitiga ada 2 jenis, yaitu *metris* dan *whitworth*. Perbedaan kedua jenis ulir ini terletak pada sudutnya. Ulir *metris* memiliki sudut 60 derajat sedangkan *whitworth* memiliki sudut 55 derajat. Perbedaan lain dari kedua ulir ini terletak di satuannya. Ulir *metris* menggunakan satuan milimeter (mm), sedangkan ulir *whitworth* menggunakan satuan inchi. Keberadaan ulir ini sangat mempengaruhi kekuatan dari baut tersebut. Kedua jenis ulir ini memiliki bentuk takik V, artinya memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi. Semakin tinggi nilai konsentrasi tegangan, maka laju retakan akan semakin tinggi. Keadaan tersebut dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Subarmono dan Sinta (2014).

Baut dapat mengalami kegagalan (*failure*) dalam fungsinya. Kegagalan yang sering dijumpai adalah ketika motor di-*service*, mesin-mesin kapal atau pabrik di-*maintenance* dan mesin-mesin pesawat yang di-*repair*. Baut akan dibuka-tutup untuk mengecek komponen-komponen mesin yang di-*treatment*. Proses buka-tutup tersebut mengakibatkan baut mengalami pemuntiran secara dinamis. Proses ini terjadi secara terus-menerus hingga menjadi siklus. Siklus ini sangat mungkin menyebabkan baut patah.

Penyebab patahnya baut memiliki beberapa kemungkinan. Kemungkinan yang pertama adalah ukuran *pitch* dari ulir baut yang tidak sesuai standar. Ukuran dari *pitch* tersebut lebih panjang atau lebih pendek dari seharusnya. Akibat dari

tidak sesuai standar, *pitch* antar baut dan pasangannya tidak pas dan ini mempengaruhi kontak antar baut dan pasangannya sehingga menyebabkan kegagalan (Chen, *et al.*, 2015). Kemungkinan yang kedua adalah kekuatan lelah puntir dinamis baut akan berbeda dari seharusnya sehingga baut akan lebih mudah untuk mengalami kegagalan. Perbedaan kekuatan lelah puntir dinamis tersebut mungkin disebabkan oleh kedalaman dari takik ulir yang tidak sesuai standar. Kedalaman dari takik ulir tersebut mungkin lebih dalam atau lebih dangkal dari standar.

Patah dimulai pada permukaan baut yang lama-kelamaan semakin kasar sehingga tercipta retakan awal. Proses ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alang, *et al.* (2011) yang berkesimpulan bahwa semakin kasar permukaan, maka kemungkinan retak awal semakin tinggi dan dapat terjadi dimanapun karena bersamaan dengan peningkatan kekuatan pada titik *crack*. Baut akan mengalami kegagalan (*failure*) karena kelelahan (*fatigue*). Kegagalan baut tersebut terjadi ketika baut tersebut dikencangkan atau dilepaskan setelah komponen beberapa kali di-*service* atau di-*repair*. Kegagalan tersebut berupa patahan (*fracture*) baut di daerah ulir. Kegagalan baut bahkan bisa lebih cepat ketika baut dipasang terlalu kencang atau longgar ketika komponen sudah beberapa kali di-*service* atau di-*repair*.

Patahan (*fracture*) terjadi di daerah takik ulir karena di daerah tersebut konsentrasi tegangan meningkat, sehingga tegangan maksimum yang berkerja pada komponen juga meningkat. Keadaan tersebut membuat komponen mengalami

kelelahan dan akhirnya gagal. Kelelahan tersebut berkaitan dengan kekuatan lelah puntir dinamis.

Berdasarkan uraian di atas, disimpulkan bahwa variasi kedalaman takik ulir akan menghasilkan konsentrasi tegangan yang bervariasi juga. Keadaan ini tentu mempengaruhi kekuatan lelah puntir dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada “Pengaruh kedalaman takik ulir *whitworth* terhadap kekuatan uji puntir dinamis baja AISI 1010”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah berupa:

- 1) Kedalaman takik ulir berpotensi mempengaruhi kekuatan lelah puntir dinamis.
- 2) Daerah takik ulir berpotensi terjadinya *fracture*.
- 3) Kegagalan lelah umumnya tidak begitu jelas sehingga dapat terjadi secara tiba-tiba.
- 4) Pengujian puntir dinamis masih jarang diteliti.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah variasi kedalaman takik ulir *whitworth*, yaitu

- 1) Spesimen tidak diberikan *heat treatment*,
- 2) Pembahasan akan berfokus terhadap takik ulir dengan analisis data menggunakan diagram batang.

- 3) Bahan yang digunakan untuk pembuatan ulir adalah baja AISI 1010,
- 4) Spesimen Standar adalah spesimen dengan kedalaman takik ulir 0,9 mm sedangkan Spesimen eksperimen adalah spesimen dengan kedalaman 0,67 mm, 0,81 mm dan 1,16 mm.
- 5) Besar sudut puntir yang digunakan adalah 5 derajat.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh kedalaman takik ulir *whitworth* terhadap kekuatan lelah puntir dinamis pada baja AISI 1010 ?
- 2) Bagaimana bentuk patahan penampang dari spesimen uji akibat variasi kedalaman takik ulir *whitworth* pada uji puntir dinamis ?

1.5 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Untuk mengetahui pengaruh kedalaman takik ulir *whitworth* terhadap kekuatan lelah puntir dinamis pada baja AISI 1010,
- 2) Untuk mengetahui bentuk penampang patah spesimen uji akibat variasi kedalaman takik ulir *whitworth* pada uji puntir dinamis.

1.6 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

A. Manfaat Teoritis:

- 1) Sebagai ilmu pengetahuan untuk akademisi, praktisi dan pihak terkait mengenai pengaruh kedalaman takik ulir *whitworth* terhadap pengujian puntir dinamis,
- 2) Sebagai literatur untuk penelitian sejenis.

B. Manfaat Praktis:

- 1) Data yang didapat dari penelitian ini dapat dipertimbangkan oleh pihak terkait dalam perencanaan komponen yang menggunakan ulir *whitworth*,

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan Yudiono (2009) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian takik ulir *metris* terhadap kekuatan lelah pada baja karbon rendah. Variasi kedalaman takik ulirnya adalah 0,33 mm, 0,67 mm dan 1 mm. Penelitian ini berkesimpulan bahwa penurunan kekuatan selaras dengan kedalaman dari takik ulir yang diberikan kepada spesimen itu sendiri. Tegangan maksimal yang dialami oleh material meningkat selaras dengan konsentrasi tegangan yang dipengaruhi oleh takik ulir. Keadaan ini bertolak belakang dengan spesimen yang tidak diberi ulir sehingga tegangan yang terjadi adalah tegangan normal. Kekuatan lelah spesimen tanpa ulir lebih tinggi dari pada spesimen yang diberi ulir.

Rujukan penelitian yang kedua yang dilakukan oleh Jatmiko dan Jokosisworo (2008). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah baja ST 45 cocok digunakan untuk sebagai bahan untuk pembuatan poros baling-baling kapal sesuai standar dari BKI. Hasil dari penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Yudiono (2009) yang yaitu Kekuatan Puntir dari material akan turun ketika material tersebut memiliki takik. Hasil penelitian lainnya adalah

1. Konsentrasi tegangan akan berpusat di daerah takik,
2. Material uji (Baja ST 45) dalam uji puntir memiliki sifat ulet,

3. Beban sudut yang dapat diterima oleh spesimen tanpa ulir, 34 kali lebih besar dari pada spesimen bertakik,
4. Pola patahan yang terjadi pada spesimen bertakik lebih kasar dan pendek, sedangkan pola patahan pada spesimen yang tanpa takik lebih halus dan memanjang,
5. Besar sudut dan konsentrasi tegangan adalah penyebab terjadinya pola patahan.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Arola dan Wiliams (2002) tentang pengaruh bentuk permukaan terhadap umur kelelahan pada baja paduan rendah. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya kekasaran dari permukaan akan mempengaruhi kekuatan lelah material. Semakin kasar permukaan dari spesimen. Keadaan ini disebabkan oleh konsentrasi tegangan yang bekerja pada permukaan spesimen. Kemunculan retak akan semakin meningkat jika konsentrasi tegangan meningkat. Retakan yang timbul akan terus merambat ketika spesimen masih mendapat tegangan mengakibatkan retak tersebut menjadi besar hingga akhirnya spesimen akan patah.

Rujukan penelitian selanjutnya dilakukan oleh Magga (2010) yang untuk mempelajari efek dari sudut puntir terhadap tegangan dan regangan pada baja dan kuningan. Hasil dari penelitian ini adalah tegangan geser maksimum yang dialami oleh kuningan lebih kecil dari pada baja. Penyebabnya adalah molekul baja lebih padat dan rapat dibandingkan dengan molekul kuningan sehingga gaya antar molekul lebih besar. Hasil lain yang didapat dari penelitian ini adalah semakin besar sudut puntirnya, maka semakin besar tegangan yang terjadi. Penyebabnya adalah sudut puntir mempengaruhi gaya – gaya antar molekul yang bergabung melawan gaya

dari puntir. Sudut puntir yang semakin besar mengakibatkan gaya-gaya antar molekul juga semakin besar hingga ketika mencapai batas dan kemudian patah. Keadaan ini diperkuat penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jatmiko (2008) dengan variasi sudut dengan spesimen bertakik dan tidak bertakik.

Penelitian-penelitian yang telah dilaksanakan di atas, belum dijumpai penelitian yang berkaitan dengan ulir *whitworth*. Jenis ulir ini memiliki bentuk takik V sehingga memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi dari pada bentuk U. Keadaan tersebut dibuktikan oleh penelitian Widyanto dan Jamasri (2001). Penelitian tentang ulir *whitwoirth* sangat menarik untuk diteliti mengingat jenis ulir ini sering digunakan selain ulir metris. Data penelitian ini nantinya dapat digunakan dalam beberapa hal, misalnya untuk studi literatur dan peracancangan dalam pembuatan komponen seperti baut dan pipa.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Jenis Jenis Baja

1. Baja Karbon

Baja adalah logam campuran dimana besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Unsur karbon memiliki kadar yang bervariasi didalam baja. Unsur karbon dalam baja berkisar 0,2% hingga 2,1%. Baja dapat dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan kadar unsur karbonnya. Berikut pembagian jenis baja berdasarkan kadar karbonnya:

a. Baja karbon ringan

Kadar karbon pada jenis ini kurang dari 0,3%. Baja karbon ringan memiliki keuletan yang tinggi serta ketangguhan yang baik. Kekurangan jenis baja ini adalah ketahanan aus dan kekerasan yang rendah. Jenis baja ini dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti pembuatan bodi mobil, kerangka bangunan dan lain sebagainya.

b. Baja karbon sedang

Kadar karbon pada jenis ini berkisar 0,3% hingga 0,6%. Komposisi kadar karbon tersebut membuat jenis baja ini memiliki kekerasan dan sifat mekanis yang lebih baik dari pada baja karbon rendah. Jenis baja ini juga dapat diperbaiki sifatnya melalui *heat treatment*. Jenis baja ini dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti bahan dalam pembuatan poros, roda gigi dan komponen mesin lainnya.

c. Baja karbon tinggi

Kadar karbon pada jenis ini berkisar 0.6% hingga 2,1 %. Komposisi kadar karbon tersebut membuat jenis baja ini memiliki kekerasan dan kekuatan tariknya lebih baik dari jenis karbon sebelumnya. Baja jenis ini juga memiliki ketahanan panas yang tinggi. Kekurangan dari baja ini yaitu keuletannya yang rendah sehingga baja ini lebih getas. Baja ini juga jika diberi perlakuan panas tidak akan optimal karena struktur mikronya berupa martensit yang tinggi. Baja jenis ini dimanfaatkan untuk membuat alat-alat seperti gergaji, palu dan sebagainya.

Unsur karbon dalam baja sangat menentukan sifat-sifat dari baja. Unsur karbon akan memperkeras baja dengan mencegah dislokasi. Baja juga memiliki

unsur pembentuknya lainnya seperti mangan, khrom dan sebagainya. Unsur-unsur ini juga mempengaruhi sifat-sifat yang dimiliki oleh baja tersebut.

2. Baja Paduan

Baja paduan adalah baja yang mengandung unsur lainnya. Baja jenis ini memiliki kesamaan dengan baja karbon, namun sifatnya tidak hanya dipengaruhi oleh unsur karbon saja. Unsur lainpun dapat mempengaruhi. Baja Paduan mempunyai jenis sebagai berikut:

a. Baja Paduan Rendah

Baja jenis ini memiliki kadar karbon yang hampir sama dengan baja karbon rendah, namun kadar unsur paduannya lebih tinggi atau setara dengan unsur karbon. Penambahan unsur paduan berfungsi untuk meningkatkan sifat dari baja tersebut seperti ketahanan aus, tahan karat dan kekuatan fatik tanpa mengurangi keuletan dari baja tersebut.

b. Baja Paduan Tinggi

Baja ini lebih mudah dibentuk dari pada baja jenis lain karena kadar karbon dari baja ini termasuk rendah sehingga memiliki sifat yang lebih lunak dan liat. Baja ini juga lebih kuat terhadap korosi dan memiliki sifat mekanis yang lebih tinggi.

Berikut adalah unsur-unsur paduan yang sering ditambahkan pada baja untuk mempengaruhi sifat baja :

1. Mangan

Kadar mangan dalam baja dapat mencapai hingga 0,8%. Karakter khas dari mangan adalah strukturnya yang berserat. Struktur yang berserat ini terjadi karena kemampuan reaksi yang tinggi mangan dengan nonmetalik hingga menjadi MnO ,

MnS. Mangan terdapat dalam setiap baja meskipun kadarnya kecil, namun bisa dikatakan sebagai unsur paduan jika kadar mangan dalam baja lebih dari 0,6%. Mangan memiliki pengaruh baik untuk baja, seperti meningkatkan kekerasan, kekuatan dan ketahanan aus. Dampak negatif dari mangan adalah menurunkan kemampuan dalam pembentukan serpih.

2. Khrom

Pengaruh utama khrom untuk baja adalah meningkatkan ketahanan korosi. Khromium dan mangan hampir memiliki kesamaan dalam pembentukan sifat baja seperti meningkatkan kekerasan, kemampuan untuk dikeraskan dan tahan terhadap suhu tinggi. Baja dengan kandungan krom yang tinggi adalah *stainless steel*. Baja ini memiliki banyak keuntungan sebagai bahan dalam pembuatan komponen karena memadukan antara kekuatan, keuletan, keindahan dan mampu bentuk yang baik (Baddo, 2008).

3. Silikon

Unsur Silikon berfungsi sebagai deoksider dalam pembuatan baja. Unsur silikon juga dapat meningkatkan ketangguhan baja. Silikon juga meningkatkan kekuatan ferit.

4. Nikel

Unsur silikon dapat meningkatkan kekuatan baja karena kekuatan ferit meningkat. Unsur nikel juga dapat mengurangi retak dan distorsi pada proses *heat treatment*.

Baja sering digunakan sebagai bahan dalam pembuatan komponen-komponen mesin karena sifat-sifatnya seperti kekuatan tinggi, kekerasan, mampu

bentuk dan ketahanan aus. Kekuatan baja lebih tinggi dari bahan-bahan lainnya dan baja juga memiliki sifat mekanik yang dapat ditingkatkan melalui *heat treatment*.

2.2.2 Ulir

Ulir adalah garis yang memutar benda berbentuk silinder yang memiliki sudut kemiringan tertentu. Sistem ulir dasarnya adalah untuk menyambungkan dua komponen menjadi satu kesatuan. Selama perkembangannya, hal yang terpenting adalah standar dari ulir itu sendiri. Pada awal penemuannya, tidak ada standar ulir sehingga permasalahan seperti tidak cocok saat digabungkan dan lain sebagainya sering dijumpai. Solusi dari permasalahan tersebut waktu itu dengan dibuatnya standar internasional (ISO) dengan perbaikan sistem ulir agar didapat komponen-komponen berulir yang dapat digunakan dimana saja dan dapat diproduksi massal sehingga mendukung kemajuan teknologi industri.

1. Fungsi Ulir

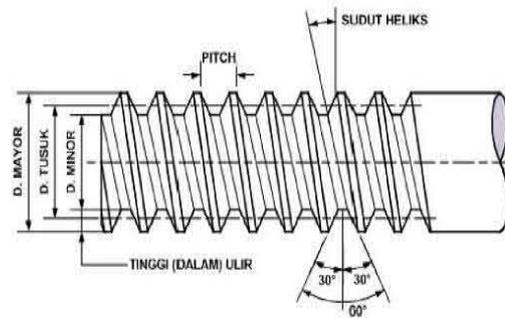
Ulir memiliki banyak fungsi dalam penggunaannya. Berikut adalah fungsi umum dari ulir:

a. Sebagai Alat Pemersatu

Fungsi ini merupakan dasar dan fungsi paling umum dari ulir. Fungsi ini biasanya ditemukan pada mur dan baut. Penggunaan mur dan baut masih umum digunakan karena relatif lebih aman, mudah dipasang dan bisa dibongkar lagi. Keadaan ini sangat membantu ketika unit atau salah satu komponen akan di perbaiki atau dirawat.

Berikut istilah penting ulir yang terdapat pada baut yang sering dijumpai meliputi:

- 1) Diameter besar adalah diameter terbesar dari baut tersebut,
- 2) Diameter kecil adalah diameter terkecil dari baut tersebut,
- 3) *Pitch* adalah jarak antara puncak ulir yang berdekatan.

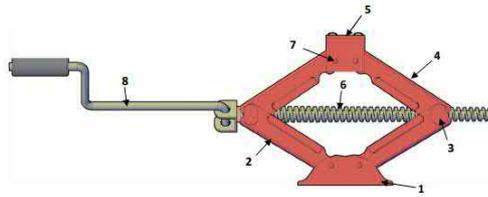


Gambar 1. Ulir Pada Baut

b. Sebagai Penerus Daya.

Ulir juga dapat digunakan untuk memindahkan suatu daya menjadi daya lainnya. Jenis ulir yang sering digunakan adalah ulir trapesium. Hal ini disebabkan karena ulir trapesium lebih kuat terhadap tegangan geser dan lebih mudah dalam pembuatannya dari pada ulir segi empat atau sejenis.

Ulir yang berfungsi meneruskan gaya bisa saya jumpai di dongkrak ulir mekanis. Dongkrak ulir mekanis adalah contoh dari pesawat sederhana. Alat ini bisa mengangkat beban hingga 1-6 ton. Prinsip kerja benda ini berkaitan dengan fungsi ulir sebagai penerus daya. Ketika *handle* diputar searah jarum jam, maka poros ulir juga ikut berputar. Daya yang diberikan pada *handle* diteruskan oleh ulir ke lengan dongkrak melalui *nuts*, maka dongkrakpun bertambah tinggi sehingga beban dapat terangkat menyesuaikan ketinggian dongkrak itu sendiri.



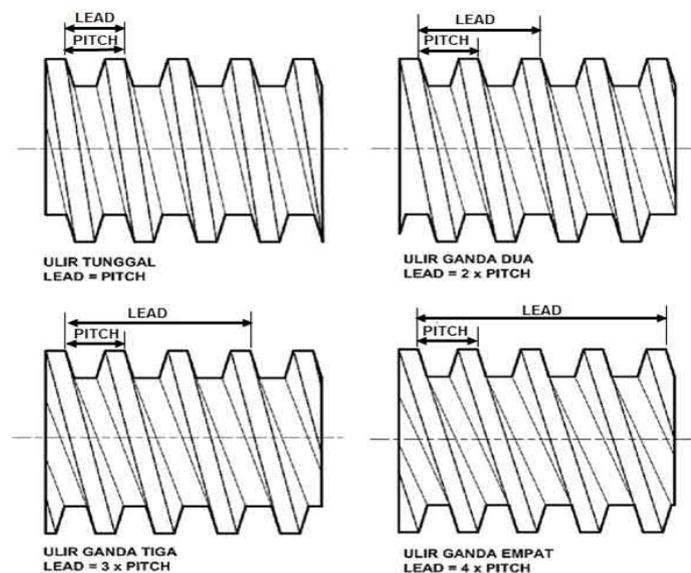
Gambar 2. Dongkrak Ulir Mekanis

2. Jenis-jenis Ulir

Ulir memiliki banyak jenis berdasarkan geometrinya. Berikut adalah fungsi umum dari ulir:

a. Jumlah Ulir Tiap *Pitch*

Ulir jenis ini dibagi menjadi 2 macam. Ulir tunggal dan ulir ganda. Ulir tunggal adalah ulir yang 1 kali putaran sama dengan 1 *pitch*nya sedangkan ulir ganda dalam 1 putarannya lebih dari 1 *pitch*, Bisa 2, 3 atau lebih.



Gambar 3. Ulir Tunggal dan Ulir Ganda

Ulir ganda biasanya disebut ulir ganda dua, ulir ganda tiga (berdasarkan jumlah ulirnya dalam 1 putaran). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa dalam

1 kali putaran, ulir ganda memiliki jarak yang lebih jauh dalam 1 putaran dari pada ulir tunggal.

b. Arah Gerakan Ulir

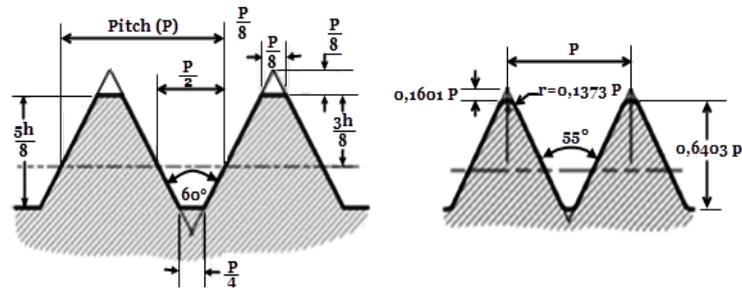
Ulir jenis ini dibagi menjadi 2 macam, yaitu ulir kanan dan ulir kiri. Ulir kanan ataupun ulir kiri dapat dibedakan berdasarkan arah kemiringan sudut sisi ulir. Cara lain untuk mengetahuinya adalah dengan mengeceknya langsung. Saya dapat memperhatikan pasangan yang berulir ketika diputar seperti baut dan mur. Ketika gerakan mur searah jarum jam, maka ulir tersebut adalah ulir kanan, sedangkan jika arah gerakannya sebaliknya, maka ulir tersebut adalah ulir kiri. Ulir kanan lebih sering digunakan daripada ulir kiri.

c. Jenis Ulir Menurut Bentuk Sisi

Ulir segitiga, ulir segiempat dan lainnya merupakan contoh dari jenis ulir berdasarkan bentuk sisinya.

1. Ulir Segitiga

Ulir *metris* dan ulir *whitworth* adalah jenis ulir yang paling sering dijumpai pada jenis ulir segitiga. Ulir *whitworth* memiliki sudut puncak sebesar 55 derajat sedangkan ulir *metris* memiliki sudut puncak sebesar 60 derajat. Ulir segitiga memiliki bentuk takik V, yang artinya memiliki konsentrasi lebih tinggi dari bentuk takik U. Bentuk takik V memiliki kekuatan lelah lebih rendah dari pada bentuk U karena bentuk permukaannya lebih tajam, sehingga perambatan dari retak akan semakin cepat dan berpengaruh kepada kekuatan lelahnya. Keadaan ini dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Widyanto dan Jamasri (2001).



Gambar 4. Ulir *Metris* dan Ulir *Whitworth*

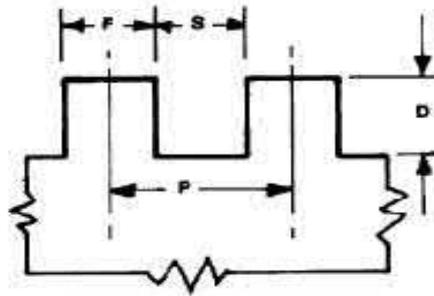
BSW - BRITISH STANDARD WHITWORTH THREADS - BS 84:1956								
ANGLE OF THREAD SIDES IS 55 DEGREES								
NOMINAL DIAMETER	THREAD	BOLT DIAMETERS						
SIZE	THREADS PER INCH (TPI)	DEPTH OF THREAD (H)	MAJOR DIAMETER (D) (inches)	EFFECTIVE DIAMETER (D2) (inches)	MINOR DIAMETER (D1)	PITCH (P) (inches)	ROOT RADIUS (r) (inches)	TAPPING DRILL SIZE (mm)
1/8	40	0.0160	0.1250	0.1090	0.0903	0.0250	0.0034	2.55
3/16	24	0.0267	0.1875	0.1608	0.1341	0.0417	0.0057	3.70
1/4	20	0.0320	0.2500	0.2180	0.1860	0.0500	0.0069	5.10
5/16	18	0.0356	0.3125	0.2769	0.2413	0.0556	0.0076	6.50
3/8	16	0.0400	0.3750	0.3350	0.2950	0.0625	0.0086	7.90
7/16	14	0.0457	0.4375	0.3918	0.3461	0.0714	0.0098	9.30
1/2	12	0.0534	0.5000	0.4466	0.3932	0.0833	0.0114	10.50
9/16	12	0.0534	0.5625	0.5091	0.4557	0.0833	0.0114	12.10
5/8	11	0.0582	0.6250	0.5668	0.5086	0.0909	0.0125	13.50
11/16	11	0.0582	0.6875	0.6293	0.5711	0.0909	0.0125	15.00
3/4	10	0.0640	0.7500	0.6860	0.6220	0.1000	0.0137	16.25
7/8	9	0.0711	0.8750	0.8039	0.7328	0.1111	0.0153	19.25
1	8	0.0800	1.0000	0.9200	0.8400	0.1250	0.0172	22.00
1 - 1/8	7	0.0915	1.1250	1.0335	0.9420	0.1429	0.0196	24.75
1 - 1/4	7	0.0915	1.2500	1.1585	1.0670	0.1429	0.0196	28.00
1 - 1/2	6	0.1067	1.5000	1.3933	1.2866	0.1667	0.0229	33.50
1 - 3/4	5	0.1281	1.7500	1.6219	1.4938	0.2000	0.0275	39.00
2	4.5	0.1423	2.0000	1.8577	1.7154	0.2222	0.0305	44.50
2 - 1/4	4	0.1601	2.2500	2.0899	1.9298	0.2500	0.0343	50.00
2 - 1/2	4	0.1601	2.5000	2.3399	2.1798	0.2500	0.0343	56.50
2 - 3/4	3.5	0.1830	2.7500	2.5670	2.3840	0.2857	0.0392	61.75
3	3.5	0.1830	3.0000	2.8170	2.6340	0.2857	0.0392	68.25
3 - 1/4	3.25	0.1970	3.2500	3.0530	2.8560	0.3077	0.0423	74.00
3 - 1/2	3.25	0.1970	3.5000	3.3030	3.1060	0.3077	0.0423	80.50
3 - 3/4	3	0.2134	3.7500	3.5366	3.3232	0.3333	0.0458	86.25
4	3	0.2134	4.0000	3.7866	3.5732	0.3333	0.0458	92.75
4 - 1/2	2.875	0.2227	4.2500	4.0530	3.8460	0.3478	0.0478	105.25
5	2.75	0.2328	4.5000	4.2773	4.0546	0.3636	0.0499	117.50
5 - 1/2	2.625	0.2439	4.7500	4.5011	4.2773	0.3810	0.0523	130.00
6	2.5	0.2561	5.0000	4.7439	4.5488	0.4000	0.0549	142.25

↓
Spesimen Standar

Gambar 5. Tabel Standarisasi Ulir *Whitworth*

2. Ulir segiempat

Bentuk sisi dari ulir ini adalah segi empat. Ulir ini digunakan pada beban berat seperti sistem pembukaan pintu bendungan.



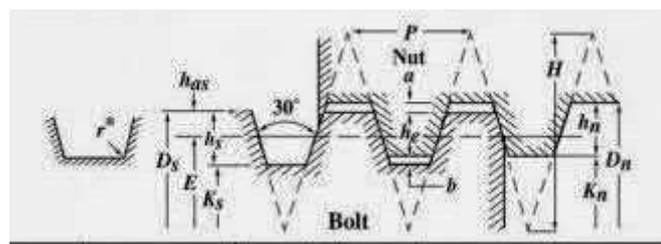
Gambar 6. Ulir Segiempat

3. Ulir Trapesium

Bentuk standar ulir trapesium ditetapkan dalam standar-standar ulir (ONORM M1540, M 1541, M 1542). Ulir trapesium memiliki sudut bidang sisi 30° . Ulir trapesium biasanya digunakan sebagai ulir penggerak pada ulir penggerak dan *leadscrew* pada mesin bubut. Contoh cara penulisan kode ulir trapesium :

Tr \varnothing (mm) x kisar (jarak puncak ulir)

Contoh : Tr 24 x 5. Penulisan tersebut mempunyai arti yaitu sebuah ulir trapesium dengan diameter terluar 24 mm dan kisar 5 mm.



Gambar 7. Ulir Trapesium

2.2.3 Uji Puntir Dinamis

Pengujian logam merupakan proses untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik dari logam seperti sifat fisik, sifat mekanik, komposisi dari unsur pembentuk dan bentuk strukturnya. Pengujian logam memiliki 3 jenis meliputi:

1. *Metallography*

Metallography yaitu proses pengujian logam yang bertujuan untuk mengetahui komposisi dari unsur pembentuk logam tersebut dan bentuk strukturnya.

2. *Destructive Test*

Destructive test yaitu proses pengujian logam yang tidak merusak atau memberikan cacat pada logam atau spesimen yang diuji.

3. *Non Destructive Test*

Non destructive test yaitu proses pengujian logam yang merusak atau memberikan cacat pada logam atau spesimen yang diuji.

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah uji puntir dinamis. Uji puntir dinamis mempunyai sifat merusak (*destructive test*). Tujuan dari pengujian puntir dinamis adalah untuk mengetahui kekuatan lelah dari spesimen yang diuji. Faktor-faktor yang penting dalam pengujian ini adalah sudut yang digunakan dan jumlah putaran hingga spesimen mengalami patah.

Spesimen yang digunakan dalam pengujian puntir dinamis berbentuk silinder dan getas. Bentuk silinder karena bentuk tersebut memiliki geometri paling sederhana dalam perhitungan. Alat yang digunakan dalam pengujian puntir mempunyai 2 bagian utama, yaitu *twisting head* dan *weighng head*. *Twisting head*

berfungsi memberikan momen torsi sesuai dengan sudut yang diberikan pada spesimen sedangkan *weighing head* untuk mengukur momen torsi yang bekerja.



Gambar 8. Benda Uji Pada Pengujian Puntir Dinamis

Momen luar yang dimunculkan pada salah satu bagian spesimen mendapat tahanan dan tegangan geser material. Tegangan tersebut bernilai nol pada pusat benda uji dan meningkat secara linear dengan jarak terhadap titik pusat. Kondisi kesetimbangan antara momen pemuntir luar dan momen reaksi dari material menghasilkan:

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau r dA = \frac{\tau}{r} \int_0^a r^2 dA \quad \dots 1$$

Rumus $r^2 dA$ adalah momen inersia polar dari benda uji dan biasa di simbolkan dengan J . Sehingga :

$$M_T = \frac{\tau j}{r} \quad \dots 2$$

Tegangan geser dapat ditentukan melalui rumus diatas yaitu

$$\tau = \frac{M_T r}{j} \quad \dots 3$$

Keterangan : τ = tegangan geser (N/mm^2)

M_T = momen puntir ($N.mm$)

r = jarak radial (mm)

j = momen inersia (mm^4)

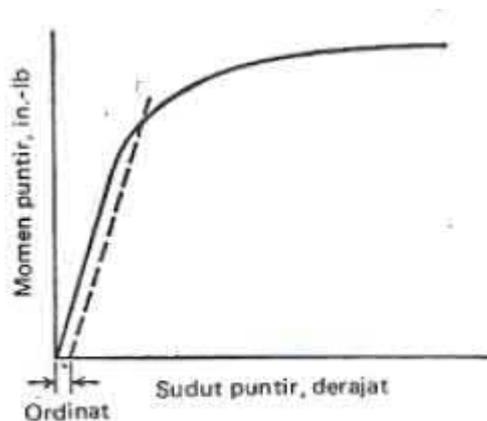
Jika benda uji berupa silinder pejal dimana $j = \pi D^4/32$ maka tegangan maksimum yang terjadi pada permukaan adalah :

$$\tau = \frac{16M_T}{\pi D^3} \quad \dots\dots 4$$

Besarnya regangan geser γ ditentukan oleh sudut puntiran (dalam satu radian):

$$\gamma = \tan \phi = \frac{r\theta}{L} \quad \dots\dots 5$$

L adalah panjang benda uji. Pada saat pengujian maka pengukuran yang dilakukan adalah momen puntir M_T dan sudut puntir θ untuk memperoleh diagram seperti ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 9. Diagram Momen Puntir-Sudut Puntir

Pada daerah elastis, sesuai dengan persamaan hukum *hooke*, maka tegangan geser dapat dianggap proporsional dengan regangan gesernya. Konstanta proporsionalitas dalam hal ini adalah modulus elastisitas dalam geseran G menghasilkan persamaan :

$$\tau = G\gamma \quad \dots\dots 6$$

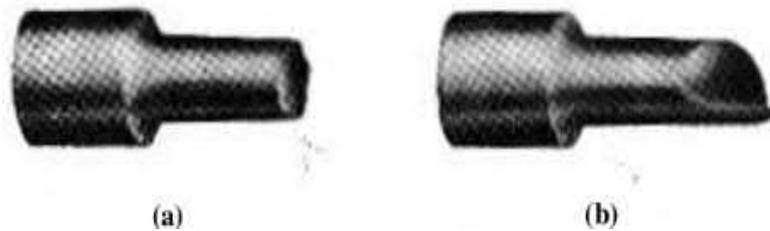
Persamaan (2) dan (5) jika disubstitusi ke persamaan (6), diadapat persamaan modulus elastisitas:

$$G = \frac{M_T L}{J\theta} \quad \dots\dots 7$$

Persamaan yang digunakan untuk mencari jumlah putaran per menit (n) adalah

$$N = \frac{P 60}{2\pi T} \quad \dots\dots 8$$

Logam ulet akan mengalami kegagalan karena mekanisme geser yang terjadi sepanjang salah satu bidang tegangan geser maksimum. Bidang perpatahan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal. Kejadian di tunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 10. Jenis Patahan Pada Pengujian Puntir Dinamis

(a).kegagalan ulet akibat mode geser dan (b).kegagalan getas akibat mode tarik

Material getas akan mengalami kegagalan dalam pembebanan puntir dinamis sepanjang bidang yang tegak lurus terhadap arah tegangan tarik maksimum. Penyebabnya karena bidang ini memotong sudut antara dua bidang tegangan geser dan membentuk sudut 45 derajat terhadap arah-arah longitudinal

dan transversal, maka perpatahan akan bentuk heliks, seperti diperlihatkan pada gambar (b).

2.2.4 Kegagalan (*Failure*)

Kegagalan adalah keadaan dimana komponen tidak bisa berfungsi secara normal lagi. Kegagalan dalam dunia teknik menjadi salah satu permasalahan yang tidak diinginkan karena dapat menimbulkan beberapa kerugian seperti kerugian ekonomi, keselamatan manusia dan lain sebagainya. Perkembangan ilmu dan teknologi tentang kegagalan dan bahan terus berkembang, namun pencegahan kegagalan masih sulit dilakukan. Penyebab paling umum adalah kesalahan dalam memilih material yang digunakan dan proses atau perlakuan terhadap material itu sendiri. Kesalahan tersebut berdampak ketika komponen digunakan, komponen mengalami kelelahan, korosi dan keausan.

Penyebab yang mengakibatkan struktur dasar atau elemen mesin gagal dalam menjalankan fungsinya yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis yang berlebihan serta kelelahan. Contoh kegagalan akibat deformasi elastis adalah poros komponen mesin yang terlalu lunak mengakibatkan bearing menjadi cepat aus. Faktor yang mempengaruhi kasus ini bukan dari kekuatan bahan komponen, tetapi modulus elastisitasnya. Cara terbaik jika saya ingin meningkatkan kekakuan dari komponen adalah dengan menyesuaikan ukuran dan bentuk dari komponen itu sendiri.

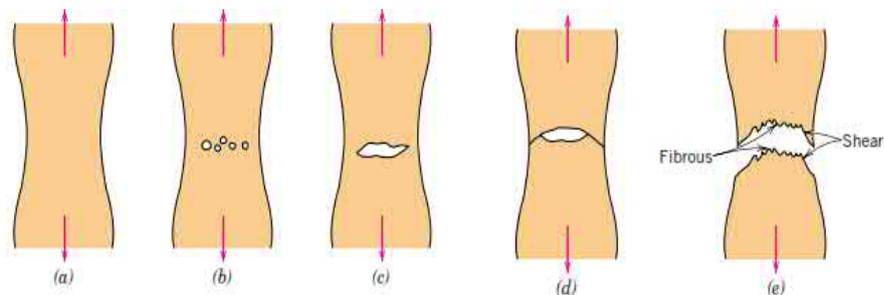
2.2.5 Patahan (*Fracture*)

Patahan adalah kondisi dimana sebuah komponen mesin secara fisik terbelah atau terbagi menjadi 2 atau lebih bagian yang disebabkan oleh tegangan.

Kelelahan juga bisa menjadi penyebab dari patahan (*fracture*). Semua komponen akan gagal jika mendapat beban yang besar. Jenis patahan (*fracture*) yang sering terjadi pada komponen mesin berdasarkan deformasi plastis yang dialami ada 2, yaitu *brittle fracture* dan *ductile fracture*. Proses patahan (*fracture*), memiliki 2 tahapan ketika terjadi yaitu terbentuknya retak dan perambatan retak. Perbedaan antara *brittle fracture* dan *ductile fracture* ditanda peringatannya. *Ductile fracture* memiliki tanda peringatan yang disebabkan oleh deformasi plastis yang terjadi pada material (tegangan konstan) sebelum material patah, sedangkan *brittle fracture* tidak memiliki tanda peringatan sehingga dapat terjadi secara tiba-tiba.

3. Ductile Fracture

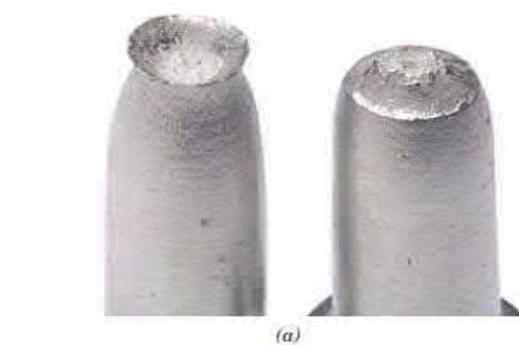
Ductile fracture terjadi setelah logam mengalami proses deformasi plastis. *Ductile fracture* diawali dengan terjadinya *necking*, kemudian terbentuk rongga-rongga kecil. Rongga-rongga kecil ini membesar dan kemudian menyatu sehingga membentuk lubang yang lebih besar atau *crack* yang berbentuk elips yang tegak lurus terhadap arah datu tegangan. Akibat tegangan yang terus terjadi, *crack* semakin lama semakin berkembang atau memanjang sehingga terjadi *fracture*.



Gambar 11. Proses *Ductile Fracture*

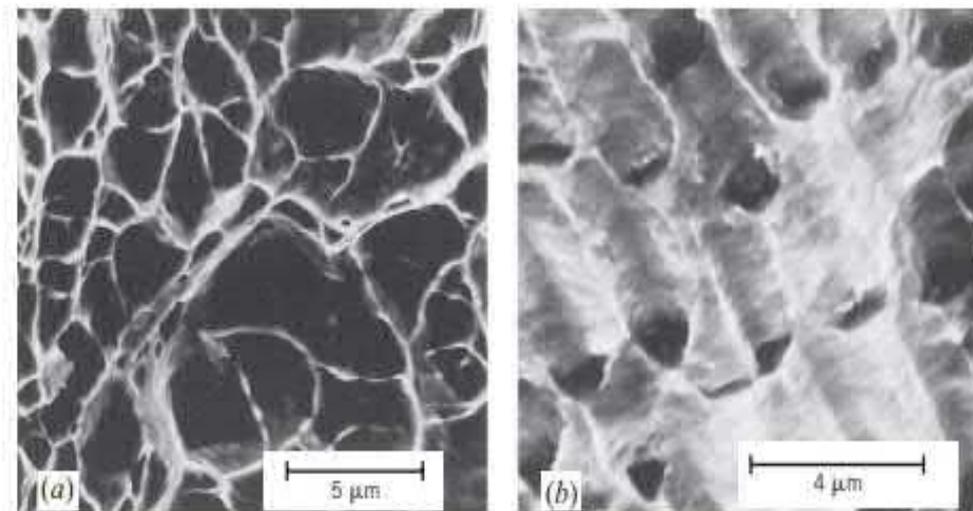
Rongga-rongga kecil (b) yang terbentuk akan membentuk elips, keadaan ini berpengaruh pada bentuk patahan akhir. Salah satu bentuk permukaan dari

komponen akan seperti kerucut dan permukaan yang lain seperti mangkuk (*cup and cone fracture*).



Gambar 12. Bentuk Patahan *Cup and Cone Fracture*

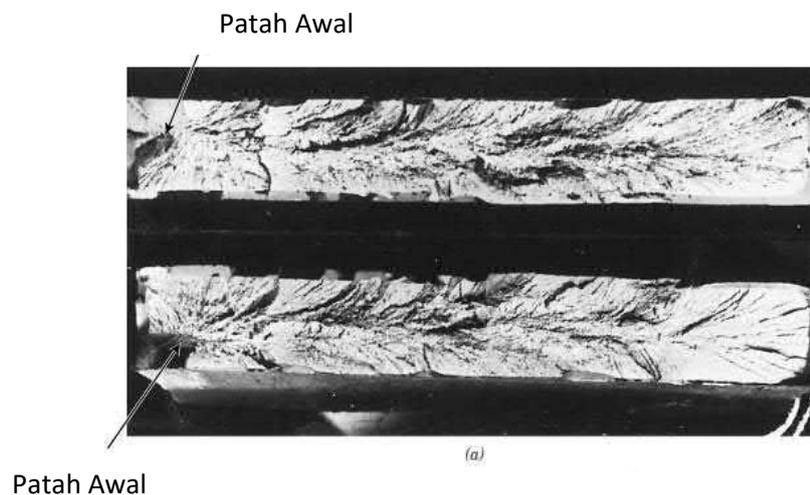
Saya bisa menggunakan pengujian mikroskopis (*fractographic*) agar mendapat informasi yang lebih detail terhadap proses *fracture* dengan menggunakan mikroskop elektron. Informasi yang didapat digunakan untuk di menganalisa jenis *fracture* yang terjadi, seperti letak awal dari *crack* dan lain sebagainya dengan melihat permukaan patahan dengan metode *fractographic*.



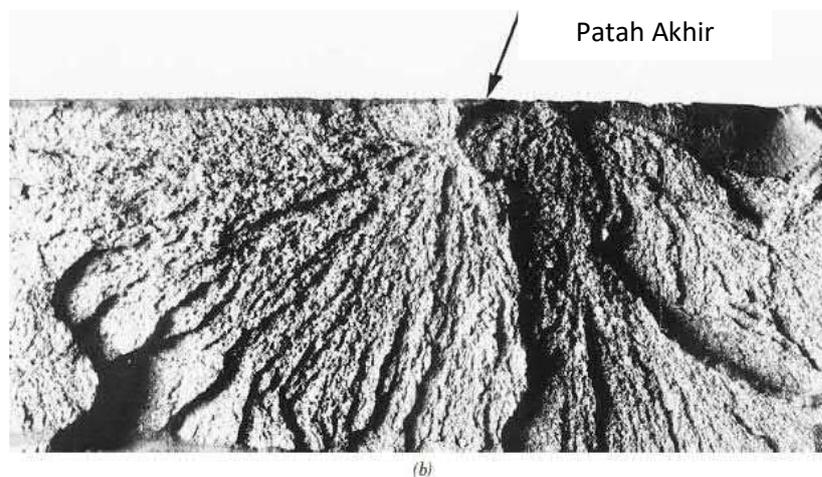
Gambar 13. *Ductile Fracture* dengan Metode *Fractographic*

4. Brittle Fracture

Brittle fracture (Patahan getas) terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya tanda peringatan karena komponen atau material tidak mengalami deformasi elastis. Proses dari *crack* menjadi *fracture* sangat cepat dengan arah gerak tegak dengan beban yang diberikan. Berbeda dengan *ductile fracture* yang memiliki bentuk permukaan *cup and cone*, bentuk permukaan patahan dari *brittle* yang lurus atau datar. Kasus ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 14. Awal Mula *Crack*



Gambar 15. Karakteristik *Brittle Fracture*

Untuk memperdalam materi mempelajari *brittle fracture* sama halnya dengan *ductile fracture*, *brittle fracture* juga bisa diamati dengan mikroskop elektron dengan metode *fractographic*. Saya semakin mudah dalam menganalisa bentuk permukaan patahan dari *brittle fracture*.

2.2.6 Kelelahan (*Fatigue*)

Setiap komponen mesin akan mendapat beban secara berkala secara terus menerus hingga membentuk suatu siklus. Proses siklus ini lama-kelamaan akan menyebabkan kerusakan fisik yang berbentuk mikroskopis pada material tersebut. Kerusakan berupa mikroskopis disebabkan oleh tegangan-tegangan yang besarnya di bawah dari *ultimate strength* material tersebut. Tegangan-tegangan yang bekerja pada komponen berbentuk siklus sehingga kerusakan mikroskopis akan semakin besar sehingga terjadi *crack* dan berakhir *fracture* pada material tersebut. Proses pengrusakkan ini yang terjadi secara berulang-ulang sehingga terjadi kegagalan disebut *fatigue* (Dowling, 2012).

Proses siklus sehingga terjadi *fracture*, komponen mesin mengalami 3 tahapan meliputi:

1. Awal retakan (*crack initiation*)

Kelelahan bermula dengan munculnya suatu retakan. Retakan ini terjadi di permukaan komponen/material dimana pada permukaan tersebut terdapat cacat sehingga terjadi konsentrasi tegangan. Contoh cacat yang dimaksud adalah lubang, goresan dan sebagainya).

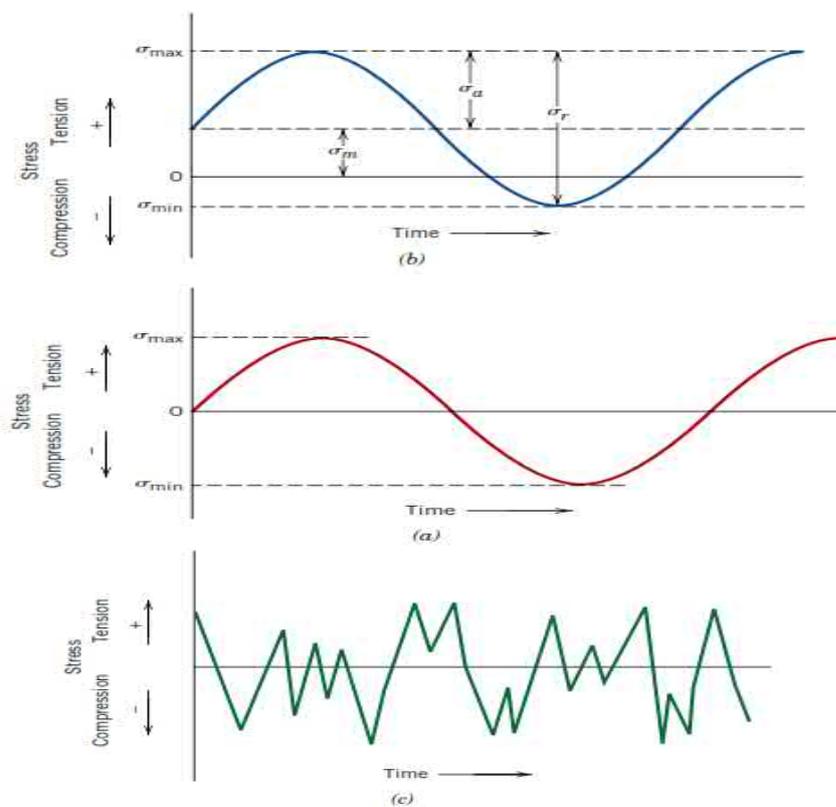
2. Penyebaran retakan

Retakan semakin lama semakin berkembang hingga terbentuk *crack* yang lain (menjalar atau menyebar) sehingga terbentuknya retakan yang cukup besar (*macrocraks*) dan akhirnya terjadi patah (*fracture*).

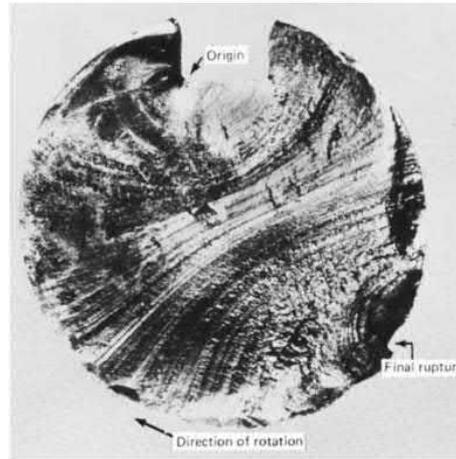
3. Patah (*Fracture*)

Kejadian ketika *microcraks* yang terbentuk bergabung menjadi *macrocracks* sehingga terjadi patah pada komponen yang mengakibatkan komponen tersebut gagal atau tidak bisa berfungsi dengan normal.

Fatigue sama halnya seperti *britle fracture* yang terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya peringatan. Faktor yang mempengaruhi kelelahan suatu material adalah *limit fatigue*, yaitu kemampuan material untuk mencapai titik kelelahan.



Gambar 16. Variasi Tegangan Penyebab Kelelahan



Gambar 17. Permukaan Patah Akibat Lelah

Kelelahan pada material memiliki banyak faktor diantaranya sebagai berikut :

1. Konsentrasi Tegangan

Bentuk permukaan komponen atau material sangat mempengaruhi *limit fatigue*. Jika bentuk permukaan terdapat takik, baik berupa ulir ataupun sebagainya, maka kekuatan lelah dari komponen tersebut akan menurun karena terjadi konsentrasi tegangan sesuai dengan bentuk geometrinya.

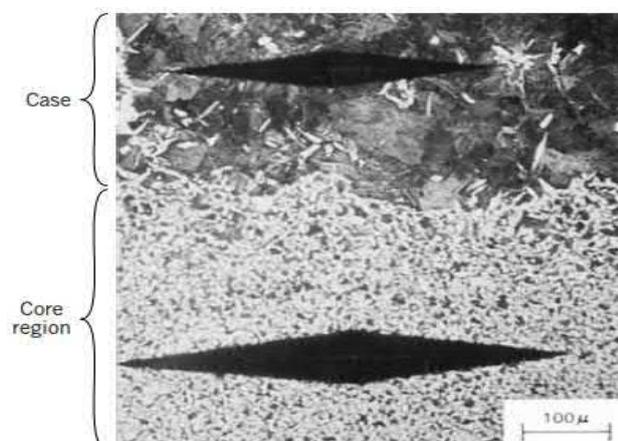
2. Tegangan Rata-Rata

Limit fatigue dipengaruhi oleh tegangan rata-rata. Besarnya *limit fatigue* bertolak belakang dengan besarnya Tegangan rata-rata.

3. Perlakuan permukaan

Komponen atau material yang telah diproses akan menyisakan alur dan sayatan sehingga permukaan dari komponen atau material akan menjadi kasar. Kasus ini mengakibatkan *limit fatigue* menurun. Oleh karena itu, komponen atau

material yang telah diproses harus dihaluskan untuk meningkatkan *limit fatigue*, misalnya dengan menggunakan amplas. Cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan teknik *case hardening*. Teknik ini dilakukan dengan memasukkan komponen kedalam kotak dan disemprotkan gas nitrogen atau karbon sehingga terbentuk permukaan komponen yang sangat keras, bahkan lebih keras dari pada intinya. Penelitian tentang pengerasan dilakukan oleh Lai, *et al.*, (2016) yang menunjukkan bahwa dengan memberikan pengerasan pada permukaan spesimen akan membuat spesimen tersebut lebih tahan terhadap awal retak dari pada spesimen yang tidak diberikan pengerasan namun memiliki permukaan yang lebih halus. Sugimoto, *et al.*, (2017) juga memperkuat melalui penelitiannya yang menyatakan *hardening case* akan meningkatkan batas leleh dari baja.

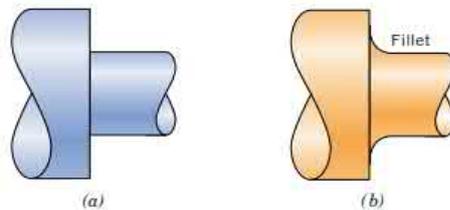


Gambar 18. Lapisan Permukaan Setelah *Case Hardening*

4. Faktor-faktor desain

Desain mempengaruhi suatu komponen atau material dapat mempengaruhi karakteristik kelelahan. Apabila dalam desainnya hingga pembentukannya terdapat cacat, maka komponen atau material tersebut akan lebih cepat mengalami

kegagalan, sehingga perlu perhatian khusus dalam desain untuk meningkatkan *limit fatigue*. Salah satu cara meningkatkan *limit fatigue* melalui desain pada komponen atau material adalah dengan menambahkan atau menggunakan alur. Penambahan alur telah diteliti oleh Chandra (2009) dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa umur dari spesimen meningkat sebesar 27,79%. Contoh alur yang bisa digunakan adalah *fillet* untuk menghindari sudut yang tajam seperti gambar berikut :



Gambar 19. Desain Komponen untuk Meningkatkan *limit fatigue*

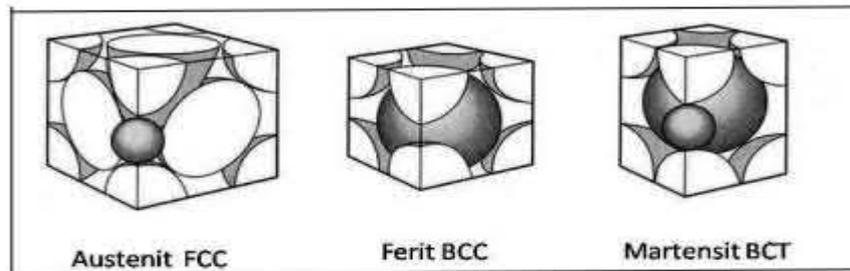
(a). Desain Memiliki Sudut Tajam (b). Desain Menggunakan *Fillet*

2.2.7. Mikrostruktur

Sifat-sifat yang dimiliki logam akan berpengaruh dalam penggunaan logam, hal ini yang merupakan dasar dari pemilihan bahan. Sifat-sifat yang dimiliki setiap logam berbeda karena adanya perbedaan unsur-unsur penyusun serta paduan yang akan membentuk struktur mikronya. Unsur adalah material yang independen dan murni tanpa pengotor atau unsur-unsur lain. Unsur-unsur tersusun atas atom-atom yang mempunyai inti dan elektron. Inti atom bermuatan positif (+) yang terdiri dari proton dan neutron, sedangkan elektron bermuatan negatif (-). Setiap unsur akan saling tarik menarik akibat muatan ini sehingga mencapai kondisi yang stabil atau netral.

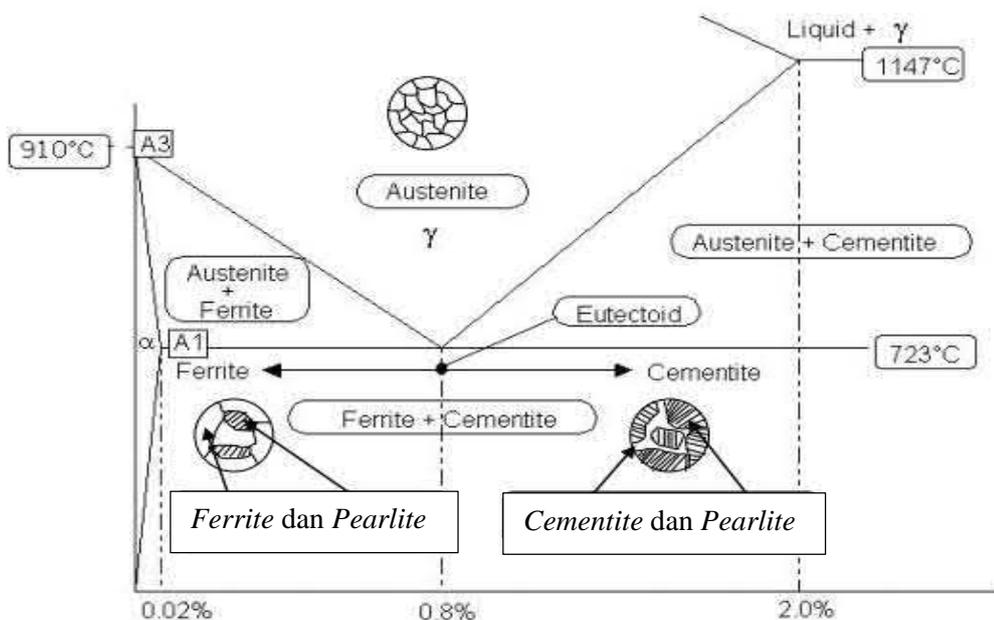
Atom-atom logam akan membentuk persenyawaan satu dengan yang lain karena adanya gaya tarik menarik antar atom. Persenyawaan ini akan membentuk

suatu bagan geometrik tertentu dalam keadaan padat yang disebut sebagai kristalit. Bentuk geometri pada logam besi dan baja biasanya berupa kubus, yang tersusun dari atom-atomnya. Bentuk geometri inti seperti ditunjukkan pada Gambar berikut:



Gambar 20. Geometris Kristal

Struktur mikro baja dapat dipahami melalui metalurgi baja karbon dengan diagram besi karbon (Fe-C). Gambar 18 menunjukkan transformasi fasa yang terjadi sebagai akibat dari perlakuan panas pada baja yakni pemanasan dan pendinginan. Pada pendinginan di bawah A1 akan mempengaruhi struktur mikro baja.

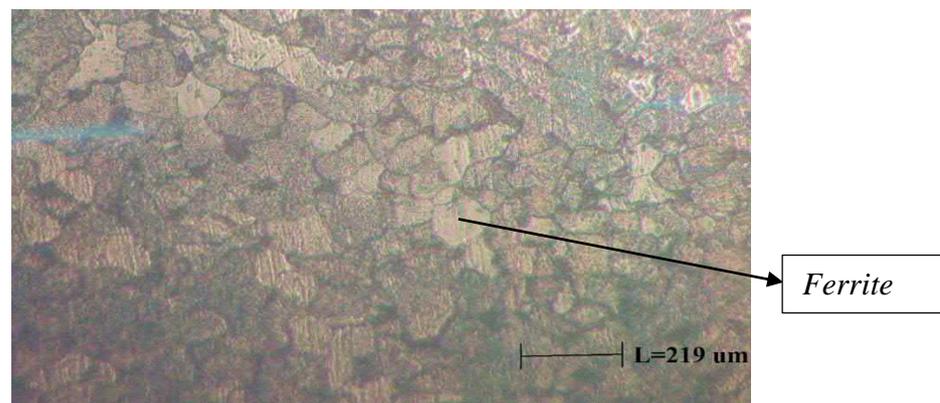


Gambar 21. Diagram Fasa Baja

Beberapa fasa yang terdapat dalam diagram fasadapat dijelaskan sebagai berikut:

a. *Ferrite*

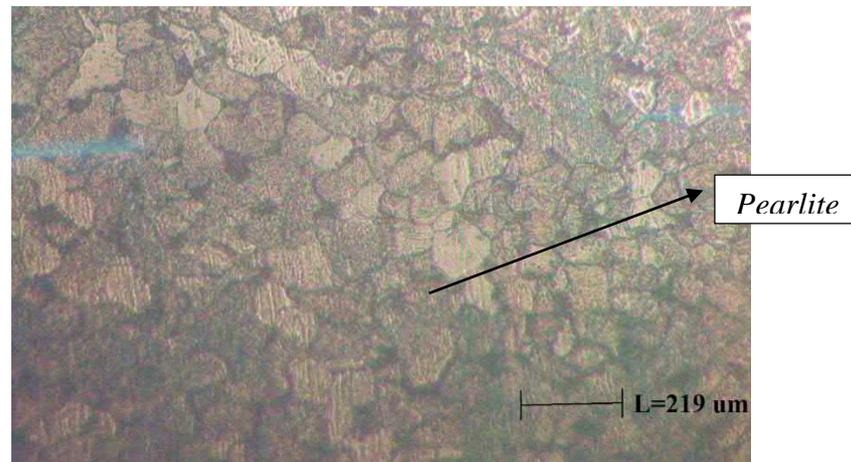
Fasa ini disebut *alpha* (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon 0,025% C pada temperatur 723° C, struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. *Ferrite* bersifat magnetik sampai suhu 768° C. Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe_3C .



Gambar 22. Fasa *Ferrite*

b. *Pearlite*

Fasa *pearlite* merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu *ferrite* dengan kadar karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi *pearlite* merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoidlamellar*.



Gambar 23. Fasa Pearlit

c. *Cementite* (karbida besi)

Cementite merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Dibandingkan dengan *ferrite*, *cementite* sangat keras. Karbida besi dalam *ferrite* akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat.

d. *Austenite*

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya *austenite* berubah menjadi *ferrite* dan *pearlite* atau *pearlite* dan *cementite*. Sifat *austenite* adalah lunak, lentur dengan keliatan yang tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%. Pada temperatur $1184^{\circ}C$, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).

e. *Martensite*

Martensite merupakan fasa diantara *ferrite* dan *cementite* bercampur, tetapi bukan *lamellar*, melainkan jarum-jarum *cementite*. Fasa ini terbentuk *austenite*

meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada $260^{\circ}C$ untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks *ferrite*.

f. *Bainite*

Bainite merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa *austenite* ke suhu antara $250^{\circ}C$ - $550^{\circ}C$ dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). *Bainite* adalah struktur mikro dari reaksi *eutektoid* ($\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$.) non *lamellar*. *Bainite* merupakan struktur mikro campuran fasa *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C .). Nilai kekerasan *bainite* kurang lebih berkisar antara 300-400. Diagram fasa tersebut memperbolehkan proses pemanasan pada suhu tertentu sesuai dengan kandungan karbon dalam baja. Berikut Tabel yang menunjukkan hubungan adanya kesesuaian antara kandungan karbon dengan pengerasan baja.

Tabel 1. Kesesuaian antara Kandungan Karbon dengan Suhu Pemanasan

No	suhu	kandungan					
		0.45	0.60	0.70	0.85	1.00	>1.00
1	Minimum	790	780	760	730	725	725
2	Maksimum	820	810	800	780	770	760

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan penelitian tentang pengaruh kedalaman takik ulir *whitworth* terhadap kekuatan lelah puntir dinamis pada baja AISI 1010, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Adanya variasi kedalaman takik ulir *whitworth* pada pengujian puntir dinamis akan mempengaruhi jumlah siklus tiap keadalaman. Pengujian dengan menggunakan sudut 5 derajat menunjukkan bahwa siklus tertinggi terdapat pada kedalaman takik ulir *whitworth* 0.67 mm sebesar 21.986 siklus, kemudian kedalaman 0.81 mm dengan 20.216 siklus, kemudian 0.9 mm dengan 16.489 siklus dan terakhir kedalaman takik ulir *whitworth* dengan kedalaman 1.16 mm dengan 6.037 siklus. Kedalaman takik ulir mempunyai pengaruh terhadap kekuatan lelah yaitu semakin dalam takik ulir, maka kekuatan lelah semakin menurun.
2. Patahan penampang untuk setiap spesimen bertakik ulir *whitworth* dengan variasi kedalaman 0.67 mm, 0.81 mm, 0.9 mm dan 1.16 mm setelah pengujian puntir dinamis menggunakan sudut 5 derajat menunjukkan fenomena yang sama. Fenomena tersebut menunjukkan karakteristik dari patah lelah berupa retak awal, *beachmark* dan patah akhir.

5.2 Saran

Adapaun saran-saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan sebagai berikut:

1. Proses dalam pembuatan ulir harus dilakukan secara teliti dan cermat karena dalam proses ini berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan yang baru yang dapat menyebabkan hasil yang tidak sesuai teori.
2. Pengaturan sudut harus dilakukan secara teliti dan hati-hati agar sudut yang digunakan sesuai dengan metodologi penelitian serta terhindar dari hasil yang berbeda dengan teori dan penelitian terdahulu.
3. Perlu penelitian lanjutan untuk jenis material yang digunakan, variasi sudut dan jenis takikan serta upaya- upaya untuk meningkatkan kekuatan lelah akibat puntir dinamis.
4. Melibatkan komputasi berbasis CAD atau sejenisnya untuk memprediksi letak patah agar kemajuan ilmu bahan semakin pesat.
5. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa jika pembuatan ulir dibawah standar, kekuatan lelah akan menurun secara drastis.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal R., R. Uddanwadiker, P. Padole dan J. Veerabu. 2014. Effect of Stress Concentration in Low Cycle Fatigue Life Prediction at High Temperature. *Journal of Basic and Applied Engineering Research* 1(2) : 69-72
- Alang N. A., N. A. Razak dan A. K. Miskam. 2011. Effect Of Surface Roughness on Fatigue Life Of Notched Carbon Steel. *International Journal Engineering*
- Arola, D dan C. L. Williams.2002. Estimating The Fatigue Stress Concentration Factor Of Machined Surfaces. *International Journal Of Fatigue* 24:923-930.
- Asad A., T. Bjork dan S. Heinilla. 2012. A Finite Element Approach to Predict The Stress Concentration Factors in Cold Formed Corners. *International Journal of Mechanical and Mechathronics Engineering IJMME-IJENS* 12(4):94-98
- Baddo N. R. 2008. Stainless Steel In Construction: A Review Of Research, Applications, Challenges and Opportunities. *Journal of Constructional steel research* 10: 1-10.
- Bader Q. dan E. Kadum. 2014. Effect of V Notch Shape on Fatigue Life in Steel Beam Made of High Carbon Steel Alloy AISI 1078. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* 4(7):1-8
- Bader Q. dan E. K. Njim. 2014. Experimental And Numerical Study Of Influence The Loading Mode on Fatigue Life in Notched Steel Beam. *International Journal Of Scientific And Engineering Research* 5(7):819-827
- Callister, Jr., William D. dan D. G. Rethwisch. 2011. "Material Science and Engineering an Introduction". Amerika: john wiley and sons,Inc
- Cesnik M. dan J. Slavic. 2014. Vibrational Fatigue and Structural Dynamics for Harmonic and Random Loads. *Journal of Mechanical Engineering* 60: 339-348
- Chandra D. 2009. Kaji Eksperimen Umur Lelah Poros Beralur Dengan Penambahan Alur Bantu. *Teknika* 32(1): 1-6.
- Chen X., N. Noda, M. A. Wahab, Y. Akaihsi, Y. Sano, Y. Takase, G. Fakete. 2015. Fatigue Failure Analysis For Bolt-Nut Connections Having Slight Pitch Differences Using Experimental And Finite Element Methods. *Acta Polytechnica Hungarica* 12(8):61-79.
- Dowling N. E.. 2012. "Mechanical Behaviour Of Materials Engineering Methods For Deformation, Fracture and Fatigue". Edinburgh: Pearson Education Limited.

- Hussain F. dan M. Z. Nuawi. 2016. Effect of Temperature on Fatigue Life Behaviour of Aluminium Alloy AA6061 Using Analytical Approach. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)* 3(10): 2324-2335.
- Huyett G. L. 2004. "Engineering Handbook Technical Information". Kansas: G. L. Huyett Expressway
- Hendrickson, Daniel. 2005. Fatigue Failure Due to Variable Loading. *Department of Computer Science, Physics, and Engineering*.
- Hutabarat, U. J. dan M. B. H. Sitorus. 2017. Perancangan Mesin Uji Lelah Baja Poros Dengan Pembebanan Puntir Dinamis. *Jurnal teknik mesin (JTM)* 6(4):258-262
- Ibrahim A. dan R. Rochiem. 2013. Analisa Kegagalan Baut Pengunci Tipe 3111020050 Pada Kompartmen-I Rawmill IIIB Indarung IV PT. Semen Padang. *Jurnal Teknik POMITS* 1(1):1-5
- Jatmiko, S. dan J. Siswaoro. .2008. Analisa Kekuatan Puntir Dan Kekuatan Lentur Putar Poros Baja ST 60 Sebagai Aplikasi Perancangan Bahan Poros Baling-Baling Kapal. *Jurnal Kapal* 5:42-51.
- Kuroda M., J. Marrow dan A. H. Sherry. Effect of Surface Finish on Fatigue in Austenitic Stainless Steel.
- Lai, J., H. Huang dan W. Busing. 2016. Effects of Microstructure and Surface Roughness on The Fatigue Strength of High-Strength Steels. *Procedia Structural Integrity* 2:1213-1220.
- Magga, R. 2010. Pengaruh Sudut Puntir Terhadap Tegangan dan Regangan. *JIMT* 7(2):68-73
- Mamidi N. J. J. Kumar, R. Nethi dan V. Kadali. 2018. Impact of Notch Depth on The Fatigue Life of AISI 316L Austenitic Stainless Steel. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 5(9):1149-1151
- Noda N. dan Y. Takase. 2005. Stress Concentration Formula Useful for All Notch Shape in A Round Bar (Comparison Between Torsion, Tension and Bending). *International Journal of Fatigue* 28: 151-163
- Subarmono dan A. Sinta. 2014. Karakteristik lelah baja poros DIN 42CrMo4 bertakik U dan V akibat beban amplitude konstan dan beban tiba-tiba. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi (SNAST)*.
- Sugimoto K., T. Hojo dan Y. Mizuno. 2017. Torsional Fatigue Strength Of Newly Develop Case Hardening TRIP-Aided Steel. *Metals* (375).
- Widyanto, S. A. dan Jamasri. 2001. Pengaruh Bentuk Takik Ulir Spesimen Baja Poros Terhadap Kekuatan Lelah Puntir Pada Pembebanan Puntir. *Media Teknik* 3 (69-72)

- Yan W., Y. Xu dan K. Wang. 2016. Investigation of Stress Concentration and Casing Strength Degradation Caused by Corrosion Pits. *International Journal of Corrosion*.
- Yudiono, Heri. 2009. Karakterisasi Ketahanan Lelah Ulir Metris Akibat Pembebanan Puntir Lentur Pada Material Baja Karbon Rendah. *Jurnal Momentum* 5(2): 37-40