

**ANALISIS PERAMBATAN RETAK FATIK BAJA AISI 1020
YANG DICELUP PANAS ALUMINIUM DAN DIBERI
PERLAKUAN PANAS ANIL**

SKRIPSI

**Oleh :
SARAH RENADA**



**PROGRAM SARJANA JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2020**

ANALISIS PERAMBATAN RETAK FATIK BAJA AISI 1020 YANG DICELUP PANAS DAN DIBERI PERLAKUAN PANAS ANIL

Oleh

SARAH RENADA

ABSTRAK

Baja standard *American Institute and Steel Iron* (AISI) 1020 memiliki kandungan karbon 0.20wt% dengan elemen-elemen paduannya : 0.175 C, 99.23 Fe, 0.42 Mn, 0.055 P dan 0.060 S (Matweb, 2018). Baja ini memiliki keuletan yang tinggi dan dapat diberi perlakuan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, seperti proses *annealing* dan *quenching*. Baja AISI 1020 juga bias dicelup aluminium dan diberi perlakuan panas, lalu dilakukan pengujian tarik untuk mendapatkan nilai kekuatan mekaniknya, setelah itu dilakukan pengujian perambatan retak fatik dan pengujian struktur mikro untuk mengetahui fenomena yan terjadi.

Kata Kunci: uji tarik, uji fatik, baja AISI 1020, *annealing*, *quenching*.

**ANALYSIS FATIGUE CRACK PROPAGATION OF AISI 1020 STEEL
WHICH DIPPED HOT ALUMINIUM AND ANNEALED HEAT
TREATMENT**

BY

SARAH RENADA

ABSTRACT

American Institute and Steel Iron (AISI) 1020 has a carbon content of 0.20wt% with elemental alloys : 0.175 C, 99.23 Fe, 0.42 Mn, 0.055 P and 0.060 S (Matweb,2018). This steel has a high ductility and can be treated according to the desire neds, such as annealing and quenching prosesses. AISI 1020 stell can also be dipped in aluminium and given heat treatment, then tensile testing is carried out to get its mechanical strength value, after which a faigue crack propagation test and microstructure testing are performed to determined the phenomena that occur.

Keywords : tensile testing, fatigue crack propagation testing, AISI 1020 Steel, annealing, quenching

**ANALISIS PERAMBATAN RETAK FATIK BAJA AISI 1020
YANG DICELUP PANAS ALUMINIUM DAN DIBERI
PERLAKUAN PANAS ANIL**

Oleh :

SARAH RENADA

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai sebutan sarjana teknik

Pada program studi

S1 teknik mesin

Fakultas teknik universitas lampung



PROGRAM SARJANA JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2020

Judul skripsi : **ANALISIS PERAMBATAN RETAK FATIK
BAJA AISI 1020 YANG DICELUP PANAS DAN
DIBERI PERLAKUAN PANAS ANIL**

Nama Mahasiswa : **Sarah Renada**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1415021081**

Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Mohammad Badaruddin, S.T.,M.T.
NIP. 19721211 199803 1 002



Ahmad Su'udi, S.T.,M.T.
NIP. 19740816 200012 1 001


2. Ketua Jurusan Teknik Mesin




Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 199903 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Mohammad Badaruddin, S.T.,M.T. 

Anggota Penguji : Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. 

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



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Januari 2020

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No. 318/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



SARAH RENADA
NPM. 1415021081

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro, 24 Februari 1996 Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak keempat dari enam bersaudara, lahir dari pasangan Bapak Jupri dan Ibu Chandra Kirana. Mengenyam pendidikan Sekolah Dasar di SD Darul Hikam Bandung diselesaikan pada tahun 2008. Sekolah Menengah Pertama di SMP Taruna Bakti Bandung diselesaikan pada tahun 2011. Sekolah Menengah Atas SMA Negeri 3 Bandung tahun 2011-2013 kemudian melanjutkan studi di SMA Negeri 3 Metro dan diselesaikan pada tahun 2014. Pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, melalui jalur SBMPTN dan menamatkan studi S1 pada Januari 2020.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten Bahasa Inggris, asisten di Laboratorium Menggambar Teknik Mesin dan asisten di Laboratorium Material Teknik Mesin. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin sebagai Sekretaris Bidang Minat dan Bakat (2015-2016) dan anggota Divisi Kreatifitas (2016-2017). Selain itu penulis juga aktif di organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) sebagai eksekutif muda (2014-

2015) dan sebagai anggota Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa/PSDM (2014-2015). Penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan yang dilakukan di area kampus, diantaranya Panitia IC-STAR (2015), MC dalam seminar internasional dan nasional.

Pengalaman akademik penulis, melakukan Kerja Praktek di PT. PLN(PERSERO) PLTU Tarahan (Unit 3 & 4 2x100MW) Lampung Pada tahun 2017 dengan mengambil studi kasus mengenai “Perhitungan Laju Korosi Pipa Kondensor Unit 3 PLTU Tarahan”. Pada Bulan Januari 2019 penulius mulai melakukan Tugas Akhir (TA) dengan konsentrasi Material dengan Judul “Analisis Perambatan Retak Fatik Baja AISI 1020 yang Dichelup Panas dan Diberi Perlakuan Panas Anil” di bawah bimbingan dan penguji :

1. Bapak Dr. Mohammad Badaruddin, S.T.,M.T. (Pembimbing Utama).
2. Bapak Ahmad Su’udi, S.T.,M.T. (Pembimbing Pendamping).
3. Bapak Nafrizal, S.T.,M.T. (Penguji).

MOTTO

“The best sword that you have is patience”

“Learn from the past, live for today, and plan for tomorrow”

“Kaya itu wajib, sederhana itu pilihan”

“After your failure, there’s a sign for you to success”

**“The best revenge for the people who have insulted you is the success
that you can show them later”**

**“If you dream to be success, giving up is not an option. No matter how
hard life take you down, get up as fast as you can. No matter how
disgusting people mocking at you, faster your move and shut them
mouth with your success”**

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah *hirabbil'aalamiin*, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Shalawat serta salam juga disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang akan kita nantikan syafa'atnya di yaumul akhir nanti.

Skripsi dengan judul “Analisis Perambatan Retak Fatik Baja AISI 1020 yang Dichelup Panas dan Diberi Perlakuan Panas Anil” ini dapat diselesaikan berkat partisipasi, bantuan, dukungan dan do'a dari berbagai pihak. Sebagai rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tuaku, Papa dan Mama tercinta atas segala nasehat, semangat dan dukungan yang telah diberikan selama ini.
2. Eyang Anna yang telah mengajarkan begitu banyak hal dan membentukku menjadi seperti sekarang.
3. Kakak-kakak dan adik-adikku yang senantiasa memberi dukungan dan member bantuan ketika aku membutuhkan.
4. Bapak Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

5. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Mohammad Badaruddin, S.T.,M.T. selaku Pembimbing Utama atas kesedianannya untuk memberikan bimbingan, pengetahuan serta nasehat dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku Pembimbing Pendamping atas kesediaannya untuk memberikan dukungan, masukan dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini.
8. Bapak Nafrizal, S.T.,M.T. selaku dosen pembahas yang telah menyempatkan waktunya dan memberikan masukan sebagai penyempurnaan penulisan skripsi ini.
9. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung atas ilmu yang diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik maupun teladan dan motivasi untuk masa yang akan datang.
10. Pak Marta, Pak Wanto, Pak Dadang, Pak Nanang serta seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin.
11. Orang yang paling sering penulis mintai bantuan, yang sering penulis rusuhi, dan orang yang selalu ada dan selalu siap sedia kapanpun penulis membutuhkan, Bintoro Niko Renardy.
12. Kak Rio, Kak Aloy, Kak Dewo, Bang Chris, Alan Kentung dan seluruh anggota Laboratorium Material Teknik Mesin yang telah membantu penulis dalam melakukan proses persiapan pengujian dan penyusunan skripsi.

13. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah berjuang bersama sejak semester pertama sampai akhirnya skripsi penulis selesai. Untuk teman-teman yang masih berjuang, tetap semangat!
14. Pepe dan Anggita yang selalu mensupport walaupun dari jarak yang jauh dan menunjukkan makna sebenarnya dari “Solidarity Forever”.
15. Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu persatu, yang telah ikut serta membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi semua yang membaca dan penulis sendiri.

Wassalamu’aaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 26 Januari 2020

Penulis,

Sarah Renada

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Baja Karbon	6
B. Pelapisan dengan Metode Pencelupan Panas (<i>Hot-Dipping Coatings</i>)	9
C. Fasa Intermetalik	10
D. Perlakuan Panas	11

E. Pengujian Mekanik	12
F. Perambatan Retak (<i>Crack Propagation</i>)	20

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu.....	31
B. Bahan dan Alat	32
C. Pelaksanaan Penelitian	35
D. Observasi Mikrostruktur.....	42
E. Diagram Alir Penelitian.....	43
F. Uji Komposisi Baja AISI 1020.....	44

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Tarik	45
B. Hasil Uji Perambatan Retak Fatik	51

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan.....	66
B. Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mikrografi difusi baja karbon	10
2. Diagram Fase Eutectoid	11
3. Kurva Tegangan Regangan	13
4. Kurva S-N	18
5. Data hasil pengujian <i>High Cycle Fatigue</i>	19
6. Panjang retak versus siklus	21
7. Hubungan antara Perambatan retak dan selisih faktor	23
8. Komponen tegangan mode I	25
9. <i>Stress intensity factor</i> untuk kondisi tarikan dan bending	26
10. Modus pergeseran permukaan retak.....	27
11. Skematik laju pertumbuhan retak.....	28
12. Beban fatigue yang menyebabkan pertumbuhan retak	28
13. Kurva sigmoidal $da/dN - \Delta K$	30
14. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8.....	32
15. Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik ASTM E647	33

16. Mesin MTS <i>Landmark</i> 100 kN	34
17. Tungku Pemanas Nabertherm tipe L64/14	35
18. Diagram alir penelitian.....	43
19. Kurva karakteristik tegangan vs rengangan baja AISI 1020.....	47
20. Struktur Mikro baja AISI 1020	48
21. Struktur Mikro baja AISI 1020 yang dicelup aluminium	48
22. Struktur Mikro Baja AISI 1020 yang dicelup panas anil.....	49
23. Struktur Mikro baja AISI 1020 yang dicelup panas <i>quenching</i>	50
24. Pola rambatan retak fatik baja AISI 1020	52
25. Kurva Panjang Retak (mm) Terhadap Siklus (n) Baja AISI 1020.....	52
26. Kurva da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 <i>Base steel</i>	54
27. Kurva fenomena-1 da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 <i>Base steel</i>	55
28. Kurva fenomena-2 da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 <i>Base steel</i>	55
29. Kurva fenomena-3 da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 <i>Base steel</i>	56
30. Kurva da/dn terhadap K pada Baja AISI 1020 HDA	56
31. Kurva fenomena-1 da/dn terhadap K pada Baja AISI 1020 HDA	57
32. Kurva fenomena-2 da/dn terhadap K pada Baja AISI 1020 HAD	57
33. Kurva da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 HDA_An	58
34. Kurva fenomena-1 da/dn terhadap K pada Baja AISI 1020 HDA_An	59
35. Kurva fenomena-2 da/dn terhadap K pada Baja AISI 1020 HDA_An	59
36. Kurva fenomena-2 da/dn terhadap K pada Baja AISI 1020 HDA_An	60
37. Kurva da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 HDA_Q	61

38. Kurva fenomena-1 da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 HDA_Q	61
39. Kurva fenomena-2 da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 HDA_Q	62
40. Kurva fenomena-3 da/dn terhadap K pada baja AISI 1020 HDA_Q	62
41. Hubungan antara nilai eksponensial m dengan (n)	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Kimia Baja AISI 1020	7
2. Sifat Mekanik Baja AISI 1020	8
3. Data Uji Tarik	40
4. Variabel Pengujian fatik siklus tinggi	42
5. Komposisi Baja AISI 1020	44
6. Hasil Uji Tarik Baja AISI 1020	45
7. Nilai konstanta C dan m(nilai eksponensial) pada Baja AISI 1020	64

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Baja merupakan paduan besi dengan kandungan karbon tertentu yang berperan dalam meningkatkan kekuatan baja dengan keuletan yang tepat. Jumlah kandungan karbon pada baja sangat menentukan apakah baja mampu diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatannya. Dalam komersialisasi dan manufaktur, baja memiliki berbagai tipe dan standarisasi, seperti AISI dan JIS. Baja sendiri memiliki tiga tipe, diantaranya baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi, yang setiap jenisnya memiliki keuletan dan kekuatan yang bervariasi. Baja standard *American Institute and Steel Iron* (AISI) 1020 memiliki kandungan karbon 0.20wt% dengan elemen-elemen paduannya : 0.175 C, 99.23 Fe, 0.42 Mn, 0.055 P dan 0.060 S (Matweb, 2018). Baja AISI 1020 merupakan baja paduan yang memiliki harga yang cukup murah apabila dibandingkan dengan baja karbon

rendah maupun baja karbon tinggi. Penggunaan Baja AISI 1020 banyak ditemukan di konstruksi umum karena memiliki keuletan yang tinggi dan mudah dibentuk walaupun memiliki kekuatan yang relative rendah. Jenis logam ini dapat diberi perlakuan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, seperti halnya apabila dibutuhkan kekuatan maka baja akan dilakukan proses *annealing*, jika yang diharapkan berupa kekerasan maka baja akan diproses dengan perlakuan *quenching*. *Annealing* itu sendiri adalah proses perlakuan panas dimana logam dipanaskan pada suhu 700°C lalu ketika suhu tungku sudah mencapai 700°C , suhu ditahan sesuai dengan waktu yang dibutuhkan lalu suhu didinginkan di dalam tungku hingga mencapai suhu yang diinginkan, sedangkan proses *quenching* sangat berbeda dengan *annealing*, karena pada proses *quenching* itu sendiri logam dipanaskan sampai fasa *austenite* lalu didinginkan secara cepat dengan dicelupkan melalui media fluida (air dan oli). Namun, perlakuan panas diatas merupakan jenis yang sering dilakukan bagi peneliti. Ada perlakuan panas yang lain seperti *normalizing*, *hardening*, dan *tempering*.

Setelah proses perlakuan panas dilakukan, selanjutnya dilakukan proses pengujian untuk mengetahui anomali dari logam tersebut. Beberapa pengujian yang dilakukan diantaranya adalah pengujian Tarik dan fatik. Pengujian tarik pada material bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum (σ_u), kekuatan luluh (σ_y), regangan (ϵ), dan modulus elastis (E) pada suatu

material. Sedangkan pada pengujian fatik bertujuan untuk mengetahui puncak retak (*crack*) suatu logam dan patahan (*fracture*).

Pada penelitian kali ini, baja karbon AISI 1020 akan dilakukan metode celup panas dengan aluminium, lalu diberi perlakuan *annealing* dan selanjutnya diuji dengan pengujian tarik dan fatik untuk diketahui perambatan lelah fatiknya. Metode celup panas sendiri dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan berupa peningkatan kekuatan baja AISI 1020 itu sendiri.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisa perubahan sifat mekanik dan perilaku perambatan retak fatik baja AISI 1020 yang dilapisi aluminium dengan metode celup panas dan proses perlakuan *annealing*.
2. Menganalisa perubahan struktur mikro dan fraktografi patahan permukaan pada baja AISI 1020 setelah uji perambatan retak fatik.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah

1. Metode aluminium celup panas dengan menggunakan aluminium 99wt.%.
Temperature cair Al = 700 °C, lama pencelupan 2 menit.
2. Perlakuan panas baja hasil celup panas dengan proses *annealing*.

3. Pengujian perambatan retak fatik pada kondisi $f = 10$ Hz, rasio beban $(R) = 0.1$ dengan beban maksimum (P_{maks}) $60\% \sigma_{luluh}$.
4. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja AISI 1020.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan yang digunakan penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka menjelaskan tentang teori-teori dasar mengenai hal-hal berkaitan dengan penelitian ini.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian berisi tentang hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian yaitu, tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan penelitian, prosedur pengujian dan diagram alir pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi hasil dari penelitian yang dilakukan dan pembahasan dari data-data yang didapat setelah pengujian.

V. PENUTUP

Berisikan hal-hal tentang kesimpulan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian.

DAFTARPUSTAKA

Berisikan mengenai literatur-literatur atau jurnal internasional yang didapat penulis demi mendukung dalam penyusunan penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisikan hal-hal atau data-data hasil perhitungan yang mendukung pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja Karbon

Baja merupakan logam besi yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi pada: konstruksi bangunan, industri otomotif, perkapalan, karena kekuatan mekanik lebih besar dibanding logam lainya dan kekuatannya dapat direkayasa melalui proses pengerasan permukaan dan perlakuan panas. Selain karbon sebagai elemen utama pepadu dalam baja, unsur paduan lain seperti: Mn, P, Cu, S dan Si ditambahkan dalam jumlah relatif sedikit. Banyaknya kandungan karbon pada baja menjadi acuan dalam menentukan klasifikasi jenis baja yaitu; baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi (Smallman,1991).

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah ialah baja karbon yang memiliki unsur karbon <0.30 (wt.%). Baja karbon rendah memiliki kekuatan yang sedang dengan keuletan yang baik. Pengaplikasian baja karbon sedang dapat

ditemukan dalam rangkajembatan, komponen-komponen kendaraan bermotor, rangka kapal laut dan bangunan gedung. Kandungan karbon dalam baja karbon rendah bervariasi, tergantung dari kebutuhan baja untuk aplikasinya dalam berbagai industri. Beberapa jenis baja karbon rendah yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti AISI 1020.

Baja *American Institute and Steel Iron* (AISI) 1020 adalah baja paduan rendah dengan kandungan unsur karbon $<0,3$ wt%, dengan unsur-unsur penyusun lainnya (wt%), sebagaimana dituturkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1020(Matweb, 2018)

Unsur	Jumlah dalam wt. %
C	0,17 – 0,23
Fe	99,08 – 99,53
Mn	0,30 – 0,60
P	$\leq 0,40$
S	$\leq 0,50$

Baja AISI 1020 memiliki harga yang cukup murah dan terjangkau sehingga dapat ditemukan dimana-mana. Selain itu, baja AISI 1020 juga memiliki keuletan yang tinggi dan mudah dibentuk. Disisi lain, baja AISI 1020 memiliki kekuatan yang rendah seperti yang kita ketahui, karena baja AISI 1020 adalah baja dengan paduan karbon

rendah. Pada penggunaan baja AISI 1020 sendiri, banyak dalam hal perpipaan khususnya pada pipa-pipa pembangkit dan pipa uap panas (Matweb, 2018). Sifat mekanik baja AISI 1020 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Mekanik Baja AISI 1020(Matweb, 2018)

Nama	Satuan
Kekuatan Tarik	420 MPa
Kekuatan Luluh	350 MPa
Perpanjangan (Elongasi)	15 %
Modulus Elastisitas	200 GPa
Kekerasan (Brinell)	111 HB

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang mengandung kadar karbon dalam kisaran 0.30-0.60 wt.%. Kelebihan dari baja karbon ini dibanding baja karbon rendah yakni dari sifat mekaniknya yang lebih tinggi. Banyaknya kandungan karbon menaikkan nilai kekerasan baja tersebut sehingga memungkinkan untuk baja diberi perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Pengaplikasian baja karbon sedang antara lain untuk bahan baut, pors, engkol, pegas, roda gigi dan lain-lain.

3. Baja Karbon Tinggi

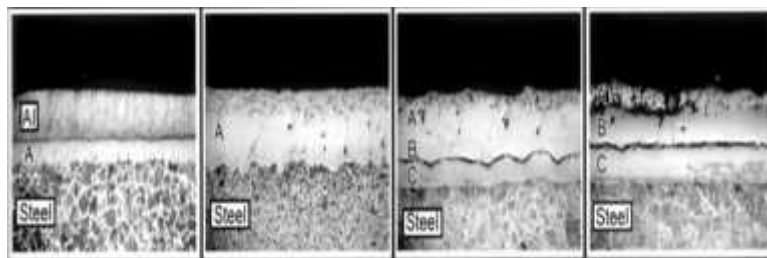
Baja karbon tinggi memiliki paduan karbon sebesar 0.70-1.5 wt.%, dengan begitu baja karbon tinggi memiliki nilai kekerasan yang sangat tinggi, namun karena tingkat kekerasannya yang tinggi, baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi sulit untuk diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya karena baja ini telah memiliki jumlah martensit yang tinggi sehingga bila diberi perlakuan panas maka hasil yang diinginkan tidak akan optimal. Baja karbon tinggi banyak digunakan dalam alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan kondisi gesekan panas tinggi seperti pahat, mata bor, peluru dan sebagainya.

B. Pelapisan dengan Metode Pencelupan Panas (*Hot-Dip Coatings*)

Proses pelapisan celup panas dilakukan dengan membersihkan logam yang akan dicelupkan terlebih dahulu dan kemudian dicelupkan pada wadah yang sudah terisi oleh logam pelapis yang sudah dilebur. Beberapa contoh dari logam pelapis yaitu aluminium, seng dan timah. Dalam metode celup panas ini, logam substrat yang sudah dicepulkan atau dilapisi logam pelapis akan terbentuk lapisan baru karena adanya perpaduan proses antarmuka (*interface alloying*). Pada hasil pelapisan celup panas terbentuk lapisan intermetalik pada dasar substrat, dan lapisan yang berada di atas pelapis yang membeku (Chamberlain, 1991).

C. Fasa Intermetalik

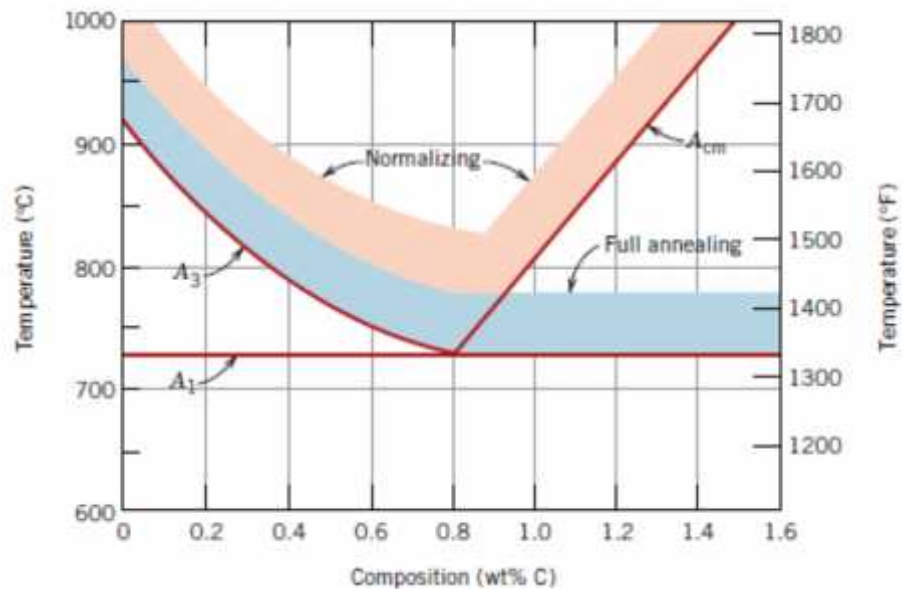
Fasa intermetalik merupakan fasa kedua yang mengendap pada struktur paduan aluminium paduan yang terbentuk akibat dari komposisi kimia yang melebihi batas kelarutannya. Fasa ini terbentuk dipengaruhi oleh komposisi dan mekanisme pembentukan yang terjadi. Menurut Kobayashi dan Yakou (2002) menyatakan bahwa saat difusi diperlakukan pada suhu yang lebih tinggi dari 1073 K, lapisan Fe_2Al_5 (lapisan A) secara istimewa tumbuh ke arah lapisan aluminium. Lapisan aluminium tipis yang dibentuk oleh perendaman pada suhu mulai dari 973 hingga 1023 K, kemudian lapisan aluminium menghilang sepenuhnya, dan lapisan pelapis diubah menjadi lapisan yang terdiri dari satu fase Fe_2Al_5 . Bila difusi diperlakukan pada suhu lebih besar dari 1273 K, FeAl (lapisan B) dan Fe_3Al (lapisan C) baru terbentuk di antarmuka antara substrat baja dan lapisan Fe_2Al_5 . Lapisan intermetalik ini hanya tumbuh pada suhu yang relatif lebih tinggi dari 1273 K. Pada Gambar 1. Menunjukkan gambaran mikrografi difusi dari baja karbon yang diberi perlakuan pada suhu 873, 1073, 1273 dan 1323 K



Gambar 1. Mikrografi difusi baja karbon diperlakukan pada 873, 1073, 1273 dan 1323 K (Kobayashi dan Yakou, 2002)

D. Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah proses pemberian panas hingga mencapai fasa yang diinginkan yang kemudian dilakukan proses pendinginan yang berbeda-beda sesuai dengan hasil yang diinginkan dari logam tersebut. Perlakuan panas yang sering digunakan antara lain: *annealing*, *quenching*, dan *normalizing*. Suhu pada proses *normalizing* dan *full annealing* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Fase Eutectoid yang menunjukkan suhu proses *Normalizing* dan *Full Annealing* (Callister dan Rethwisch, 2014)

1. Annealing

Annealing adalah perlakuan panas yang memiliki tujuan untuk meniadakan pengaruh dari *cold work* dan memiliki fungsi untuk membuat material

menjadi lebih lunak dan meningkatkan *ductility*. Dalam proses *annealing* terdiri dari tiga tahapan yaitu pemanasan dengan meningkatkan temperatur hingga mencapai temperature yang diinginkan, *holding process* dan pendinginan. Pendinginan yang dilakukan pada proses ini ialah dengan mendinginkan hingga menuju *suhu ruang di dalam tungku*. Seperti ditunjukkan pada gambar, *annealing* berkisar pada suhu 780°C hingga 980°C.

2. *Normalizing*

Normalizing adalah proses perlakuan panas dimana hasil yang didapat adalah *perlite* halus. Prosesnya hamper sama dengan proses *annealing*, namun pendinginan pada proses ini lebih cepat karena didinginkan pada udara sehingga menghasilkan baja yang lebih keras.

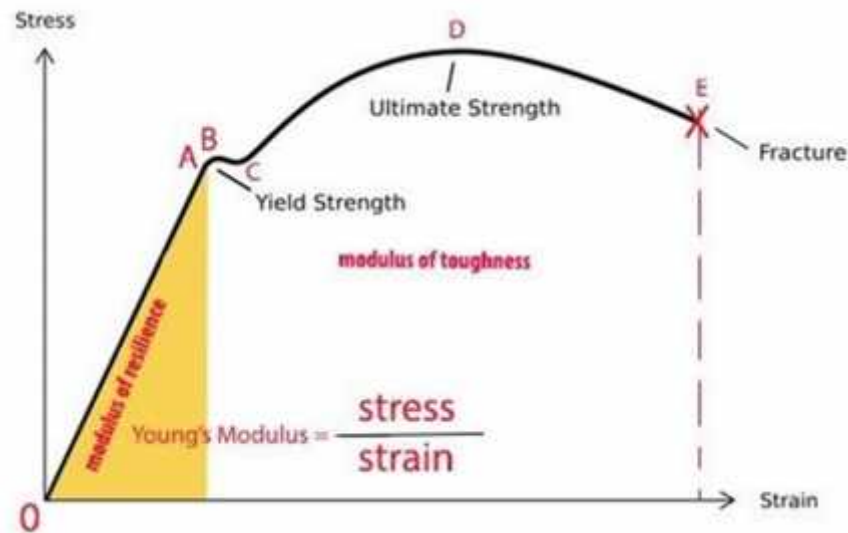
E. Pengujian mekanik

Pengujian mekanik bertujuan untuk mengetahui karakteristik baja yang dapat dinyatakan dalam kekuatan tarik-tekan, ketahanan aus, fatik dan kekerasan, untuk memastikan baja dapat digunakan untuk aplikasi yang tepat. Pada penelitian ini, pengujian mekanik dilakukan adalah pengujian tarikdan pengujian fatik.

1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik bahan. Kekuatan tarik bahan dapat ditentukan dengan menarik bahan sampai bahan putus pada kondisi kecepatan penarikan yang sesuai standar

pengujian (ASTM E8, 2002). Hasil pengujian tarik dapat digambarkan dalam bentuk grafik tegangan- regangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Tegangan Regangan(Fujiyama,2016).

Kekuatan tarik bahan dapat diturunkan dari hasil yang ditampilkan pada Gambar 3, sebagai berikut:

a. Tegangan luluh (*yield strength*)

Tegangan luluh (σ_{ys} , MPa) yakni perubahan bahan dari deformasi elastis hingga mulai mencapai deformasi plastis. Pada titik ini, bahan uji mulai mengalami deformasi plastis.

b. Tegangan maksimum (*ultimate strength*)

Tegangan maksimum atau *ultimate strength* adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan suatu bahan uji pada pengujian tarik, sebelum bahan uji tersebut patah.

Dari hasil pengujian Tarik, dapat diketahui sifat-sifat mekanik dari baja tersebut, contohnya kekuatan tarik maksimum (σ_u) yang didapatkan dari membagi beban maksimum (P_{maks}) dengan luas penampang awal (A_0). Besarnya kekuatan tarik maksimum dapat ditentukan dengan melihat kurva tegangan regangan. Kekuatan tarik maksimum dapat diperoleh dari persamaan dibawah ini :

$$\sigma_u = \frac{P_m}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

σ_u : Kekuatan tarik maksimum (MPa)

P_{maks} :Beban maksimum (kN)

A_0 : Luas penampang awal (mm²)

Sifat mekanik selanjutnya yakni kekuatan luluh (σ_y), kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi plastis yang diterapkan. Kekuatan luluh dapat didapatkan dengan membagi beban luluh P_y dengan luas penampang awal (A_0) seperti dituliskan pada persamaan di bawah ini :

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

σ_y : Kekuatan luluh (MPa)

P_y :Beban luluh (kN)

A_0 : Luas penampang awal (mm²)

Untuk mencari regangan diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan (Δ) setelah pengujian tarik dengan panjang awal (l_0), seperti yang dituliskan persamaan 2.3.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta}{l_0} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

ϵ : Regangan atau bilangan murni

Δ : Panjang batang (mm)

Δl : Perubahan panjang (mm)

l_0 : Panjang semula (mm)

Selanjutnya untuk mendapatkan hasil dari modulus elastis yaitu dengan membagi nilai tegangan (σ) dengan nilai regangan (ϵ), seperti yang dituliskan pada persamaan 2.4.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

E : Modulus elastis (N/m²)

σ : tegangan (MPa)

ϵ : regangan (mm/mm)

1. Pengujian Fatik

Fatik atau kelelahan adalah kerusakan material yang disebabkan oleh adanya tegangan yang fluktuatif yang besarnya lebih kecil daripada tegangan tarik maksimum maupun tegangan luluh material yang diberikan beban konstan. Fatik menjadi penyebab utama untuk kegagalan pemakaian. Fatik yakni kegagalan yang didahului dengan adanya retakan permukaan benda uji. Hal ini membuktikan bahwa fatik sangat terpengaruh dengan beberapa kondisi seperti, kekasaran (Dieter,1992). Fatik sendiri memiliki tiga tahapan proses, diantaranya *crack initiation*, *crack propagation* dan *fracture* secara tiba-tiba akibat pertumbuhan crack yang tidak stabil. Adapun tiga tahapan tersebut adalah sebagai berikut: (Timing, 1998).

a. *Crack Initiation* (Awal Retak)

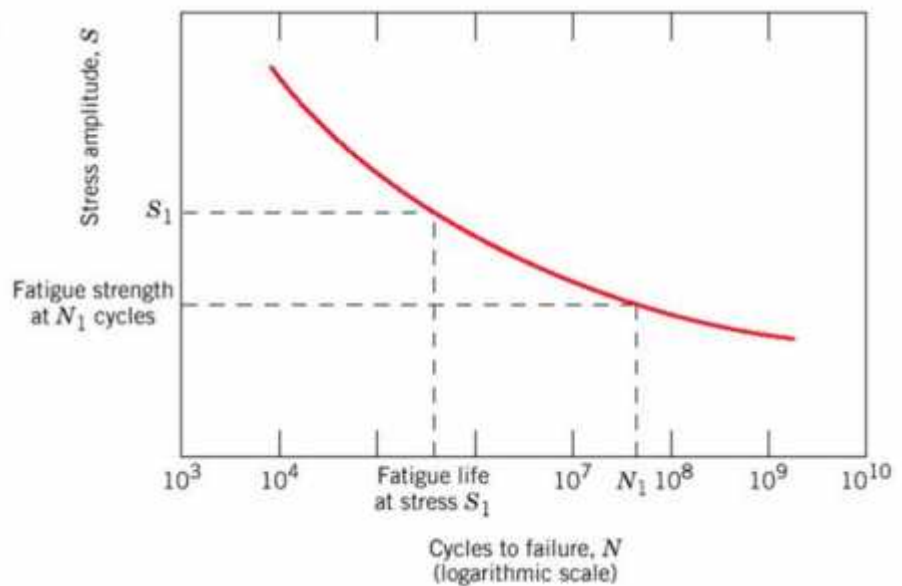
Mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits dll) akibat adanya pembebanan berulang.

b. *Crack propagation* (Perambatan Retak)

Jumlah total siklus yang menyebabkan kegagalan *fracture* merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan fase perambatannya. *Initiation Crack* ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang berujung pada *failure*.

c. *Fracture* (Patah)

Fracture adalah proses akhir kerusakan pada struktur saat mengalami pembebanan, sehingga struktur tersebut mengalami kegagalan. Ketika terjadi penjaran retak, penampang pada bagian tersebut akan berkurang. Sampai pada kondisi dimana penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban. Pada tahap ini penjaran retak yang terjadi sangat cepat sehingga struktur akan pecah menjadi dua penjaran yang cepat tersebut sering disebut *fast fracture*. Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen yang dapat dilihat pada Kurva S-N seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Ketidakteraturan dan kekasaran pada permukaan secara umum dapat mengakibatkan sifat *fatigue* lebih rendah daripada permukaan yang halus. Pada beberapa pelapisan (*chromizing*) menyebabkan kekuatan *fatigue* menjadi lebih rendah dibanding dengan tanpa pelapisan. (Collins, 1993).



Gambar 4. Kurva S-N

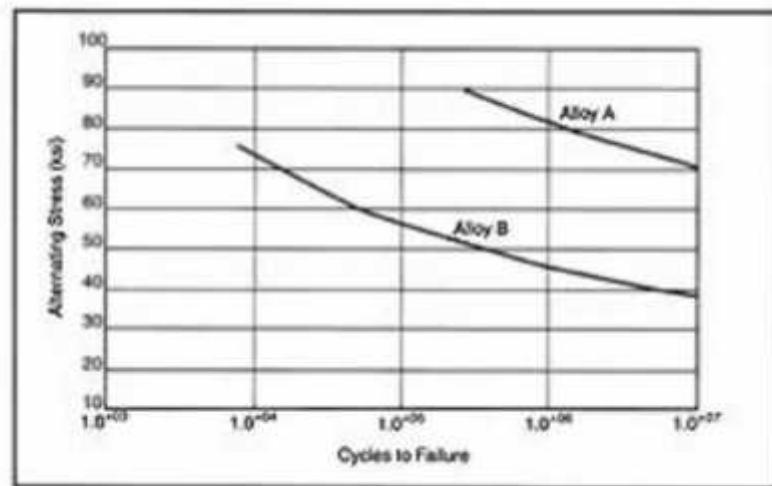
(Fujiyama,2016)

Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan *fatigue* (*endurance limit*) baja ditentukan pada jumlah siklus $N > 10^7$. (Dieter,1992).

Dalam pelaksanaannya, fatik sendiri memiliki tiga jenis umum yang sering dijumpai (Fujiyama,2015), yaitu *High Cycle Fatigue* (HCF), *Low cycle Fatigue* (LCF) dan *Thermal Mechanical Fatigue* (TMF).

High Cycle Fatigue (HCF) atau fatik siklus tinggi adalah fatik dengan amplitudo frekuensi tinggi dengan amplitudo rendah. HCF

ditandai dengan deformasi elastic dengan jumlah siklus yang tinggi. Mekanisme HCF ditentukan oleh regangan elastic siklik. Parameter yang mendukung adalah faktor konsentrasi tegangan, kekasaran permukaan dan kondisi serta tingkat tegangan rata-rata. Untuk estimasi umur, HCF menggunakan data S-N seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, yang kemudian diolah untuk mendapatkan hasil seperti Gambar 5. Dapat dilihat pada Gambar 5 bahwa siklus yang digunakan pada HCF tinggi yaitu diatas 10^7 .



Gambar 5. Data hasil pengujian *High Cycle Fatigue*

(Fujiyama,2016)

2. Pengujian OM (*Optical Microscopy*)

Optical Microscopy merupakan pemeriksaan bahan dengan menggunakan cahaya untuk memberikan gambar yang diperbesar

dari struktur mikro dan makro. Karena struktur makro dan mikro pada logam dan paduan dapat menentukan perilaku material, karakterisasi pengaruh komposisi, pengolahan, kondisi pelayanan, dan variabel lain seperti pada mikro sering diperlukan.. Karena hubungan antara struktur dan sifat, karakterisasi metalografi digunakan dalam bahan spesifikasi, kontrol kualitas, jaminan kualitas, pengendalian proses, dan analisis kegagalan. Metalografi optik berlaku untuk studi mulai dari penelitian mendasar ke evaluasi produksi.

F. Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak adalah tahap kedua dari ketiga tahap proses kegagalan/kerusakan. Dalam tahap ini retak tumbuh dan menjalar hingga mencapai batas kritis (*critical size*). Dari data perambatan retak suatu prediksi umur lelah (*fatigue life*) dapat dikembangkan.

Dari konsep *fracture mechanics* ,laju pertumbuhan retak dinyatakan dengan da/dN yang merupakan fungsi dari sifat material, panjang retak, dan tegangan operasi. Dari Hukum Paris dapat di interpretasikan bahwa laju perambatan retak sebagai :

$$da/dN = C (\Delta K)^m \dots\dots\dots(5)$$

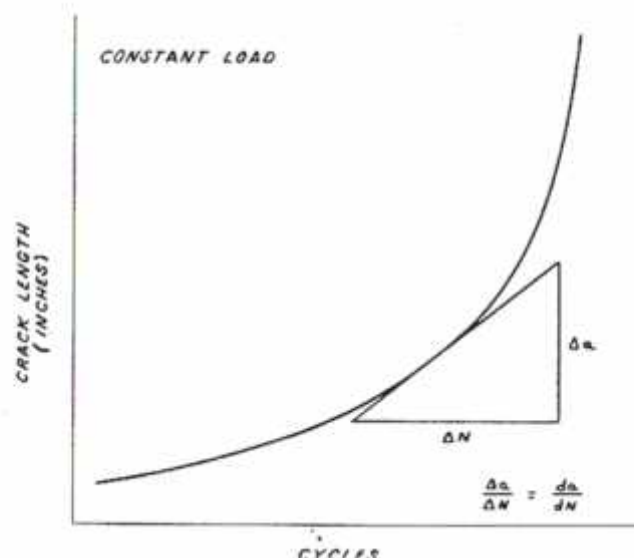
Dimana :

ΔK = Selisih faktor intensitas tegangan

C = Konstanta Bahan

m = Nilai Eksponensial

Laju perambatan retak merupakan fungsi dari faktor intensitas tegangan,. Retak berawal dari daerah yang paling lemah, kemudian berkembang seiring dengan berjalannya siklus pembebanan. Didalam suatu percobaan biasanya perambatan retak dapat diukur secara visual dengan alat teleskop. atau bisa dilakukan dengan alat ultrasonik ataupun dengan alat pengubah resistivitas listrik. Pertumbuhan retak adalah perubahan panjang retak terhadap siklus. Jika panjang retak a di plot dengan siklus N , maka dapat ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Panjang retak versus siklus(Huang Lin,2011).

Dengan mengasumsi bahwa panjang retak a pada suatu panjang konstan dan hanya tegangan yang bervariasi. Hal ini ditunjukkan untuk suatu kalibrasi K sederhana :

$$K = \sqrt{a} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

K = Faktor intensitas tegangan

= Tegangan (MPa)

a = panjang retak (mm)

$$\Delta K = \Delta \sqrt{a} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

ΔK = Selisih faktor intensitas tegangan

Δ = Selisih tegangan (MPa)

a = panjang retak (mm)

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{A} \sqrt{a} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

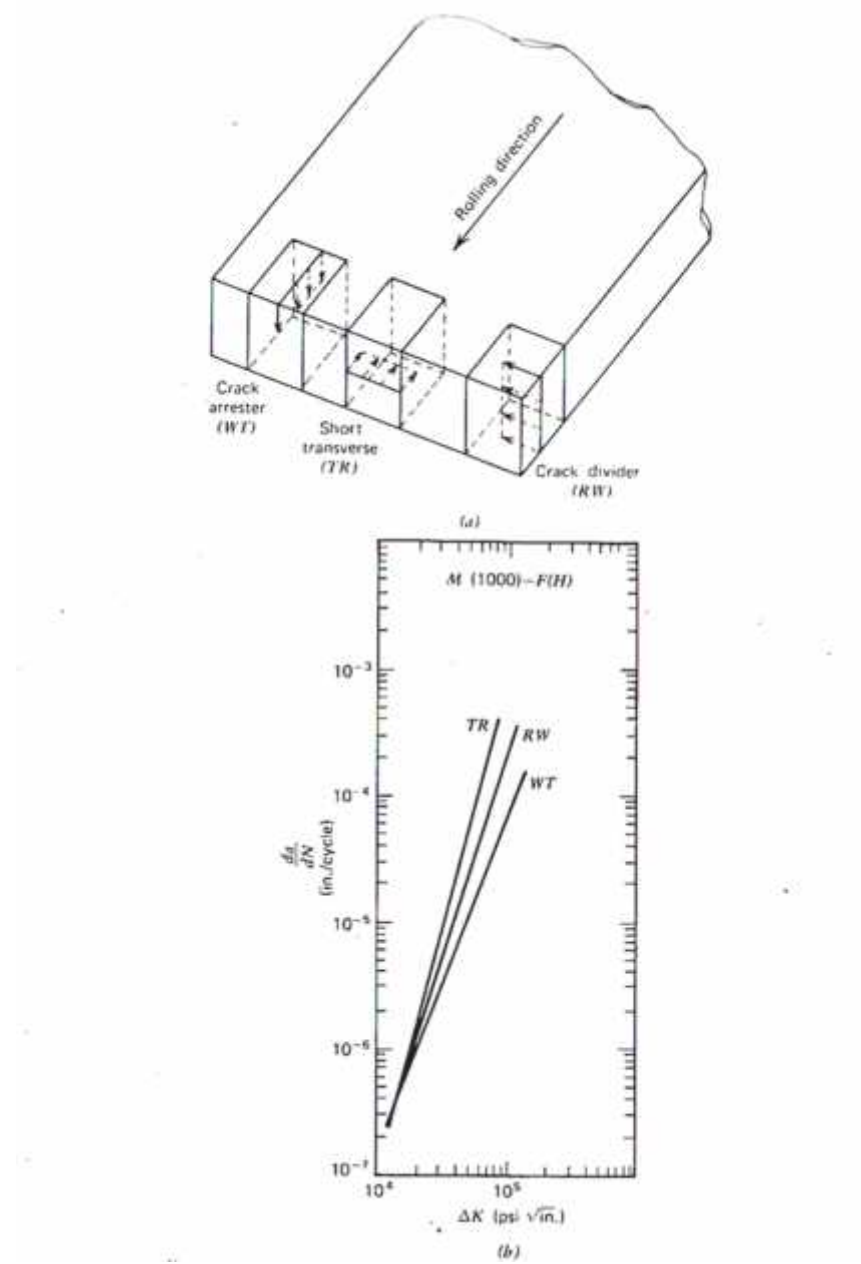
ΔK = Selisih faktor intensitas tegangan

ΔP = range beban (MPa)

A = penampang (mm²)

a = panjang retak (mm)

Hubungan antara perambatan retak dan selisih faktor intensitas tegangan serta pengaruhnya terhadap arah orientasi pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara Perambatan retak dan selisih faktor intensitas tegangan: (a). Orientasi bahan, (b). Laju pertumbuhan retak fatigue(Huang Lin,2011).

1. Pendekatan

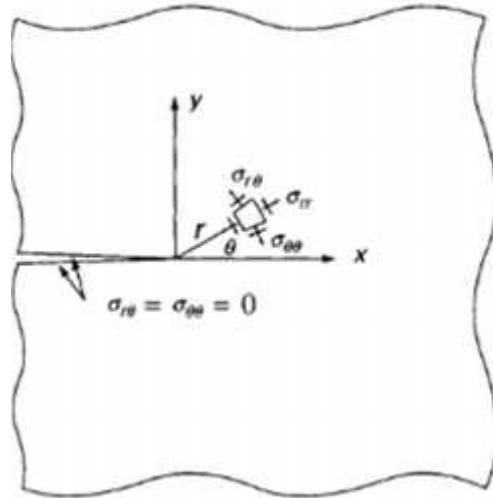
Untuk memprediksi umur lelah suatu komponen yang memiliki cacat, *defect* awal, atau diskontinuitas, maka konsep mekanika retakan (*fracture mechanics*) dikembangkan dan banyak digunakan baik secara analitis, eksperimen maupun numeric. Ada tiga tahap dalam kegagalan adalah : terbentuknya retak awal, pertumbuhan retak dan patah akhir.

Untuk mengevaluasi suatu struktur yang memiliki cacat/*flaw*, salah satu pendekatannya dengan memprediksi umur dari perambatan retak . Untuk kasus fatigue, maka metode *Linear elastic fracture mechanics* (LEFM) biasa digunakan. Hal ini dikarenakan kasus fatigue terjadi pada kondisi elastis. Namun demikian konsep mekanika retakan juga bisa diaplikasikan pada kondisi plastis dengan metode *Elastis plastic fracture mechanics* (EPFM).

a. Faktor Intensitas Tegangan

Di dalam *Linear Elastic fracture mechanics* (LEFM), ketangguhan suatu komponen, atau umur dari pertumbuhan retak dikarakteristikan dengan suatu parameter yang disebut dengan stress intensity faktor, KI. Nilai K menyatakan suatu ukuran dari besaran medan konsentrasi tegangan disekitar ujung retak.

Anggap bahwa suatu struktur yang memiliki retak dikenai tegangan tarik yang tegak lurus pada bidang retak. Seperti pada Gambar.8. Tegangan yang terjadi pada ujung retak adalah sebagai berikut :



Gambar.8. Komponen tegangan mode I(Huang Lin,2011).

$$\dagger x = \frac{KI}{\sqrt{2fr}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \dots\dots\dots(9)$$

$$\dagger y = \frac{KI}{\sqrt{2fr}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \dots\dots\dots(10)$$

$$\dagger xy = \frac{KI}{\sqrt{2fr}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \dots\dots\dots(11)$$

Stress intensity faktor pada modus ini adalah KI yang merupakan fungsi dari panjang retak (a) dan tegangan kerja. Tetapi bervariasi terhadap type retak dan beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Jadi KI dinyatakan dengan rumus :

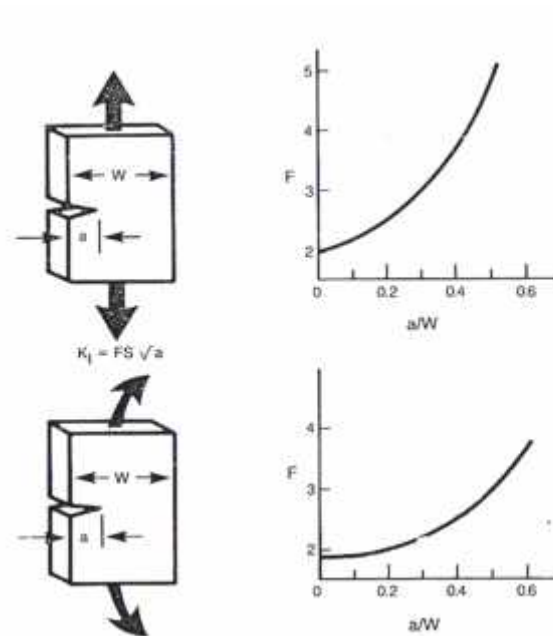
$$KI = \dagger \sqrt{a} \cdot f \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

\dagger = Tegangan nominal (MPa)

a = panjang retak (mm)

f = faktor bentuk

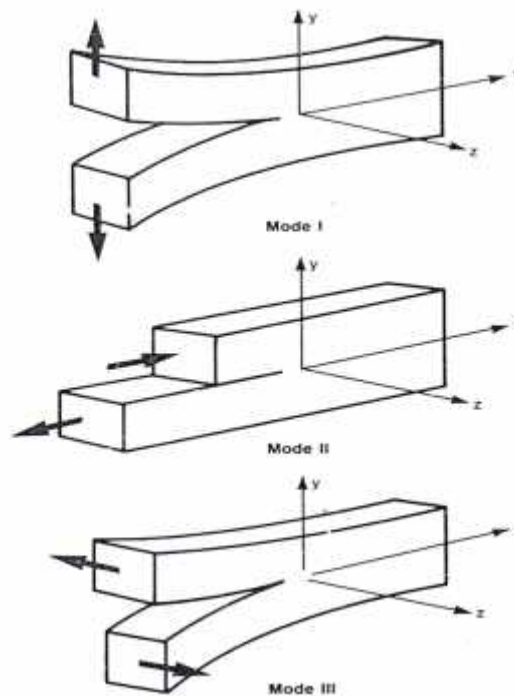


Gambar.9. *Stress intensity faktor* untuk kondisi tarikan dan bending(Huang Lin,2011).

b. *Fracture Toughness*

Sifat ketangguhan bahan didalam menahan laju retakan dinyatakan sebagai nilai ketangguhan/toughness value dari bahan ,Kc. Sepertinya sifat

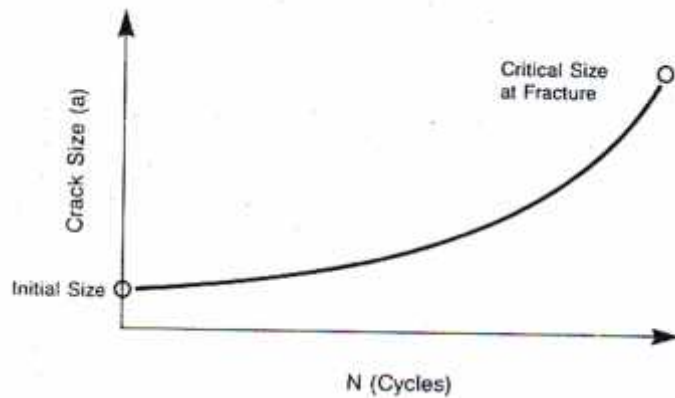
bahan pada kondisi statis dimana dinyatakan sebagai *yield strength* atau *ultimate strength*. Suatu gambaran yang penting di dalam memprediksi laju retak yang terkait dengan prediksi umur lelah, nilai K_I digunakan untuk mengevaluasi ketahanan retak dengan membandingkan nilai K_I dan nilai K_{Ic} . Jika nilai K_I berharga jauh dari K_{Ic} maka dapat dikatakan bahwa suatu konstruksi masih bisa dikatakan aman. Dan sebaliknya bila nilai K_I mendekati nilai K_{Ic} maka dapat dikatakan suatu konstruksi akan mengalami gagal/patah. Ada tiga modulus pergeseran permukaan patah yaitu modulus I (tarikan), modulus II (geseran) dan modulus III sebagai robekan seperti ditunjukkan pada Gambar.10.



Gambar.10. Modus pergeseran permukaan retak(Huang Lin,2011).

c. *Fatigue Crack Growth*

Untuk memprediksi laju pertumbuhan retak diperlukan data laju pertumbuhan retak dari material yang dibebani secara fatigue, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.11. dan 12.



Gambar.11. Skematik laju pertumbuhan retak(Huang Lin,2011).

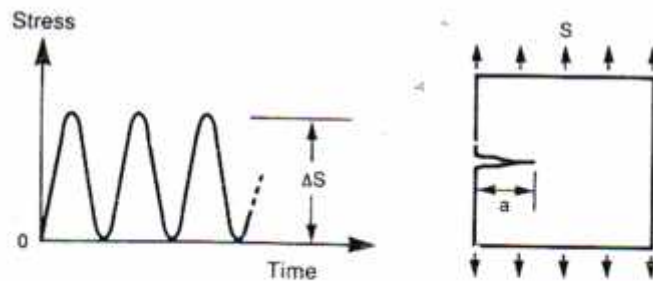


Fig. 10-32 Loading applied to generate crack growth data.

Gambar.12. Beban fatigue yang menyebabkan pertumbuhan retak(Huang Lin,2011).

Jika data $da/dN - \Delta K$ tersedia, hal ini mempermudah untuk memprediksi pertumbuhan retak untuk variasi beban, tipe retak dan sebagainya. Untuk beberapa material yang digunakan untuk paduan struktur biasanya data tersebut sudah ada. Untuk material yang belum ada datanya sebaiknya harus di generalisasi dengan mengevaluasi secara *fracture mechanics*.

Contoh beberapa material yang memiliki data antara laju pertumbuhan retak dan *range stress intensity factor* seperti ;

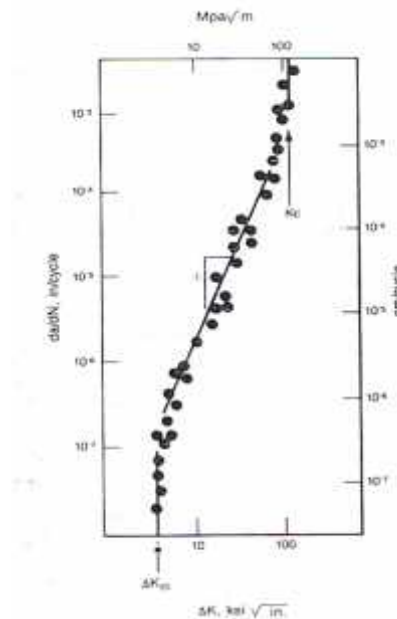
Untuk baja ferit-perlit ;

$$da/dN = 6.9 \times 10^{-12} (\Delta K)^3 \dots\dots\dots(13)$$

Untuk baja martensitik

$$da/dN = 1.4 \times 10^{-10} (\Delta K)^{2.3} \dots\dots\dots(14)$$

Untuk material-material yang belum memiliki rumus empirisnya perlu dilakukan evaluasi secara *fracture mechanics* dan dilakukan pengukuran melalui eksperimen laboratorium. Data laju pertumbuhan retak tersebar pada zone atau tahap II dari kurva sigmoid hubungan antara $da/dN - \Delta K$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar.13.



Gambar.13. Kurva sigmoidal da/dN - ΔK (Huang,Lin,2011).

Dari kurva yang ditunjukkan pada Gambar.13 di atas sangatlah penting untuk menjadi acuan didalam memprediksi laju pertumbuhan retak mulai dari retak awal hingga mengalami perambatan dan akhirnya patah statik. Setiap perkembangan pertumbuhan retak selalu diikuti oleh nilai stress intensitas tegangan KI yang berbeda-beda sesuai dengan panjang retaknya.

Patah terjadi pada panjang retak yang kritis dimana material tidak bisa lagi menahan beban yang diberikan. Patah terjadi ketika nilai ketangguhan retak /fracture toughness K_{Ic} bahan tercapai. Artinya nilai $K_I = K_{Ic}$,

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat, diantaranya :

- a. Bengkel Bubut di daerah Teluk untuk proses pembentukan Spesimen Uji Tarik dan Uji Fatik.
- b. Laboratorium Material Teknik, Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung untuk proses celup panas alumunium, proses perlakuan panas anil dan pengujian tarik dan fatik.
- c. Laboratorium LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan untuk pengujian komposisi bahan material.
- d. *Center for Material Procesing and Failure Analysis (CMPFA)* Universitas Indonesia untuk pengujian OM

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari awal Bulan April 2019 sampai dengan Bulan Juli 2019.

B. Bahan dan Alat

1. Bahan

Adapun bahan dan dimensi spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja AISI 1020. Material yang digunakan yaitu baja paduan AISI 1020 berbentuk plat yang memiliki dimensi Spesimen Uji Tarik dengan diameter 29 mm dan dipotong sepanjang 200mm. Spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E8 (Gambar 14) dibuat menggunakan mesin CNC.



Gambar. 14. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8.

Untuk Uji Fatik, Baja paduan AISI 1020 berbentuk *plate* diameter 29 mm dan dipotong sepanjang 200 mm. Spesimen uji fatik siklus sesuai standar ASTM E647 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Bentuk dan ukuran spesimen uji fatik ASTM E647

Pada specimen uji tarik dan uji fatik, masing-masing terdapat empat varasi ,yaitu tanpa perlakuan (*Base Steel*), celup aluminum (HDA), celup aluminium lalu diberi perlakuan panas anil (HDA_An) dan celup aluminum yang kemudian diberi perlakuan panas *quenching* (HDA_Q).

2. Alat-alat

Adapun alat-alat yang akan digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Mesin MTS *Landmark* 100 kN

Mesin MTS *Landmark* 100 kN merupakan alat yang digunakan untuk pengujian tarik statis dan fatik. Mesin yang digunakan dapat menerima beban hingga 100Kn. Mesin ini tersedia di Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.



Gambar 16. Mesin MTS *Landmark* 100 kN

b. Tungku Pemanas (*Furnace*)

Tungku pemanas atau *furnace* digunakan untuk melakukan proses *heat treatment* pada suatu material. Pada penelitian ini melakukan proses

anil pada spesimen dengan menggunakan *furnace* merk Nabertherm tipe L64/14 dengan daya 13.0 Kw dan temperature maksimal 1400 °C.



Gambar 17. Tungku Pemanas Nabertherm tipe L64/14

C. Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan spesimen dan pembuatan spesimen

Adapun persiapan dan pembuatan spesimen memiliki langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Material yang digunakan yaitu baja paduan AISI 1020 berbentuk pelat berdiameter 29 mm.
- b. Mengukur panjang baja paduan AISI 1020 menggunakan mistar sepanjang 30cm atau 300 mm.

- c. Setelah diukur kemudian dipotong menggunakan mesin potong ,lalu diampelas untuk menghilangkan karat pada permukaan baja tersebut.
 - d. Setelah baja paduan AISI 1020 dipotong kemudian untuk membuat spesimen uji tarik dan spesimen uji fatik. Proses pemesinan pembuatan spesimen menggunakan CNC.
2. Proses pelapisan Alumunium celup panas

Pada proses pelapisan celup panas, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan yang harus dilakukan, yaitu:

a. *Pickling*

Proses *pickling* adalah proses pembersihan spesimen dengan pembersih *ultrasonic* menggunakan larutan kimia dengan tujuan menghilangkan kotoran dan lapisan oli yang terbentuk pada spesimen. Proses pembersihan selama 2 menit, larutan kimia yang digunakan adalah HCl dengan konsentrasi 10wt%.

b. *Netralising*

Spesimen yang telah dibersihkan kemudian dinetralisasi dengan pembersih *ultrasonic* dengan menggunakan *aquades* selama 2 menit.

c. *Cleaning*

Cleaning yaitu pembersihan permukaan logam dengan pembersih *ultrasonic* dengan menggunakan *ethanol* selama 2 menit, bertujuan menghilangkan kotoran dan bentuk struktur permukaan spesimen yang baik.

d. *Fluxing* dan pengeringan sebelum pelapisan celup panas:

Fluxing merupakan proses pencelupan logam substrat ke dalam larutan fluks aluminium selama beberapa menit supaya permukaan logam substrat terlapis sempurna dengan larutan fluks aluminium.

e. Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan *furnace* dengan temperature 200 °C agar logam substrat yang telah dilapisi fluks lebih cepat mengering. Proses pengeringan ini dilakukan selama kurang lebih 3 menit.

f. Pencelupan

Proses pencelupan merupakan tahap akhir dari proses pelapisan aluminium celup panas. Proses ini dilakukan setelah aluminium 99wt% mencair dengan sempurna pada temperatur 700°C kemudian mencelupkan spesimen baja AISI 1020 kedalam *crucible* yang berisi aluminium cair dengan cara menggantungkan baja pada *crane* dengan lama pencelupan dua menit.

g. Pencucian

Pada proses pencucian setelah pelapisan ini tahapan yang dilakukan sama dengan proses pencucian sebelum pelapisan, hanya saja yang membedakannya pada proses *pickling*. Pada proses *pickling* larutan kimia yang digunakan adalah $\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{aquades}$ dengan perbandingan volume 1:1:1 dilakukan selama 10 detik, dengan tujuan

menghilangkan kotoran yang terbentuk pada spesimen setelah proses pelapisan celup panas, seperti ditunjukkan gambar 23.

3. Proses Perlakuan Anil

Setelah proses pelapisan aluminium celup panas baja AISI 1020 kemudian dilanjutkan dengan proses perlakuan anil. Adapun tahapan pada proses perlakuan anil pada baja AISI 1020, sebagai berikut:

- a. Memasukkan spesimen baja AISI 1020 ke dalam *furnace* kemudian menaikkan temperature *furnace* dari 30°C-750°C dengan lama waktu 2 jam.
- b. Setelah temperature mencapai 750°C dilakukan penahanan, dengan lama waktu penahanan 2 jam.
- c. Kemudian setelah waktu penahanan, specimen ditunggu sampai dingin di dalam *furnace*.

4. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pada spesimen Baja AISI 1020 meliputi:

a. Pengujian tarik statis

Pengujian tarik statis harus dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan data nilai tegangan luluh (σ_y) baja. Pengujian tarik ini dilakukan menggunakan mesin MTS *Landmark* 100 kN.

Adapun prosedur pengujian tarik yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E-8.

2. Membuka program *Controller 793B* setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikkan *actuator* ke posisi nol (*zero*).
3. Memasang spesimen pada *crosshead grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Menurunkan *crosshead* sampai ujung bawah spesimen masuk ke dalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Memilih *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
6. Memilih *auto offset* untuk *force*. Setelah itu *grip* bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
7. Memasang *extensometer* ke spesimen dengan posisi *zeropin*, dan klik *manual offset* untuk *extensometer*. Lalu lepaskan *zeropin* dari *extensometer*.
8. Membuka *Software MTS Test Suite (MPE)*, pilih *template* untuk uji tarik statis.
9. Memasukkan data Panjang spesimen.
10. Memasukkan *initial speed* dan *secondary speed*
11. Memasukkan semua data lalu menekan tombol RUN.
12. Mengulangi langkah 1-11 untuk pengujian berikutnya.
13. Mesin akan berhenti secara otomatis.

Dari uji tarik yang dilakukan didapatkan data-data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. sebagai berikut :

Tabel 3. Data Uji Tarik

<i>Name</i>	<i>Units</i>
<i>Tensile Strength</i>	MPa
<i>Yield Strength</i>	MPa
<i>Elasticity Modulus</i>	GPa
<i>Elongation</i>	%

b. Pengujian fatik Siklus Tinggi

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah mengetahui perambatan retak dari Baja AISI 1020.

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan yaitu :

1. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E 647
2. Membuka program Controller 793B setelah itu klik *manual command*, pilih *displacement mode*, lalu naikan *actuator* ke posisi nol (*zero*).
3. Pasang spesimen pada *cross head grip* atas kemudian spesimen dicekam.
4. Lalu *cross head* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk ke dalam grip bawah dengan kedalaman 3 cm.
5. Klik *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.

6. Kemudian klik *auto offset* untuk *force*. Setelah itu grip bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
7. Membuka Software MTS Test Suite (MPE), pilih template untuk *low cycle fatigue testing*.
8. *Extensometer model 632.13 F-20* dengan *gage length* 10 mm dan mempunyai kemampuan mengontrol regangan $\pm 15\%$ (tarik- tekan) dipasangkan pada daerah *gage length* spesimen. Pengujian *low cycle fatigue* dilakukan menggunakan MTS Landmark 100 kN dengan kondisi rasio regangan $R=1$, frekuensi 10Hz dan beban maksimum 60% ^{luluh}. Kurva *hyste resis loops* dan kurva *Force vs* jumlah siklus secara otomatis direkam selama pengujian menggunakan program MTS *Test suite* sebagai data-data kuantitatif untuk menentukan sifat fatik paduan baja AISI 1020 yang dilapi sialu minium celup panas. Model matematika akan diformulasikan dengan membandingkan hasil uji HCF pada level regangan amplitudo bervariasi dengan menggunakan pendekatan persamaan *Coffin-Manson* (Persamaan 1 dan 2), untuk menentukan kekuatan dan umur HCF bahan secara *empiric* dengan memasukan variable regangan elastis, regangan plastis terhadap jumlah siklus patah. Plot kurva *hyste resis* setiap jumlah siklus tertentu (siklus pertama, $\frac{1}{2}$ jumlah siklus, siklus terakhir) dilakukan untuk mempelajari

perilaku HCF. Semua data yang diperoleh dari hasil uji HCF dianalisis menggunakan *software MTS Fatigue Analyzer*.

Tabel 4. Variabel Pengujian fatik siklus tinggi

No	Rasio Beban (R)	P _{maks}	Frekuensi (Hz)
1	0.1	60wt% σ_y	10
2	0.1		10
3	0.1		10

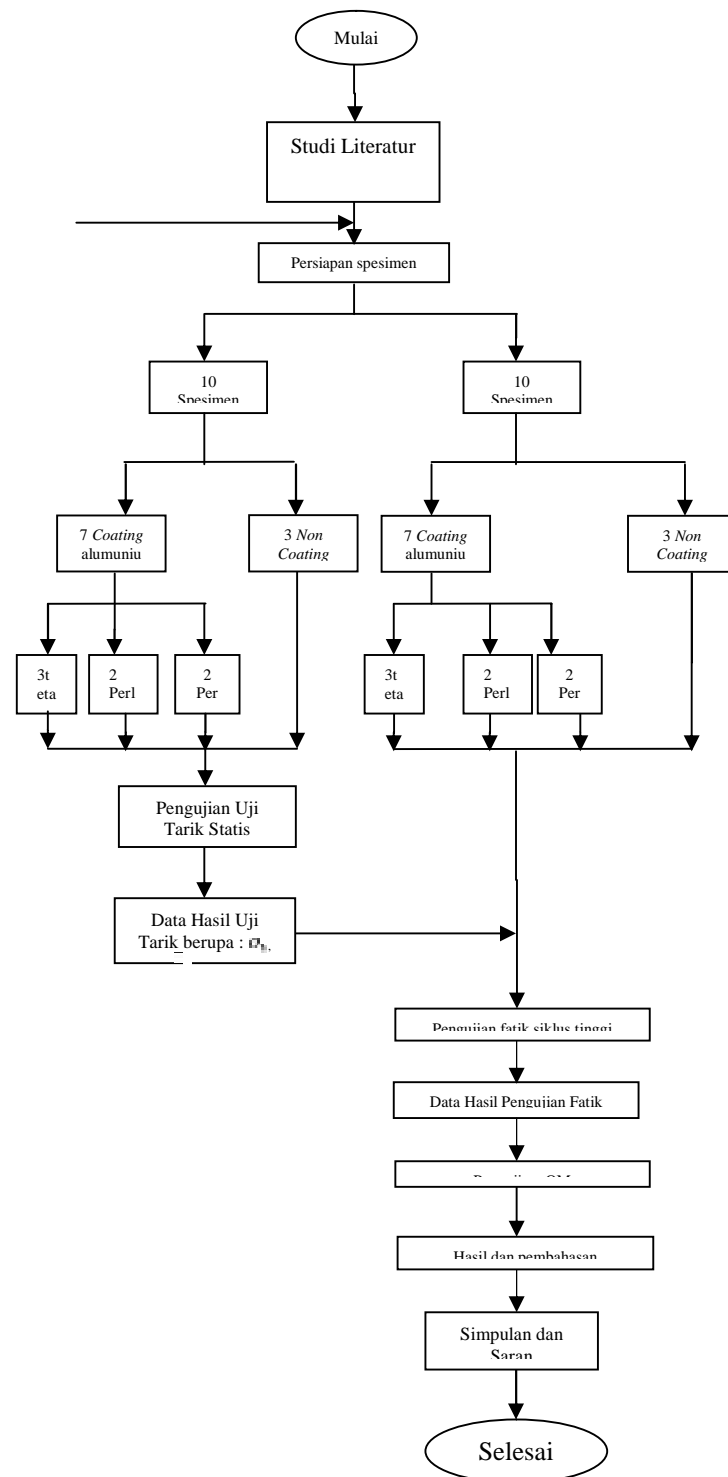
D. Observasi Mikrostruktur

Observasi mikrostruktur yang akan dilakukan, antara lain:

1. *Optical Microscopy* (OM) dengan tujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro baja AISI 1020 setelah pengujian fatik siklus rendah.

E. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian fatik siklus rendah baja AISI 1020 dilapisi aluminium celup panas, sebagai berikut:



Gambar 18. Diagram alir penelitian perambatan fatik baja AISI 1020 yang dilapisi aluminium celup panas

F. Uji Komposisi Baja AISI 1020

Bahan atau sampel yang telah siap terlebih dahulu dilakukan uji komposisi kimianya. Uji komposisi kimia dilakukan bertujuan untuk mengetahui kandungan unsure kimia yang terdapat pada baja AISI 1020 yang akan dilakukan sebelum melakukan penelitian. Adapun langkah-langkah dalam mengamati uji komposisi kimia adalah sebagai berikut:

1. Memotong sampel baja sesuai dengan bentuk dan ukuran alat uji.
2. Membersihkan sampel dengan pengikir.
3. Mengampelas sampel.
4. Menguji sampel dengan alat uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk melihat uji komposisi kimia serta unsure-unsur yang terkandung pada baja yang digunakan.

Setelah dilakukan uji komposisi Baja AISI 1020, didapatkan hasil seperti yang terlihat pada tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Baja AISI 1020

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0,18	0,282	0,505	0,0257	0,0253	0,14	0,0112	0,071	0,0033
Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Fe
0,0128	0,157	<0,004	0,0084	<0,0005	0,0154	0,0044	0,019	Bal.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan, diantaranya :

1. Perlakuan celup panas pada Baja AISI 1020 menurunkan kekuatan tariknya dari kekuatan tarik pada *Base Metal* 419,359 MPa menjadi 335,694 MPa. Perlakuan celup aluminium dan dilanjutkan dengan perlakuan panas anil menurunkan kembali kekuatan tarik AISI 1020 menjadi 265,167 MPa, sedangkan pada AISI 1020 yang dicelup aluminium dan diberi perlakuan panas *quenching* kekuatan tarik memiliki nilai paling tinggi yaitu 426,263 MPa. Perambatan retak fatik pada AISI 1020 yang tidak diberi perlakuan memiliki nilai pengerasan regangan 0,1176 dengan nilai eksponensial $m=1,985$ lalu pada AISI 1020 yang dicelup aluminium memiliki nilai pengerasan regangan 0,1543 dengan nilai $m=3,706$, sedangkan pada AISI 1020 yang dicelup aluminium dan diberi perlakuan panas anil memiliki nilai pengerasan regangan 0,1543 dengan $m=1,617$ dan terakhir AISI 1020 yang dicelup aluminium dan

diberi perlakuan panas *quenching* memiliki nilai pengerasan regangan 0,3527 dan nilai eksponensial $m=1,995$.

2. Pada pengujian struktur mikro Baja AISI 1020 yang tidak diberi perlakuan, terdapat butir *ferrit* dan *pearlit*, sedangkan pada AISI 1020 yang dicelup aluminium masih terdapat *ferrit* dan *pearlite* namun dengan jumlah yang lebih sedikit. Pada AISI 1020 yang dicelup aluminium dan diberi perlakuan panas anil, terdapat *ferrit* dan *carbide* dan juga terbentuknya fasa intermetalik (FeAl). Fasa intermetalik juga ditemukan pada AISI 1020 yang dicelup aluminium dan diberi perlakuan panas *quenching*, di dalamnya juga terdapat sedikit *pearlite*.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan AISI 1020 mengenai uji tarik dan fatik melalui pengerjaan dingin.
2. Menggunakan metode lain dalam pelapisan agar tidak menurunkan tingkat kekuatan material.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM E647. 2004. “*Metal Test Methods and Analytical Procedures, Annual Book of STM Standard*”, Sec. 3, Vol. 03.01, pg.615-657, Bar Harbor Drive WeatConshocken.

ASTM E8. 2001. “*Standard test Method for Tension Testing of Metallic Materials*”. USA.

Chamberlain J., Trethewey KR. 1991. KOROSI, PT GramediaPustakaUtama, Jakarta.

Dieter, G, E. 1986. “*MetalurgiMekanik*” edisi ke-3, alih Bahasa SriatiDjaprie, Erlangga. Jakarta.

Fujiyama, K. 2016. “*Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*”.

Smallman, R.E. 1999. “*Modern Physical Mettallurgy & Materials Engineering*”.

Broek, David. 1984. "*Elementary Engineering Fracture Mechanics*".