

**PENYIASATAN PERAMBATAN HALAJU BUNYI KE ATAS BAHAN YANG
MELALUI PROSES RAWATAN HABA MENGGUNAKAN UJIAN ULTRASONIK**

NUR FARAH HANI BINTI NOR ALZAHARI



UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

2019

PENGAKUAN

Saya dengan ini mengakui bahawa laporan yang bertajuk ‘Penyiasatan Perambatan Halaju Bunyi Ke Atas Bahan Yang Melalui Proses Rawatan Haba Menggunakan Ujian Ultrasonik’ adalah hasil kerja saya sendiri kecuali yang disertakan nama di dalam rujukan.



Tandatangan :

Nama :

اونيورسيتي تيكنيكل مليسيا ملاك

Tarikh :

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

PENGESAHAN PENYELIA

Saya akui bahawa saya telah membaca laporan ini dan melalui penilaian saya laporan ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal dengan Kepujian.



Tandatangan :

Nama Penyelia :

اوتيمر ستي تيكنيكل مليسيا ملاك

Tarikh :

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

DEDIKASI

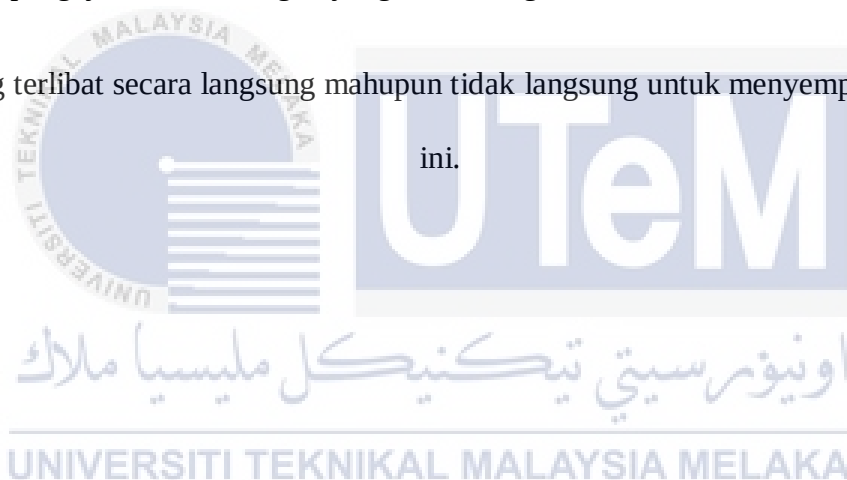
Buat mereka yang setia memberi sokongan kepada saya untuk menjayakan kajian ini

Keluarga yang dicintai

Sahabat-sahabat yang dikasihi

Tenaga pengajar dan kakitangan yang setia menghulur bantuan dan berkongsi ilmu

Mereka yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung untuk menyempurnakan kajian ini.



ABSTRAK

Perbezaan halaju bunyi bagi bahan yang melalui proses rawatan haba boleh diukur dengan pelbagai kaedah ujian musnah dan ujian tanpa musnah. Kajian ini menfokuskan penggunaan ujian ultrasonik bagi menyiasat perambatan halaju bunyi keluli karbon AISI 1050 setelah ia melalui proses rawatan haba. Ujian mikrokekerasan dan analisis mikrostruktur merupakan ujian musnah yang digunakan di dalam penyiasatan ini. 9 spesimen keluli karbon AISI 1050 melalui proses rawatan haba lindap-kejut (*quenching*) pada suhu pemanasan 800°C, 900°C dan 1000°C selama 30 minit. Kemudian, spesimen-spesimen yang sama melalui proses rawatan haba pembajaan (*tempering*) pada suhu pemanasan 300°C, 500°C dan 700°C selama 50 minit. Ujian ultrasonik, ujian mikrokekerasan dan analisis mikrostruktur dijalankan sebelum dan selepas rawatan haba selesai dijalankan ke atas spesimen-spesimen tersebut. Pembolehubah yang diambil kira semasa menjalankan proses rawatan haba ialah suhu, masa pemanasan dalam suhu-suhu yang ditetapkan dan kadar penyejukan bahan kepada suhu bilik. Data setiap ujian direkodkan untuk dibandingkan dengan spesimen rujukan yang tidak melalui sebarang proses rawatan haba. Hasil ujian menunjukkan kaitan yang positif antara halaju bunyi dengan saiz butir, iaitu saiz butir semakin mengecil dan halaju bunyi semakin perlahan dengan peningkatan suhu ketika proses rawatan haba. Namun, hasil ujian mikrokekerasan menunjukkan kaitan negatif dengan halaju bunyi dan saiz butir keluli karbon AISI 1050. Semakin mengecil saiz butir, semakin bertambah kekerasan dan semakin berkurang halaju bunyi bahan tersebut setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan. Ini membuktikan keboleharapan ujian ultrasonik dalam mengenalpasti perubahan yang berlaku ke atas saiz butir mikrostruktur dan kekerasan keluli karbon AISI 1050 setelah melalui proses rawatan haba.

ISI KANDUNGAN

HALAMAN

PENGAKUAN

PENGESAHAN PENYELIA

DEDIKASI

ABSTRAK

i

ISI KANDUNGAN

ii

SENARAI JADUAL

v

SENARAI RAJAH

vi

BAB

1. PENGENALAN

1

1. 1 Latar belakang projek

1

1. 2 Penyataan masalah

3

1. 3 Objektif

3

1. 4 Skop projek

4

1. 5 Metodologi am

4

1. 6 Kesimpulan

7

2. KAJIAN LITERATUR

8

2. 1 Keluli karbon AISI 1050

8

2. 2 Rawatan haba

10

2. 3 Ujian mikrokekerasan

13

2. 4 Analisa mikrostruktur

14

2. 5 Ujian ultrasonik

15

2. 6 Kesimpulan

18

3.	METODOLOGI	19
3. 1	Pengenalan	19
3. 2	Komposisi bahan	21
3. 3	Penyediaan spesimen	21
3. 4	Rawatan haba	23
3. 4. 1	Proses rawatan haba lindap-kejut	25
3. 4. 2	Proses rawatan haba pembajaan	29
3. 5	Ujian ultrasonik	30
3. 5. 1	Kelengkapan ujian ultrasonik	30
3. 5. 2	Penentukuran sebelum ujian	34
3. 5. 3	Pelaksanaan ujian pengukuran halaju bunyi	35
3. 5. 4	Halaju bunyi blok keluli rujukan	35
3. 5. 5	Langkah-langkah pengukuran halaju bunyi menggunakan ujian ultrasonik	35
3. 6	Ujian mikrokekerasan Vickers	38
3. 6. 1	Proses penyediaan permukaan spesimen sebelum ujian	38
3. 6. 2	Pelaksanaan ujian mikrokekerasan Vickers	42
3. 7	Analisa mikrostruktur	45
3. 7. 1	Proses punaran permukaan spesimen	46
3. 7. 2	Pelaksanaan analisa mikrostruktur	47
4.	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	49
4. 1	Pengenalan	49
4. 2	Hasil ujian ultrasonik sebelum dan selepas rawatan haba	49
4. 2. 1	Hasil penentukuran blok V1	49
4. 2. 2	Halaju bunyi menggunakan ujian ultrasonik dan angkup vernier	51
4. 3	Hasil ujian mikrokekerasan Vickers ke atas setiap spesimen	56

4. 3. 1	Analisis data setelah proses rawatan haba lindap-kejut dijalankan ke atas setiap spesimen	56
4. 3. 2	Analisis data setelah proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan dijalankan ke atas setiap spesimen	63
4. 4	Hasil analisa mikrostruktur ke atas spesimen-spesimen yang dirawat	66
4. 4. 1	Perbandingan imej mikrostruktur spesimen selepas proses lindap-kejut dijalankan pada suhu yang berbeza	66
4. 4. 2	Perbandingan imej mikrostruktur spesimen selepas proses lindap-kejut-pembajaan dijalankan pada suhu yang berbeza	70
4. 4. 3	Perbandingan saiz purata diameter butir bagi setiap spesimen selepas proses lindap-kejut dan selepas proses pembajaan dijalankan	75
4. 5	Perbincangan mengenai hubungan antara hasil ujian ultrasonik dengan ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur	77
5.	RUMUSAN DAN CADANGAN	79
5. 1	Rumusan	79
5. 2	Cadangan	81
RUJUKAN		82
LAMPIRAN		86

SENARAI JADUAL

JADUAL	TAJUK	HALAMAN
3. 1	Komposisi keluli karbon AISI 1050 (Sumber: Azom, 2012).	21
3. 2	Spesimen-spesimen dikategorikan mengikut suhu yang ditetapkan semasa proses rawatan haba.	23
3. 3	Peraturan pengekalan pemanasan di dalam relau bagi bahan yang mempunyai ketebalan kurang daripada 25mm. (Sumber: Bryson, 2005)	27
3. 4	Fungsi-fungsi butang alat pengesan kecacatan ultrasonik Kraukramer.	32
4. 1	Halaju bunyi bagi setiap spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut pada suhu yang berbeza.	53
4. 2	Halaju bunyi bagi setiap spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan pada suhu yang berbeza.	53
4. 3	Data kekerasan yang direkodkan pada titik pelekukan yang berbeza bagi setiap spesimen yang melalui rawatan haba lindap-kejut pada suhu yang berbeza.	58
4. 4	Kekerasan bagi 10 titik pelekukan untuk setiap spesimen beserta rujukan selepas proses lindap-kejut dan pembajaan.	65
4. 5	Purata diameter butir setiap spesimen selepas proses lindap-kejut dijalankan.	76
4. 6	Purata diameter butir setiap spesimen selepas proses pembajaan dijalankan.	76

SENARAI RAJAH

RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1. 1	Carta alir proses-proses yang terlibat dalam kajian.	6
2. 1	Diagram fasa keluli karbon.	12
3. 1	Carta alir metodologi.	20
3. 2	Dimensi awal bahan keluli karbon AISI 1050 sebelum dipotong.	22
3. 3	9 spesimen yang akan melalui rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan.	22
3. 4	Relau rawatan haba suhu sederhana yang digunakan.	24
3. 5	Bekas yang digunakan untuk lindap-kejut spesimen di dalam air.	24
3. 6	Kelengkapan keselamatan (PPE) yang digunakan ketika proses rawatan haba dijalankan.	24
3. 7	Alatan untuk mengangkat spesimen pada suhu yang tinggi.	25
3. 8	Graf proses rawatan haba lindap-kejut yang dijalankan.	26
3. 9	Alat kawalan relau di mana suhu dan masa sepanjang proses rawatan haba ditetapkan.	27
3. 10	Graf proses rawatan haba pembajaan yang dijalankan.	30
3. 11	Pengesan kecacatan ultrasonik Krautkramer, model USM 35.	31
3. 12	Kuar berfrekuensi 5MHz yang digunakan untuk ujian ultrasonik.	32
3. 13	Blok rujukan V1 dengan ketebalan 25 mm.	33
3. 14	Ketebalan blok V1 yang dirujuk untuk proses penentukuran.	33
3. 15	Minyak motor pelbagai guna sebagai pengganding.	34
3. 16	Angkup vernier.	34
3. 17	Susun atur radas dan kelengkapan ujian ultrasonik pada spesimen.	36

3. 18	Mesin pencanai dan penggilap dan kertas canai grit berbeza yang digunakan di dalam kajian ini.	39
3. 19	Pes intan 3 mikrometer yang digunakan untuk proses menggilap spesimen.	39
3. 20	Mikroskop cahaya yang digunakan untuk memantau permukaan spesimen semasa proses penyediaan permukaan spesimen.	40
3. 21	Permukaan spesimen yang siap dicanai dan digilap.	41
3. 22	Spesimen-spesimen diasingkan di dalam bekas yang berasingan dan tertutup.	41
3. 23	Mesin ujian mikrokekerasan Vickers Shimadzu HMV-G.	42
3. 24	Gambaran lokasi titik pelekukan untuk ujian mikrokekerasan ke atas permukaan spesimen.	43
3. 25	Hujung alatan pelekukan yang sedang mengenakan tekanan ke atas permukaan spesimen.	44
3. 26	Lokasi pelekukan dianalisa menggunakan mikroskop dengan pembesaran 40x ganda.	44
3. 27	Tahap kekerasan pada lokasi permukaan yang dikenakan tekanan ditunjukkan pada skrin beserta imej lekukan.	45
3. 28	Garisan yang dibuat pada imej butiran spesimen di bawah mikroskop untuk mengenalpasti saiz butir pada permukaan yang dipunar.	48
4. 1	Prosedur penentukuran ke atas blok V1.	50
4. 2	Gema pantulan belakang berganda yang terhasil semasa proses penentukuran.	50
4. 3	Ujian ultrasonik ke atas spesimen rujukan.	52
4. 4	Gema pantulan berganda yang terhasil pada skrin CRT untuk spesimen rujukan.	52
4. 5	Perbandingan halaju bunyi spesimen pada ketiga-ketiga suhu lindap-kejut yang berbeza dengan spesimen rujukan.	54
4. 6	Perbandingan setiap spesimen antara halaju bunyi selepas lindap-kejut dan halaju bunyi selepas lindap-kejut dan pembajaan.	54

4. 7	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen A setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	58
4. 8	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen B setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	59
4. 9	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen C setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	59
4. 10	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen D setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	60
4. 11	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen E setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	60
4. 12	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen F setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	61
4. 13	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen G setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	61
4. 14	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen H setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	62
4. 15	Trend kekerasan Vickers bagi spesimen I setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.	62
4. 16	Trend kekerasan Vickers bagi kesemua spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut pada tiga suhu yang berbeza beserta spesimen rujukan.	63
4. 17	Trend kekerasan bagi setiap spesimen setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan.	65
4. 18	Perbandingan nilai kekerasan Vickers bagi setiap spesimen setelah melalui proses lindap-kejut dan lindap-kejut + pembajaan pada suhu yang berbeza.	66
4. 19	Butir mikrostruktur spesimen rujukan yang dilihat di bawah mikroskop.	67
4. 20	Mikrostruktur spesimen B selepas proses lindap-kejut pada suhu pemanasan 800°C.	67
4. 21	Mikrostruktur spesimen F selepas proses lindap-kejut pada suhu pemanasan 900°C.	68
4. 22	Mikrostruktur spesimen G selepas proses lindap-kejut pada suhu pemanasan 1000°C.	68

4. 23	Spesimen A selepas proses lindap-kejut pada suhu 800°C dan pembajaan pada suhu 300°C.	70
4. 24	Spesimen B selepas proses lindap-kejut pada suhu 800°C dan pembajaan pada suhu 500°C.	71
4. 25	Spesimen C selepas proses lindap-kejut pada suhu 800°C dan pembajaan pada suhu 700°C.	71
4. 26	Spesimen D selepas proses lindap-kejut pada suhu 900°C dan pembajaan pada suhu 300°C.	72
4. 27	Spesimen E selepas proses lindap-kejut pada suhu 900°C dan pembajaan pada suhu 500°C.	72
4. 28	Spesimen F selepas proses lindap-kejut pada suhu 900°C dan pembajaan pada suhu 700°C.	73
4. 29	Spesimen G selepas proses lindap-kejut pada suhu 1000°C dan pembajaan pada suhu 300°C.	73
4. 30	Spesimen H selepas proses lindap-kejut pada suhu 1000°C dan pembajaan pada suhu 500°C.	74
4. 31	Spesimen I selepas proses lindap-kejut pada suhu 1000°C dan pembajaan pada suhu 700°C.	74
4. 32	Trend purata saiz diameter butir setiap spesimen bagi kedua-dua proses rawatan haba yang dijalankan.	77

BAB I

PENGENALAN

1. 1 Latar belakang projek

Keluli karbon AISI 1050 merupakan keluli karbon yang boleh diubahsuai kekerasannya dengan kaedah rawatan haba seperti lindap-kejut dan pembajaan. Komposisi kimianya terdiri daripada karbon, silikon dan mangan. Ciri-ciri fizikal keluli karbon gred ini ialah, kalis kehausan dan mempunyai tahap kekerasan yang tinggi. Antara aplikasi keluli karbon jenis AISI 1050 ialah sebagai komponen pemotong berkualiti tinggi, digunakan sebagai kelengkapan untuk pembedahan dan juga dalam pembuatan gelas bebola kecil tahan karat. Bagi menghasilkan keluli karbon dengan ciri-ciri yang sesuai digunakan dan mencapai tahap yang diperlukan untuk pelbagai aplikasi, rawatan haba merupakan proses yang boleh membantu dalam memodifikasi sifat keluli agar dapat memenuhi permintaan dalam industri.

Proses rawatan haba merupakan proses pemanasan dan penyejukan logam bagi mengubah sifat-sifat mekanikal logam. Ianya merupakan kaedah yang kerap digunakan bagi meningkatkan tahap kekerasan logam, di samping mengubah sifat-sifat mekanikal lain seperti kebolehbentukan dan kebolehmesinan. Mikrostruktur logam yang melalui proses rawatan haba berubah mengikut parameter-parameter yang berkait dengan proses rawatan haba yang digunakan. Proses rawatan haba ke atas logam seringkali dilakukan untuk penyesuaian terhadap aplikasi yang memerlukan ketahanan yang lebih tinggi seperti alatan memotong dan pemesinan.

Kaedah ujian musnah atau *Destructive Testing* (DT) dan ujian tanpa musnah atau *Non-destructive Testing* (NDT), berpotensi untuk mengenalpasti ciri-ciri bahan sebelum dan selepas rawatan haba dijalankan ke atas sesuatu bahan. Ujian mikrokekerasan dan analisis mikrostruktur merupakan kaedah yang paling lama digunakan dalam mengkaji sifat-sifat mekanikal bahan dan juga mikrostruktur bahan dalam industri pembuatan bahan logam. Ujian ultrasonik merupakan kaedah ujian tanpa musnah yang berupaya menjimatkan masa dan mempunyai kelebihan dalam mengenalpasti perubahan perambatan halaju bunyi bahan. Melalui perbandingan halaju bunyi sesuatu logam dengan parameter yang berbeza ketika proses rawatan haba dijalankan, sifat-sifat mekanikal bahan tersebut dapat diketahui.

Melalui projek ini, keluli karbon AISI 1050 melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan dengan tiga suhu yang berbeza. Kemudian, ujian ultrasonik dijalankan bagi menilai perubahan yang berlaku ke atas halaju bunyi setiap spesimen. Ujian mikrokekerasan dijalankan bagi mengetahui perubahan mikrokekerasan di atas permukaan keluli karbon yang telah dirawat. Analisis mikrostruktur pula dijalankan bagi mengkaji perubahan saiz butir mikrostruktur spesimen tersebut dan perubahan fasa logam tersebut setelah melalui proses rawatan haba. Hasil ketiga-tiga ujian direkodkan untuk dibandingkan dengan spesimen rujukan. Kajian mendapati, halaju bahan akan berubah dengan perubahan pada saiz butir mikrostruktur dan kekerasan keluli karbon.

1.2 Penyataan masalah

Ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur merupakan kaedah pemeriksaan yang sering digunakan ke atas keluli karbon yang melalui proses rawatan haba. Namun begitu, kaedah-kaedah ini memakan masa, merosakkan bahan dan memerlukan pemeriksaan dijalankan di dalam makmal. Kaedah ujian tanpa musnah yang kini mendapat permintaan yang tinggi dalam industri bagi menggantikan kaedah-kaedah ujian musnah, menjadi persoalan tentang kebolehharapannya berbanding ujian musnah yang sedia ada digunakan. Ujian ultrasonik adalah salah satu ujian tanpa musnah yang dijangka akan menjimatkan masa, mengekalkan keadaan struktur setelah ujian dan tidak memerlukan sampel dibawa ke makmal untuk pemeriksaan. Kajian ini dijalankan bagi mengenalpasti sama ada halaju bunyi mempunyai perkaitan dengan perubahan pada kekerasan dan saiz butir permukaan keluli karbon AISI 1050. Dapatan yang diperlukan ialah, sama ada ujian ultrasonik mampu untuk diharapkan dalam pemeriksaan bahan selain daripada kedua-dua ujian musnah yang disebutkan bagi penjimatan masa ketika pemeriksaan, tidak memperuntukkan kemusnahan bahan jika hendak diperiksa dan peralatan yang mudah alih.

1.3 Objektif

Tujuan projek ini dijalankan adalah untuk:

- i. Untuk menyiasat halaju bunyi keluli karbon AISI 1050 yang melalui proses rawatan haba menggunakan ujian ultrasonik.
- ii. Untuk menyiasat perubahan mikrostruktur dan kekerasan keluli karbon AISI 1050 yang melalui proses rawatan haba.

- iii. Untuk menyiasat kebolehharian ujian ultrasonik dalam mengenalpasti perubahan mikrostruktur dan kekerasan keluli karbon AISI 1050 setelah melalui proses rawatan haba.

1.4 Skop projek

Skop-skop projek ini ialah:

1. Kajian dijalankan ke atas keluli karbon AISI 1050.
2. Kajian melibatkan proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan.
3. Kajian menggunakan air sebagai bahantara lindap-kejut.
4. Kajian ultrasonik dijalankan menggunakan kuar jenis tunggal.

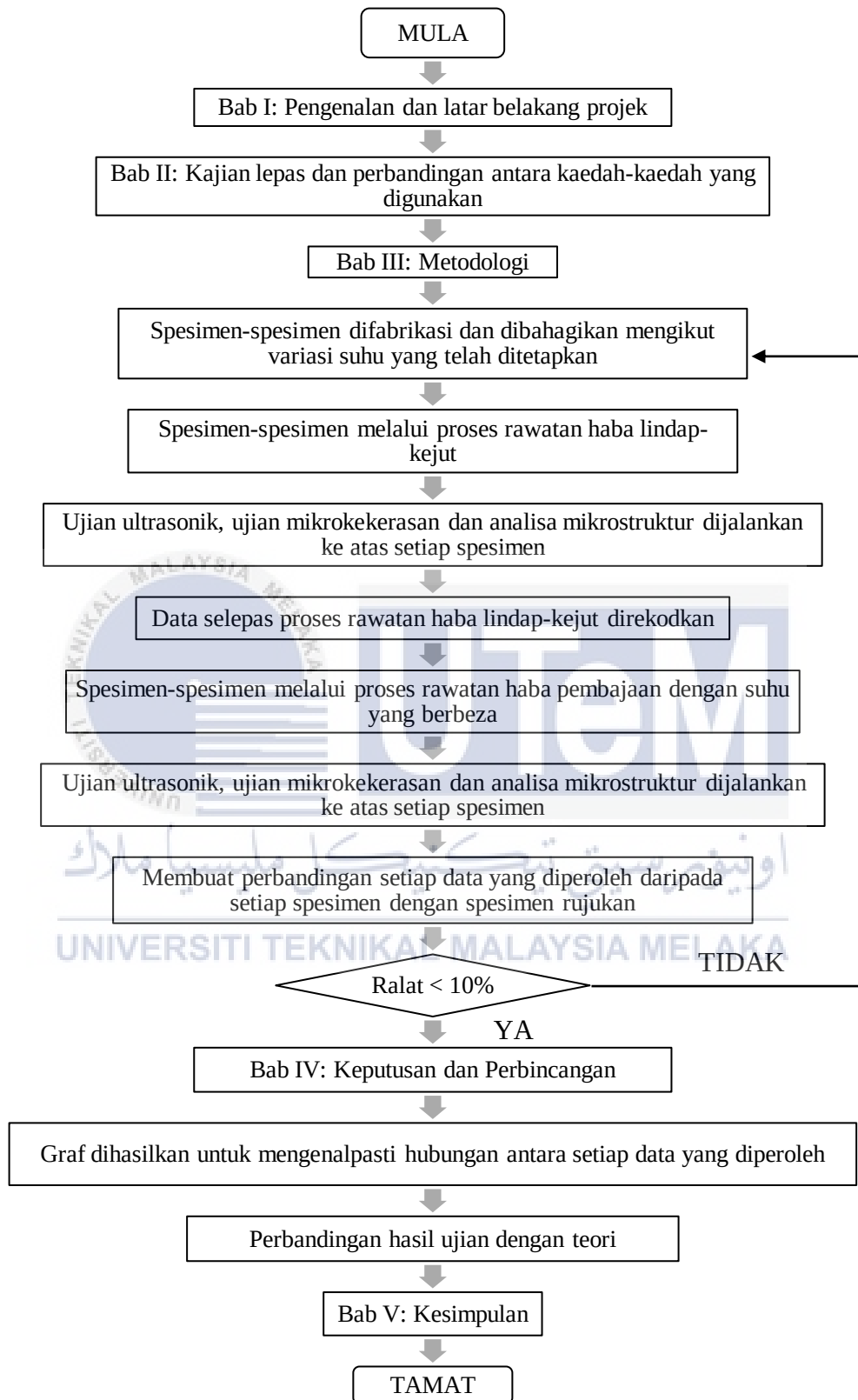
1.5 Metodologi am

Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mengenalpasti kesan proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan dalam tempoh masa yang berbeza terhadap mikrostruktur, mikrokekerasan dan halaju bunyi bahan keluli karbon AISI 1050. Projek ini menggunakan tiga kaedah menganalisa perubahan pada keluli karbon setelah melalui proses rawatan haba tersebut. Bagi mengukur kekerasan spesimen yang kecil pada kawasan yang telah dipilih untuk diukur, ujian mikrokekerasan dijalankan bagi tujuan tersebut. Analisa mikrostruktur bahan dijalankan bagi mengenalpasti perubahan struktur bahan aloi seperti perubahan pada saiz butir dan juga perubahan fasa struktur bahan tersebut. Ujian ultrasonik dijalankan bagi mengkaji perubahan halaju bunyi bahan setelah melalui proses rawatan haba. Melalui data-data yang diperoleh daripada ketiga-tiga analisa dan ujian tersebut, hubungan antara perubahan mikrokekerasan dan mikrostruktur dengan perubahan halaju bunyi bahan dapat dikenalpasti dan dibandingkan.

Kajian lepas tentang proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan dijalankan bagi mengetahui kaedah rawatan haba yang bersesuaian dengan bahan yang hendak dikaji. Kajian lepas juga dijalankan berkaitan dengan penggunaan ujian mikrokekerasan, analisa mikrostruktur dan ujian ultrasonik ke atas bahan-bahan logam keluli karbon. Selain itu, kajian lepas juga tertumpu pada perubahan fasa struktur keluli yang melalui proses penyejukan menggunakan bahantara air.

Kajian ini melibatkan penggunaan peralatan makmal sains bahan untuk menjalankan proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan. Makmal *Advance Machine Laboratory* (AMCHAL) menyediakan peralatan untuk menguji mikrokekerasan spesimen-spesimen di dalam ujikaji ini dan juga untuk mengenalpasti perubahan mikrostruktur pada spesimen sebelum dan selepas rawatan haba. Penggunaan makmal ujian tanpa musnah tertumpu pada ujian ultrasonik bagi mengesan halaju bunyi logam. Setiap data yang diperoleh direkodkan dan dibandingkan dengan halaju bunyi setiap spesimen logam yang melalui rawatan haba dengan variasi suhu yang telah ditetapkan. Data spesimen-spesimen ini juga dibandingkan dengan data yang diperoleh pada spesimen rujukan yang tidak melalui proses rawatan haba.

Kesimpulan dan rekomendasi juga disempurnakan berdasarkan objektif dan hasil kajian. Carta alir kajian yang telah dibuat adalah seperti di dalam



Rajah 1. 1: Carta alir proses-proses yang terlibat dalam kajian.

1. 6 Kesimpulan

Projek ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara halaju bunyi keluli karbon AISI 1050 yang melalui proses rawatan haba dengan perubahan mikrostruktur dan kekerasannya setelah melalui proses rawatan haba, dengan memanipulasi suhu lindap-kejut dan pembajaan. Kajian ini juga akan menentukan sama ada ujian tanpa musnah melalui ujian ultrasonik merupakan kaedah yang mempunyai kebolehharapan yang tinggi bagi menunjukkan perubahan yang berlaku di dalam struktur mikro sesuatu bahan setelah melalui proses rawatan haba. Kajian melibatkan proses rawatan haba dan tiga ujian iaitu ujian ultrasonik, ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur.

Bab seterusnya memuatkan kajian-kajian lepas berkaitan dengan kajian ini. Kajian-kajian lepas akan membincangkan ciri-ciri bahan keluli karbon, kaedah-kaedah ujian yang terlibat, teknologi dan prinsip-prinsip yang digunakan oleh pengkaji-pengkaji sebelum ini. Metodologi kajian akan dibincangkan untuk mengenalpasti prosedur-prosedur yang tepat untuk memastikan kajian berjalan dengan lancar.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Keluli karbon AISI 1050

Keluli dihasilkan dengan cara mencampurkan satu peratus kecil karbon kepada bijih besi. Penambahan karbon kepada besi tulen yang bersifat lembut dan mulur akan mengubah sifatnya kepada keadaan lebih keras dan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi. Bryson (2005) di dalam kajiannya menyatakan bahawa, lebih tinggi kandungan karbon di dalam keluli, lebih keras keluli tersebut di dalam kedua-dua keadaan lindap-kejut dan pengerasan. Namun, apabila peratus karbon yang ditambah mencecah atau melebihi julat 3%, logam tersebut akan melalui satu perubahan daripada hasil penambahan kandungan karbon yang tinggi dan bertukar daripada keluli menjadi besi tuang.

Dalam gred AISI 1050, angka “10” menunjukkan keluli ini merupakan keluli karbon biasa yang tidak disulfurkan. Penambahan sulfur kepada keluli akan menambahkan kebolehmesinan keluli tersebut. Set angka kedua pula menunjukkan peratus julat karbon yang terkandung di dalam keluli tersebut. Angka “50” menunjukkan namaan kandungan karbon sebanyak 0.50% yang telah ditambahkan di dalam logam tersebut. Keluli karbon AISI 1050 adalah di dalam kategori keluli karbon sederhana di mana julat kandungan karbon bagi keluli karbon sederhana ialah dalam lingkungan 0.25% hingga 0.60%. Menurut Bryson, keluli-keluli

dalam kategori ini boleh dikeraskan tetapi ianya tidak akan mencapai tahap kekerasan di mana ianya boleh digunakan untuk kebanyakan aplikasi perkakasan.

Elemen-elemen yang dikenalpasti terdapat di dalam keluli karbon AISI 1050 ini ialah karbon sebanyak 0.47 hingga 0.55%, sulfur tidak melebihi 0.05%, mangan sebanyak 0.60 hingga 0.90%, fosforus tidak melebihi 0.04% dan besi dengan peratusan sebanyak 98.4 hingga 98.92% (Azom, 2012). Julat karbon yang terdapat di dalam gred keluli karbon ini membolehkan pengerasan selongsong dibuat dengan lebih mudah. Mangan berfungsi sebagai elemen yang akan meningkatkan kebolehan pengerasan yang lebih dalam. Ciri-ciri keluli karbon AISI 1050 antaranya ialah mempunyai tahap kalis kehausan yang tinggi dan boleh digunakan dalam aplikasi seperti komponen memotong juga untuk kelengkapan pembedahan. Kaedah rawatan haba berpotensi untuk mengubah sifat mekanikal logam ini untuk menepati ciri-ciri yang diperlukan bagi aplikasi-aplikasi yang dinyatakan.

Bedekar et al. (2014) telah menemukan bahawasanya, tiada bukti yang dapat menunjukkan sebarang retakan yang terhasil pada sampel keluli karbon AISI 1050 apabila melalui proses pembentukan secara aliran. Ini menunjukkan sifat keluli karbon jenis ini yang mempunyai ketahanan yang tinggi untuk berubah bentuk. Baday et al. (2016) di dalam kajiannya telah menggunakan keluli karbon AISI 1050 untuk menyiasat kesan perbezaan mikrostruktur apabila melalui proses kitaran rawatan haba pada aplikasi yang berbeza iaitu pada daya memotong dan nilai kekasaran permukaan. Penemuan di dalam kajian tersebut mendapati bahawa daya memotong keluli karbon sederhana berkurang disebabkan peningkatan saiz purata butiran sfera pada permukaan, manakala kadar kekasaran permukaan sampel meningkat dengan peningkatan masa pembentukan sfera pada butiran permukaan keluli tersebut.

2.2 Rawatan haba

Setiap bahan daripada pelbagai unsur kimia memerlukan rawatan haba untuk menambahbaik sifat semulajadi bahan tersebut. Rawatan haba ialah proses pemanasan dan penyejukan logam untuk mengubah ciri-ciri atau sifat-sifat fizikal dan mekanikalnya, tanpa mengubah bentuk logam tersebut (Sinnit, 2011). Callister (1991) mencadangkan, untuk mendapatkan hasil yang baik dalam proses rawatan haba bagi menghasilkan mikrostruktur martensitik yang dominan di dalam logam tersebut, terdapat tiga faktor yang perlu diambil kira iaitu, komposisi aloi tersebut, jenis dan ciri-ciri bahantara lindap-kejut dan juga bentuk dan saiz spesimen yang hendak dirawat.

Proses lindap-kejut dalam rawatan haba merupakan proses penyejukan secara pantas menggunakan bahantara air ataupun minyak. Kadar penyejukan bagi rawatan lindap-kejut bergantung kepada nisbah luas permukaan kepada jisim spesimen yang hendak diuji. Lebih besar nisbah ini, lebih cepat kadar penyejukan dan lebih mendalam kesan pengerasan. Bentuk-bentuk yang mempunyai bucu dan sudut adalah lebih baik digunakan kerana, ianya mempunyai nisbah permukaan kepada jisim yang lebih tinggi berbanding sfera atau silinder. Keluli karbon AISI 1050 merupakan keluli yang mempunyai kandungan karbon yang tinggi, di mana setelah melalui proses rawatan lindap-kejut pada suhu yang tinggi akan menjadikan ia cukup kuat dan mampu menahan kejutan haba (Asst, 2016).

Proses pembajaan merupakan proses untuk membaikpulih ketahanan keluli yang keras dan rapuh selepas melalui proses lindap-kejut. Setelah keluli melalui proses lindap-kejut, martensit akan menjadi sangat keras dan sangat rapuh sehingga ianya tidak sesuai untuk digunakan dalam kebanyakan aplikasi. Proses pembajaan akan membebaskan tekanan dalaman yang terhasil melalui proses lindap-kejut pada keluli tersebut. Secara normalnya, pembajaan

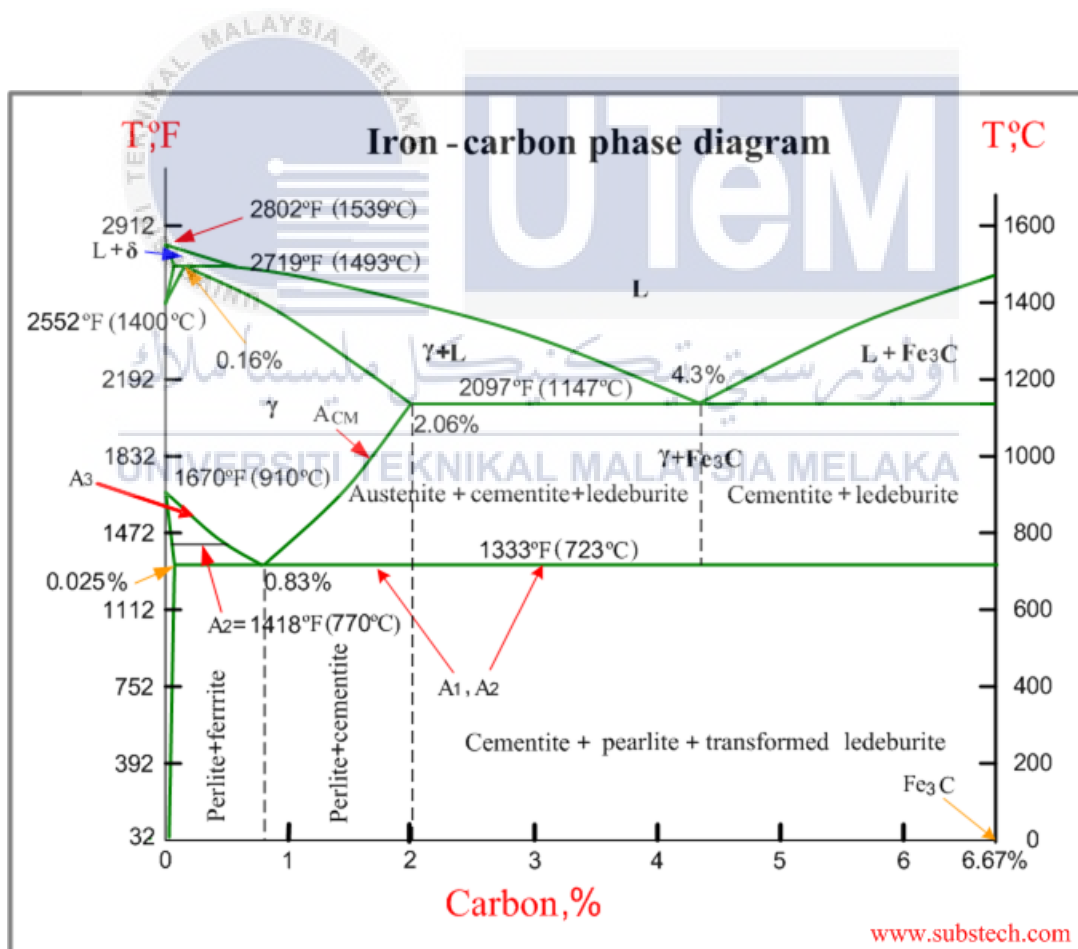
dijalankan pada suhu sekitar 250°C hingga 650°C. Namun begitu, Sanij et al. (2012) menyatakan, untuk membebaskan tekanan dalaman pada satu sampel, suhu yang rendah adalah lebih sesuai digunakan, di mana proses pembajaan yang pertama dijalankan pada suhu 300°C selama 1 jam supaya hasil butir austenit dihomogenkan dan ditapis dengan baik.

Song et al. (2016) di dalam kajiannya telah menjalankan proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan dengan suhu pemanasan 950°C, 1040°C dan 1080°C selama 1 jam dan bagi proses pembajaan dengan suhu 580°C selama 1 jam. Menurut pengkaji, suhu pembajaan yang digunakan biasanya mengikut peraturan pengelasan iaitu selama 1jam/inci dengan suhu minimum 550°C. Sekiranya masa pemanasan yang digunakan tidak mematuhi peraturan pengelasan, risiko untuk kerosakan struktur butir akan meningkat dan alatan dengan jangka hayat yang panjang tidak dapat dihasilkan. Gao et al. (2016) di dalam kajiannya telah mendapati bahawa kekuatan keluli yang dirawat dapat diperbaiki dalam jumlah yang kecil, manakala ketahanan dan kemuluran pula telah menunjukkan kesan yang sangat besar dalam penambahbaikan setelah menjalani proses pernormalan dan pembajaan dengan suhu masing-masing 900°C dan 550°C.

Melalui diagram fasa keluli karbon yang ditunjukkan di Rajah 2. 1, suhu pemanasan mempengaruhi perubahan yang berlaku ke atas mikrostruktur keluli karbon. Rawatan haba lindap-kejut di mana keluli karbon AISI 1050 dipanaskan di atas titik kritikal menyebabkan semua ferit berubah menjadi austenit sebelum direndamkan secara pantas ke dalam bahantara lindap-kejut. Garisan A3 di dalam Rajah 2. 1 merupakan had kritikal atas. Suhu di mana ferrit mula terbentuk, hasil tolakan daripada austenit dalam aloi hypoeutektoid. Manakala garisan A2 merupakan had kritikal bawah di mana α -ferrit adalah bersifat ferromagnet. Penyejukan yang cepat menyebabkan austenit martensit tidak mempunyai tempoh yang cukup untuk berubah

menjadi pearlit. Sifat keluli yang melalui proses ini adalah sangat keras namun ianya bersifat rapuh. Proses pembajaan perlu dilakukan ke atas keluli yang telah melalui proses lindap-kejut untuk mengelakkan keretakan berlaku kerana sifat keluli yang berubah menjadi rapuh.

Suhu pembajaan perlu berada di bawah garisan had kritikal bawah untuk mengelakkan terjadinya mendakan cementit yang membawa kepada kerapuhan. Lebih hampir suhu pembajaan dengan garisan had kritikal bawah, semakin halus struktur pearlit yang terhasil. Suhu pembajaan yang melebihi garisan kritikal bawah akan menyebabkan pembentukan butir menjadi kasar dan mempengaruhi kekuatan keluli karbon tersebut.



Rajah 2. 1: Diagram fasa keluli karbon. (Sumber: Kopeliovich, 2012)

2.3 Ujian mikrokekerasan

Proses rawatan haba berkait rapat dengan ujian mikrokekerasan di mana kaedah ujian ini seringkali digunakan bagi mengenalpasti perubahan tahap kekerasan yang berlaku sebelum dan selepas rawatan haba dijalankan ke atas sesuatu bahan. Abrão et al. (2014) di dalam kajiannya telah menjalankan ujian mikrokekerasan ke atas spesimen yang melalui proses rawatan haba dan olengan dalam untuk mengetahui pengaruh kedua-dua proses tersebut terhadap sifat mekanikal dan integriti keluli AISI 1060. Kajian tersebut menemukan bahawa nilai mikrokekerasan dan kedalaman meningkat dengan tekanan olengan dan bilangan laluan untuk spesimen yang telah sepenuhnya melalui proses penyepuhlindapan.

Medy dan Janus (2017) di dalam kajian mereka berkenaan dengan proses rawatan haba ke atas besi tuang Ni-Mn-Cu, telah mengaplikasikan ujian mikrokekerasan Vickers untuk mengenalpasti perubahan pada kekerasan spesimen tersebut. Pengkaji menemukan bahawa apabila masa rendaman besi tersebut dijalankan selama 1 dan 2 jam, ianya tidak mempengaruhi kekerasan pada kadar yang besar. Hanya dengan memanjangkan masa rendaman kepada 5 jam akan menunjukkan perubahan yang ketara pada kekerasan besi tersebut. Kajian itu juga membuktikan bahawa, pada suhu rendaman yang lebih tinggi, kekerasan akan meningkat dengan lebih perlahan dan boleh juga mengurang. Kekerasan maksima bergerak pada suhu rendaman yang lebih rendah.

Melalui kajian yang telah dibuat oleh Leo et al. (2018), pengkaji telah menggunakan kaedah ujian mikrokekerasan Vickers untuk mengetahui perubahan pada kekerasan kimpalan yang melalui proses rawatan haba. Pengkaji telah menetapkan jarak untuk titik pelekukan antara satu sama lain ialah pada $300\mu\text{m}$ setiap satu. Dapatan daripada kajian menemukan bahawa, suhu pemanasan logam yang lebih rendah akan memberikan kesan yang sangat tidak ketara pada

kekuatan alah manakala suhu pemanasan logam yang lebih tinggi akan melembutkan kekuatan kimpalan tersebut. Perubahan yang sedikit ini adalah disebabkan pertumbuhan butir di mana ianya juga memberikan kesan yang sama kepada mikrokekerasan bahan tersebut.

2.4 Analisa mikrostruktur

Selain ujian mikrokekerasan, analisa mikrostruktur juga berkait rapat dengan prosedur selepas rawatan haba dijalankan ke atas sesuatu bahan. Cara ini dapat membantu analisa dibuat dengan lebih tepat di akhir kajian dengan mengenalpasti hubungan antara perubahan sifat mekanikal dan perubahan yang berlaku ke atas mikrostruktur bahan setelah melalui proses rawatan haba. Perubahan yang berlaku ke atas mikrostruktur aloi selepas rawatan haba adalah disebabkan perubahan struktur dalaman (Jiang et al., 2014). Pengkaji telah menggunakan aloi $V_{55}Ti_{30}Ni_{15}$ untuk melalui proses rawatan haba pada suhu yang berbeza sebelum ujian mikrokekerasan Vickers serta analisa mikrostruktur dijalankan. Pengkaji juga menyatakan bahawa, mikrostruktur yang telah dipengaruhi oleh haba menjadi lebih stabil pada julat masa 18 hingga 24 jam.

Spectron Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop yang digunakan secara meluas pada masa kini untuk menganalisa mikrostruktur bahan di dalam makmal. Junjie (2017) telah menggunakan mikroskop jenis SEM di dalam kajiannya untuk menyiasat kesan rawatan haba pada mikrostruktur dan perlakuan mekanikal aloi yang dipejalkan secara terus. Pengkaji mendapati bahawa pada permukaan yang retak selepas proses rawatan haba, mikrostruktur spesimen tersebut kelihatan lebih kasar dan kewujudan bintik pada permukaan sangat jelas.

Pengkaji juga menyatakan bahawa, melalui proses rawatan haba pada suhu yang sangat tinggi, majoriti mikrostruktur pada spesimen akan lebih kasar.

Jiang et al. (2018) yang menyiasat kesan rawatan haba ke atas kekuatan ikatan bilogam aluminium/keluli yang dihasilkan dengan kaedah tuangan sebatian, telah mendapati bahawa, rawatan haba yang dijalankan dengan betul memperbaiki mikrostruktur antara muka dan kekuatan ikatan untuk bilogam aluminium/ keluli. Pengkaji juga meyakini kesan buruk menjalankan rawatan haba ke atas bilogam tersebut secara berlebihan di mana ianya akan menjurus kepada pertumbuhan berlebihan dan retakan lapisan antara muka. Selain itu, rawatan haba secara berlebihan juga akan melemahkan kekuatan ikatan bimetal aluminium/keluli tersebut.

2.5 Ujian ultrasonik

Terdapat pelbagai kaedah ujian tanpa musnah yang digunakan bagi tujuan memudahkan pemeriksaan ke atas struktur dan bahan yang berkaitan dengan bidang kejuruteraan. Ujian ultrasonik merupakan kaedah ujian tanpa musnah yang paling kerap digunakan kerana kebolehharian ujian ini untuk mengesan perubahan yang berlaku ke atas sesuatu bahan atau struktur tanpa memperuntukkan tempoh masa yang lama, tidak mengganggu operasi struktur yang hendak diuji dan mampu memberikan keputusan ujian yang tepat. Kim dan Jhang (2013) di dalam kajian mereka telah menggunakan ujian ultrasonik untuk mengkaji ciri-ciri aloi yang melalui proses rawatan haba pada tiga suhu yang berbeza. Dapatan daripada hasil kajian tersebut ialah, ujian ultrasonik boleh digunakan untuk tujuan pengawasan perubahan sifat-sifat elastik aloi aluminium berpandukan rawatan haba yang dijalankan.

Hsia dan Chou (2015) di dalam kajian mereka telah menggunakan kaedah ujian ultrasonik bagi mengenalpasti hubungan antara perubahan yang berlaku di dalam keluli karbon AISI 1045 yang melalui proses rawatan haba dengan perubahan halaju bunyi bahan tersebut.

Pengkaji-pengkaji tersebut telah mendapati bahawa dengan menetapkan suhu rawatan lindap-kejut yang lebih tinggi, akan menghasilkan saiz butir yang lebih halus dan kekerasan bahan yang melalui rawatan haba pada suhu lindap-kejut yang lebih tinggi juga akan menjadi lebih keras. Pekali pengecilan akan menjadi lebih kecil begitu juga dengan halaju akustik di mana ianya menjadi lebih pantas disebabkan kekerasan bahan yang semakin bertambah.

Carvajal et al. (2017) menyatakan di dalam kajiannya bahawa, perbezaan mikrostruktur yang terhasil daripada pelbagai rawatan haba telah menghasilkan perbezaan terhadap pemalar elastik di mana ianya boleh dilihat secara berkesan dengan menggunakan gelombang ultrasonik membujur dan mericib. Pengkaji juga membuat kesimpulan bahawa ujian ultrasonik merupakan kaedah yang ringkas untuk digunakan, bagi mengawasi evolusi mikrostruktur keluli yang melalui proses rawatan haba.

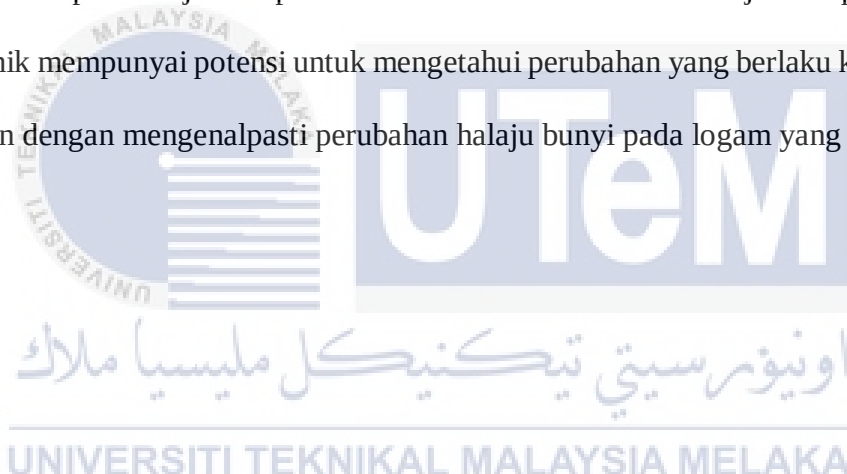
Di samping itu, di dalam kajian Costa-Junior et al. (2018), pengkaji menyatakan penentuan sesuatu peralatan mahupun pengiktirafan makmal atau servis pengukuran, ianya adalah perlu untuk dilaksanakan sebelum ujian dilakukan supaya dapat menjelaskan ketidakpastian yang berkaitan keputusan berangka yang telah dikenalpasti sejurus ia menepati kualiti keputusan akhir. Pengukuran tidak akan dapat ditafsirkan dengan betul jika ketidakpastiannya tidak diketahui. Oleh kerana itu, penentuan perlu dijalankan untuk memperoleh nilai rujukan supaya dapat dibandingkan dengan keputusan akhir ujian sama ada menepati piawaian ujian mahupun tersasar kerana terdapat ralat pada proses atau spesimen kajian.

Justeru di dalam ujian NDT ultrasonik, proses penentukuran adalah satu keperluan yang perlu diberi perhatian. Penentukuran yang melibatkan kelengkapan dan peralatan ujian, mahupun pada spesimen itu sendiri. Contoh yang boleh diambil ialah apabila penentukuran julat ujian pada skrin *Cathode Ray Tube* (CRT) diambil mudah dan tidak ditentukur dengan betul mengikut ketebalan spesimen penentukuran, kemungkinan besar isyarat gema pantulan tidak akan dapat dikenalpasti dan dinilai kerana isyarat gema pantulan dinding belakang terkeluar daripada julat yang terdapat pada skrin CRT tersebut. Ini akan menyebabkan data yang hendak direkodkan melalui skrin CRT tidak dapat diperoleh sepenuhnya.



2. 6 Kesimpulan

Melalui kajian-kajian lepas, kesimpulan yang dapat dibuat ialah proses rawatan haba yang dijalankan ke atas keluli karbon dan logam-logam dapat mengubah sifat-sifat logam tersebut pada saiz butir mikrostruktur, kekerasan dan juga halaju bunyi. Kaedah ujian musnah iaitu ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur telah digunakan secara meluas di dalam mengenalpastian perubahan yang berlaku ke atas logam setelah melalui proses rawatan haba. Namun, kaedah-kaedah ujian musnah ini memerlukan spesimen di bawa ke makmal untuk diuji dan dianalisa. Kaedah-kaedah ini juga menjejaskan permukaan spesimen dan tidak sesuai digunakan untuk aplikasi ujian di persekitaran luar makmal. Kaedah ujian tanpa musnah iaitu ujian ultrasonik mempunyai potensi untuk mengetahui perubahan yang berlaku ke atas saiz butir dan kekerasan dengan mengenalpasti perubahan halaju bunyi pada logam yang diuji.



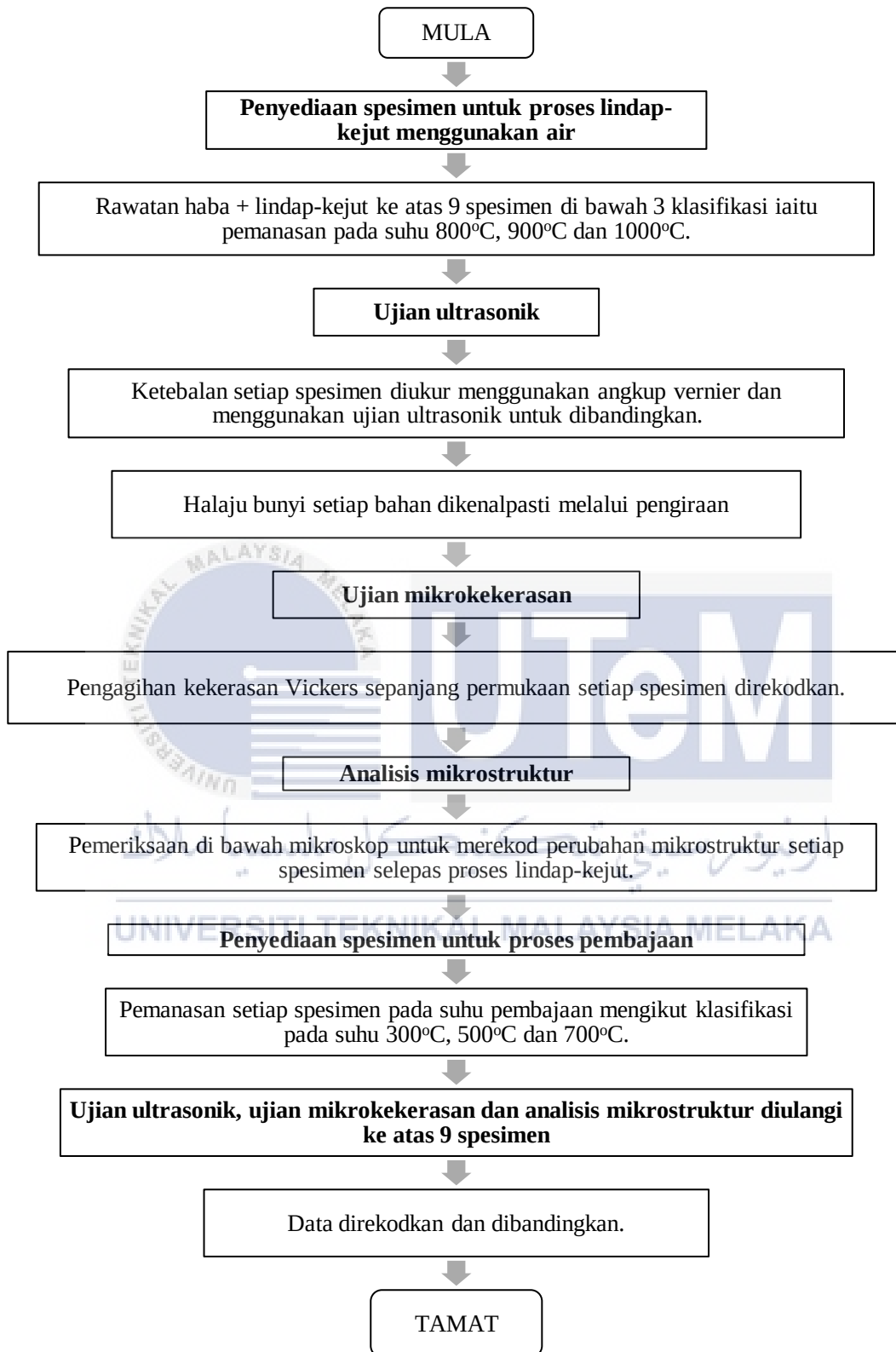
BAB III

METODOLOGI

3.1 Pengenalan

Dalam kajian ini, penyiasatan halaju bunyi, perubahan mikrostruktur dan mikrokekerasan keluli karbon AISI 1050 yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan lindap-kejut-pembajaan melibatkan beberapa aktiviti di dalam makmal iaitu penyediaan spesimen untuk proses lindap-kejut, penyediaan spesimen untuk proses pembajaan, pelaksanaan ujian ultrasonik, ujian mikrokekerasan dan analisis mikrostruktur. Carta alir metodologi adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3. 1.

Ujian ultrasonik, ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur dijalankan sebelum dan selepas setiap proses rawatan haba dijalankan. Data bagi setiap ujian direkodkan untuk dibandingkan sebelum dianalisa dan dikaitkan antara satu sama lain.



Rajah 3. 1: Carta alir metodologi.

3. 2 Komposisi bahan

Bahan yang digunakan di dalam kajian ini ialah keluli karbon jenis AISI 1050 di mana ianya merupakan keluli karbon sederhana. Komposisi keluli karbon AISI 1050 adalah seperti di dalam Jadual 3. 1.

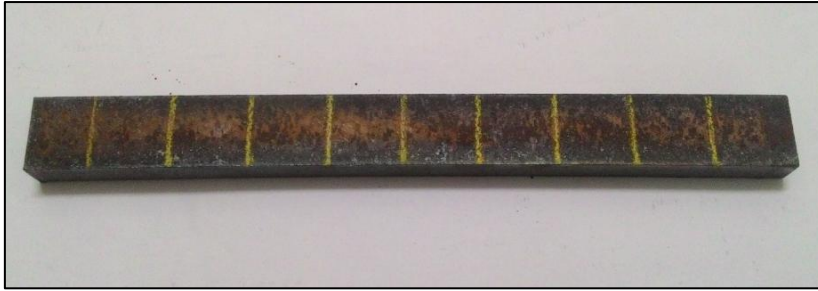
Jadual 3. 1: Komposisi keluli karbon AISI 1050 (Sumber: Azom, 2012).

Elemen	Komposisi (%)
Karbon	0.47 – 0.55
Sulfur	≤ 0.05
Mangan	0.60 – 0.90
Fosforus	≤ 0.04
Besi	98.4 – 98.92

3. 3 Penyediaan spesimen

Keluli karbon AISI 1050 yang diperoleh pada awal kajian adalah spesimen dengan dimensi 200 x 20 x 10 mm yang telah dipotong kepada 10 bahagian. Setiap spesimen mempunyai dimensi 20 x 20 x 10 mm. Rajah 3. 2 dan Rajah 3. 3 menunjukkan keadaan spesimen asal dan setelah ianya dipotong kepada 10 bahagian. Proses pembahagian spesimen-spesimen telah dilakukan dengan menggunakan gergaji besi untuk mengelakkan perubahan sifat dalaman bahan jika proses pemotongan dilakukan dengan mesin pemotong logam automatik.

Satu spesimen daripada 10 spesimen yang telah dipotong dijadikan sebagai rujukan di mana ianya tidak akan melalui sebarang proses rawatan haba. Data yang direkodkan pada akhir proses rawatan haba bagi 9 spesimen lain akan dibandingkan dengan spesimen rujukan bagi menilai perubahan atau persamaan yang berlaku di akhir kajian.



Rajah 3. 2: Dimensi awal bahan keluli karbon AISI 1050 sebelum dipotong.



Rajah 3. 3: 9 spesimen yang akan melalui rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan.

9 spesimen ini akan dikategorikan mengikut suhu pemanasan ketika proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan dilakukan. Spesimen-spesimen ini dilabelkan mengikut susunan abjad daripada abjad 'A' hingga 'I', manakala spesimen rujukan dilabelkan dengan abjad 'R'. Spesimen-spesimen dikategorikan seperti yang dapat dilihat di dalam Jadual 3. 2.

Jadual 3. 2: Spesimen-spesimen dikategorikan mengikut suhu yang ditetapkan semasa proses rawatan haba.

Lindap-kejut (Bahantara: Air)			Pembajaan		
Lindap-kejut daripada suhu (°C)	Masa (minit)		Suhu (°C)		Masa (minit)
800	Spesimen A, B, C	30	Spesimen A	300	50
			Spesimen B	500	
			Spesimen C	700	
900	Spesimen D, E, F	30	Spesimen D	300	
			Spesimen E	500	
			Spesimen F	700	
1000	Spesimen G, H, I	30	Spesimen G	300	
			Spesimen H	500	
			Spesimen I	700	

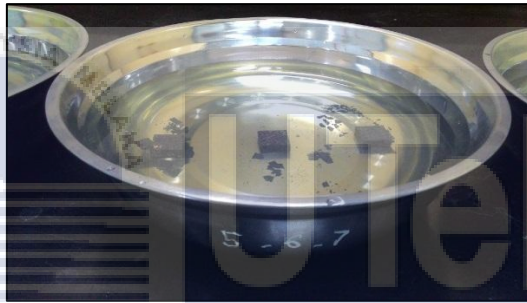
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

3. 4 Rawatan haba

Rawatan haba dijalankan di dalam makmal sains bahan menggunakan relau rawatan haba suhu sederhana, dan kelengkapan keselamatan seperti sarung tangan, pengepit spesimen, perisai muka dan juga apron. Rajah 3. 4 hingga Rajah 3. 7 menunjukkan kelengkapan-kelengkapan yang digunakan di dalam proses ini. Rawatan haba melibatkan proses lindap-kejut dan juga proses pembajaan. Proses dimulakan dengan proses pemanasan dan lindap-kejut.



Rajah 3. 4: Relau rawatan haba suhu sederhana yang digunakan.



Rajah 3. 5: Bekas yang digunakan untuk lindap-kejut spesimen di dalam air.



Rajah 3. 6: Kelengkapan keselamatan (PPE) yang digunakan ketika proses rawatan haba dijalankan. Dari kiri, perisai muka, sarung tangan dan apron.

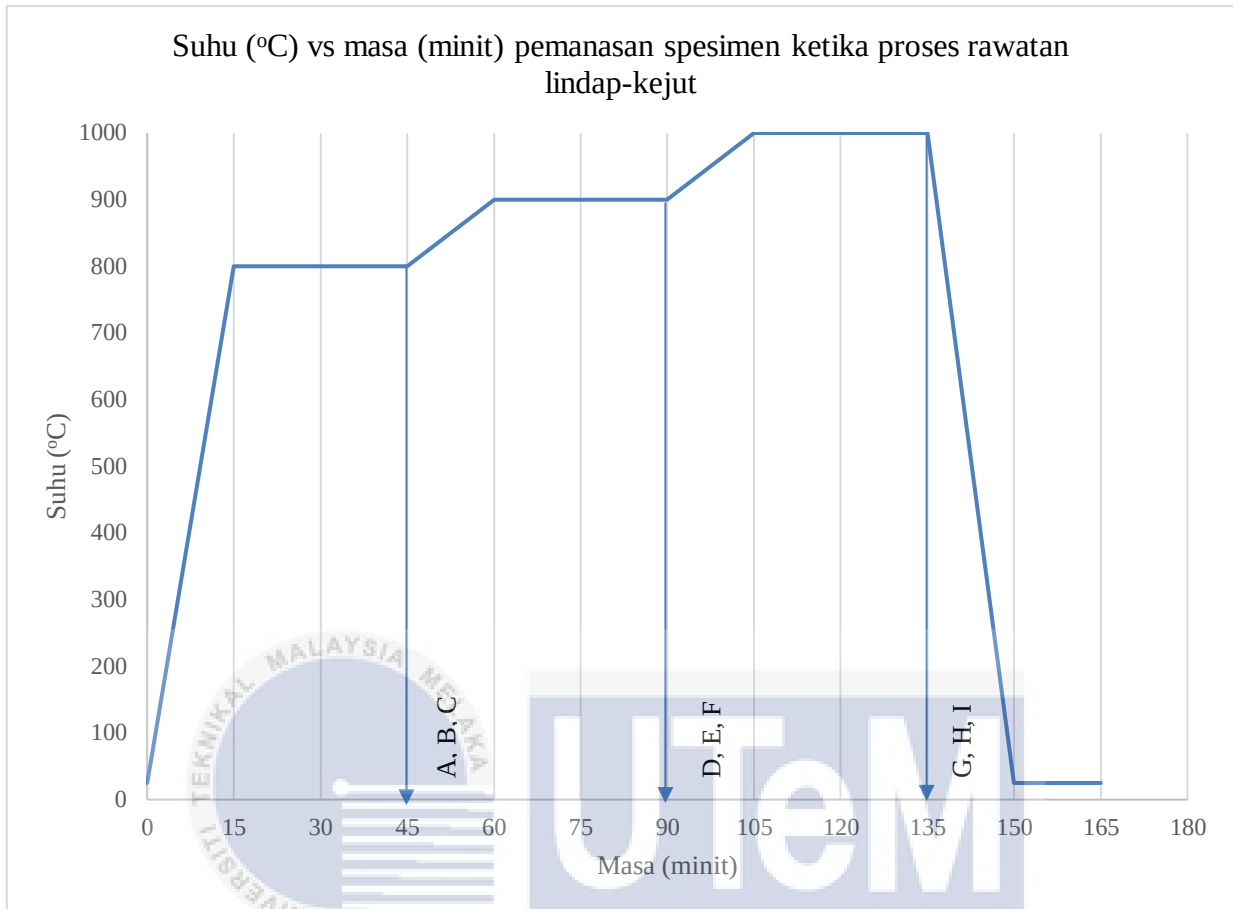


Rajah 3. 7: Alatan untuk mengangkat spesimen pada suhu yang tinggi.

3. 4. 1 Proses rawatan haba lindap-kejut

Kesembilan-sembilan spesimen perlu dipanaskan pada suhu yang telah ditetapkan mengikut kategori masing-masing seperti di dalam Jadual 3. 2. Spesimen-spesimen akan dipanaskan bermula daripada suhu bilik iaitu 20 - 25°C. Masa yang diambil untuk peningkatan suhu secara perlahan ialah 15 minit bagi setiap suhu yang telah ditetapkan. Graf proses rawatan haba lindap-kejut ditunjukkan seperti di dalam Rajah 3. 8. Spesimen dipanaskan pada suhu 800°C selama 30 minit. Setelah suhu mencecah 800°C, spesimen A, B dan C dikeluarkan dan dimasukkan ke dalam bekas berisi air untuk disejukkan secara pantas.

Prosedur yang sama diteruskan dengan suhu dibiarkan meningkat sehingga 900°C dan 1000°C dan spesimen-spesimen dikeluarkan dan disejukkan berdasarkan pengelasan yang telah dibuat di dalam Jadual 3. 2.



Rajah 3. 8: Graf proses rawatan haba lindap-kejut yang dijalankan.

Pemanasan spesimen perlu bermula daripada suhu yang rendah, dan bukan dengan cara memanaskan spesimen secara mengejut, dengan meletakkan spesimen di dalam ketuhar yang telah sedia pada suhu yang tinggi. Ini adalah kerana keluli yang didedahkan secara mengejut pada suhu yang tinggi akan mudah retak dan mengalami ketidakseragaman di dalam mikrostruktur keluli tersebut. Kawalan suhu dan masa dapat dibuat menggunakan alat kawalan relau seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 9.



Rajah 3. 9: Alat kawalan relau di mana suhu dan masa sepanjang proses rawatan haba ditetapkan.

Jadual 3. 3: Peraturan pengekalan pemanasan di dalam relau bagi bahan yang mempunyai ketebalan kurang daripada 25mm. (Sumber: Bryson, 2005)

Ketebalan bahan (mm)	Masa pagi pengekalan pemanasan (min)
3.175	30
6.350	40
12.70	50
19.05	55-60

30 minit merupakan tempoh masa yang sesuai bagi setiap spesimen kekal pada suhu yang ditetapkan merujuk kepada teori pengiraan yang dibuat oleh Bryson (2005). 1 jam bagi setiap 25mm keratan rentas yang terkecil bagi spesimen yang hendak dipanaskan. Ketebalan spesimen yang digunakan di dalam kajian ini ialah 10mm. Masa yang sesuai bagi mengekalkan pemanasan spesimen di dalam relau ialah 30 minit berdasarkan persamaan 3. 1, 3. 2 dan 3. 3. Nilai toleransi juga telah diberikan kerana data akan mengalami sedikit perubahan disebabkan

persekitaran dan kaedah pengendalian spesimen sepanjang proses rawatan haba dijalankan. Persamaan bagi pengiraan masa mengekalkan pemanasan pada suhu yang ditetapkan adalah seperti berikut:

$$25 \text{ mm} = 1 \text{ jam} = 60 \text{ min} \quad (3.1)$$

$$\frac{25 \text{ mm}}{60 \text{ min}} = \frac{10 \text{ mm}}{x \text{ min}} \quad (3.2)$$

$$10 \text{ mm} = 24 \text{ min} \approx 30 \text{ min} \quad (3.3)$$

Spesimen A sehingga I dimasukkan ke dalam relau pada suhu bilik dan alat kawalan relau dihidupkan. Masa peningkatan suhu ditetapkan selama 15 minit dan masa mengekalkan suhu pemanasan ditetapkan selama 30 minit bagi suhu 800°C, 900°C dan 1000°C. Bekas untuk merendam setiap spesimen di dalam bahantara air setelah mencapai suhu pemanasan yang diperlukan mengikut tiga kategori suhu disediakan. Setelah mencapai suhu pemanasan mengikut ketetapan, spesimen-spesimen dikeluarkan dan dimasukkan ke dalam bekas rendaman tersebut dengan kadar segera. Suhu setiap spesimen direkodkan setiap 5 minit sehingga mencapai tempoh 30 minit, menggunakan pengganding suhu atau *thermocouple*. Kelengkapan perlindungan diri atau *Personal Protective Equipment* (PPE) digunakan sepanjang proses rawatan haba dijalankan.

Proses rawatan haba lindap-kejut ini disusuli dengan ujian ultrasonik, ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur spesimen-spesimen yang melalui proses rawatan haba ini. Perubahan halaju bunyi bahan, kekerasan dan juga perubahan mikrostruktur akan dibandingkan dengan rujukan dan juga setelah spesimen ini menjalani proses rawatan haba pembajaan.

3. 4. 2 Proses rawatan haba pembajaan

Rawatan haba pembajaan merupakan langkah yang terbaik untuk dilakukan ke atas bahan yang telah melalui proses rawatan haba lindap-kejut. Ini adalah kerana penemuan pengkaji-pengkaji yang lepas mengenai sifat bahan yang melalui proses lindap-kejut di mana ianya akan menjadi rapuh dan mempunyai kekerasan yang tidak sesuai digunakan di dalam pelbagai aplikasi pembuatan peralatan.

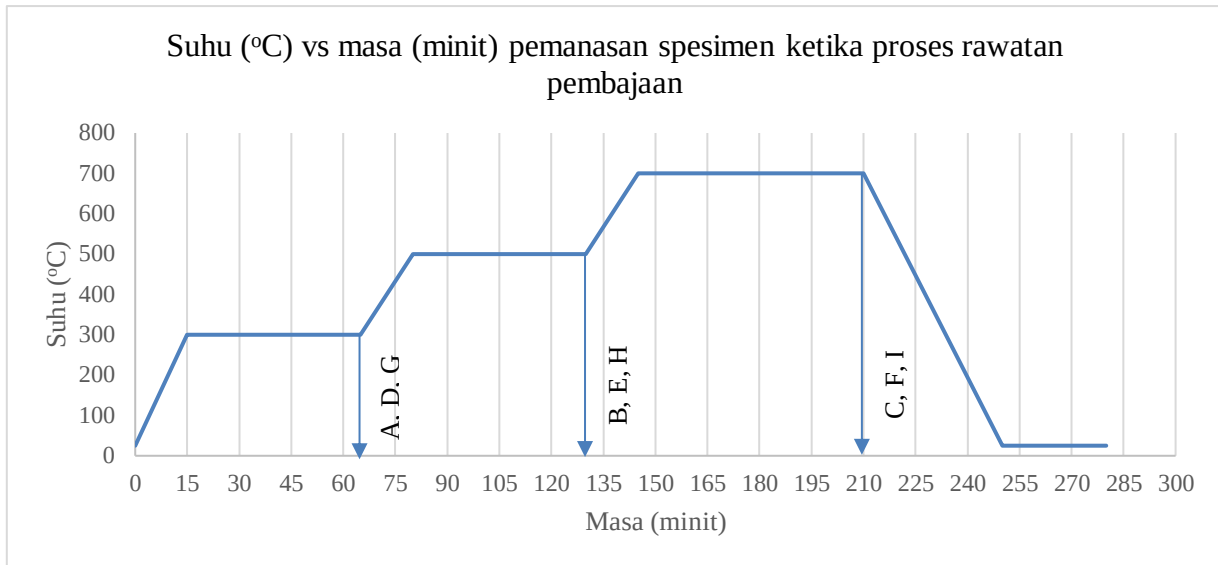
Proses pembajaan merupakan proses di mana keluli dipanaskan semula di dalam relau dan dibiarkan dalam tempoh masa yang lebih lama berbanding dengan masa pemanasan bagi proses lindap-kejut. Merujuk kepada Bryson, kitaran masa bagi proses pembajaan ke atas keluli karbon jenis ini ialah 2 jam bagi 25 mm ketebalan. Rujuk Rajah 3. 10, di mana masa dan suhu sepanjang proses pembajaan dijalankan telah ditunjukkan. Pengiraan bagi mendapatkan tempoh masa yang sesuai bagi proses pembajaan adalah seperti persamaan-persamaan berikut:

$$25 \text{ mm} = 2 \text{ jam} = 120 \text{ min} \quad (3.4)$$

$$\frac{25 \text{ mm}}{120 \text{ min}} = \frac{10 \text{ mm}}{x \text{ min}} \quad (3.5)$$

$$10 \text{ mm} = 48 \text{ min} \approx 50 \text{ min} \quad (3.6)$$

Prosedur untuk proses rawatan haba pembajaan adalah sama seperti prosedur rawatan haba lindap-kejut. Namun proses ini tidak melibatkan prosedur untuk menyejukkan spesimen dengan cara mengejut. Setelah spesimen-spesimen dipanaskan di dalam relau pada tiga suhu yang berbeza iaitu 300°C, 500°C dan 700°C, spesimen-spesimen dibiarkan pada suhu bilik untuk penurunan suhu secara perlahan. Masa peningkatan suhu ditetapkan selama 15 minit dan masa pengekalan suhu pemanasan ditetapkan selama 50 minit bagi setiap suhu.



Rajah 3. 10: Graf proses rawatan haba pembajaan yang dijalankan.

3. 5 Ujian ultrasonik

Ujian ultrasonik dijalankan bagi mengenalpasti perubahan pada ketebalan setiap spesimen yang melalui proses rawatan haba. Ianya juga dijalankan bagi memperoleh halaju bunyi bahan dengan menggunakan beberapa persamaan. Ujian ultrasonik merupakan satu kaedah ujian tanpa musnah yang memerlukan kemahiran dalam mengendalikan peralatan dan kelengkapan ujian, beserta dengan kemahiran untuk merekod dan menganalisa maklumat daripada hasil ujian.

3. 5. 1 Kelengkapan ujian ultrasonik

Sebelum memulakan ujian ultrasonik ke atas bahan, kelengkapan yang perlu disediakan adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 11 hingga Rajah 3. 16. Pengesan kecacatan ultrasonik yang digunakan di dalam kajian ini merupakan pengesan kecacatan ultrasonik digital dan beberapa ketetapan perlu dilakukan sebelum ujian ultrasonik dijalankan. Fungsi butang-

butang yang terdapat pada model pengesan kecacatan Krautkramer USM 35 seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 3. 4. Kuar yang digunakan di dalam kajian ini ialah kuar tunggal berfrekuensi 5 MHz dengan diameter 10 mm seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 12.



Rajah 3. 11: Pengesan kecacatan ultrasonik Krautkramer, model USM 35.

Jadual 3. 4: Fungsi-fungsi butang alat pengesan kecacatan ultrasonik Kraukramer.

Butang	Fungsi
1	Untuk menghidupkan atau mematikan alat
2	Untuk memilih kumpulan-kumpulan fungsi (bawah)
3	Untuk menukar di antara tahap-tahap operasi (bawah)
4	Untuk memilih fungsi-fungsi (kanan)
5	Untuk memilih tokokan bagi tetapan gandaan
6	Untuk membekukan pengesan-A
7	Untuk memaparkan pengesan-A yang telah dizum
8	Untuk menghantar data
9	Untuk merekod nilai-nilai yang telah diukur dan untuk menyimpan data
10	Untuk menetapkan gandaan secara terus
11	Untuk fungsi terkini yang dipilih

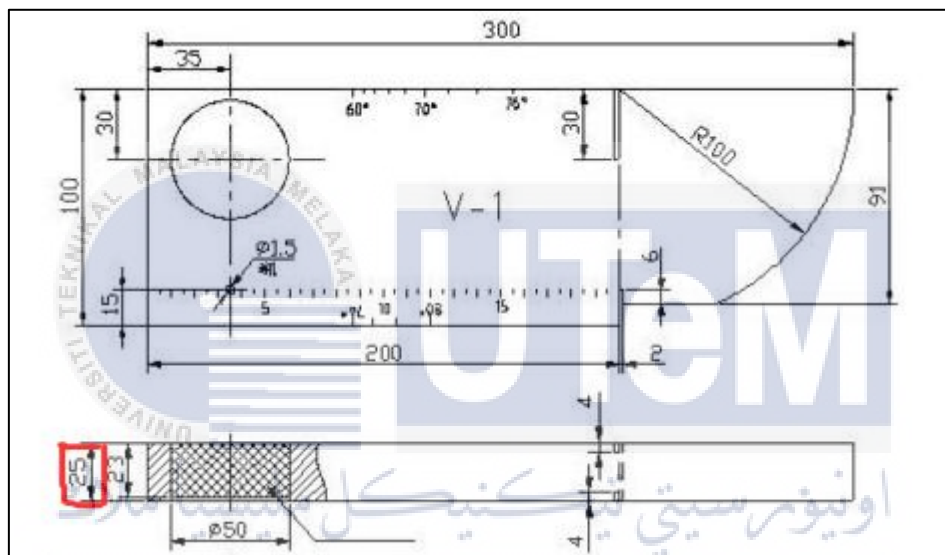


Rajah 3. 12: Kuar berfrekuensi 5MHz yang digunakan untuk ujian ultrasonik.

Blok rujukan V1 atau *International Institute of Welding block* (blok rujukan IIW) yang digunakan untuk proses penentukuran sebelum ujian dijalankan ke atas setiap spesimen. Proses penentukuran dijalankan bagi memastikan kuar yang hendak digunakan memberikan bacaan yang betul setelah menetapkan beberapa parameter yang akan dikekalkan sepanjang ujian. Blok V1 dan dimensinya adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 13 dan Rajah 3. 14.



Rajah 3. 13: Blok rujukan V1 dengan ketebalan 25 mm.



Rajah 3. 14: Ketebalan blok V1 yang dirujuk untuk proses penentukuran.

Ketika ujian ultrasonik dijalankan, kuar perlu mempunyai satu lapisan pengganding dengan bahan yang hendak diuji. Pengganding atau minyak mesin yang digunakan di dalam ujian ini ialah minyak motor pelbagai guna seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 15. Angkup vernier digunakan untuk membandingkan ketebalan yang diukur menggunakan angkup vernier dengan bacaan pada skrin CRT.



Rajah 3. 15: Minyak motor pelbagai guna sebagai pengganding.



Rajah 3. 16: Angkup vernier.

3. 5. 2 Penentukuran sebelum ujian

Penentukuran adalah penting untuk dilaksanakan sebelum ujian ke atas spesimen dijalankan. Kaedah penentukuran ke atas kuar dan mesin pengesan ultrasonik ialah kaedah untuk memastikan isyarat yang terhasil pada skrin CRT adalah bertepatan dengan blok penentukur yang digunakan. Setelah bacaan pada skrin menunjukkan bacaan 25 mm iaitu ketebalan blok V1 yang digunakan, ujian ultrasonik dapat dijalankan ke atas setiap spesimen dengan ketetapan parameter yang sama dikekalkan sepanjang ujian.

3. 5. 3 Pelaksanaan ujian pengukuran halaju bunyi

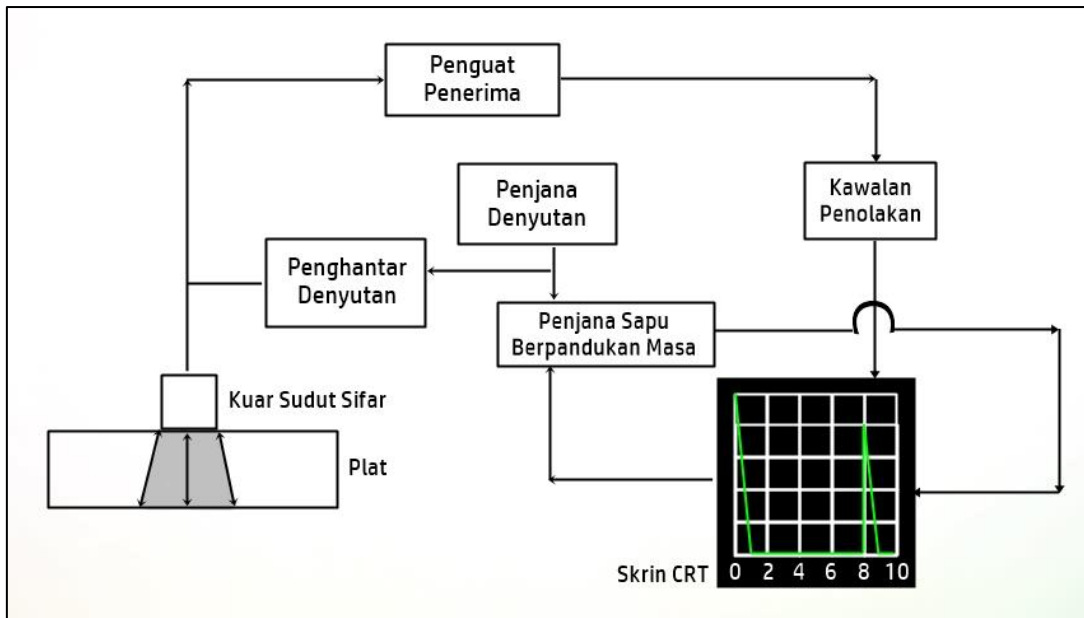
Di dalam ujian ultrasonik ini, ketebalan setiap spesimen termasuk spesimen rujukan direkodkan melalui bacaan yang tertera pada skrin. Isyarat yang terhasil pada skrin CRT merupakan laluan pancaran ultrasonik yang melalui spesimen dan isyarat pantulan gema dinding belakang yang bergerak masuk semula ke luar. Bacaan pada skrin berbeza dengan bacaan ketebalan spesimen yang diukur menggunakan angkup vernier. Ianya akan digunakan bagi pengiraan halaju bunyi bagi mengetahui perubahan yang berlaku setelah proses rawatan haba dijalankan ke atas spesimen-spesimen tersebut.

3. 5. 4 Halaju bunyi blok keluli rujukan

Bagi blok penentukuran V1 yang sedia ada dispesifikasi, halaju bunyi yang dinyatakan di dalam rujukan SIRIM (2009) ialah 5960 m/s. Spesimen yang tidak melalui apa-apa proses rawatan haba akan dijadikan sebagai spesimen rujukan di mana setiap data yang diperoleh daripada sembilan spesimen lain akan dibandingkan dengan spesimen rujukan tersebut.

3. 5. 5 Langkah-langkah pengukuran halaju bunyi menggunakan ujian ultrasonik

Bagi memperoleh halaju bunyi bagi setiap spesimen menggunakan kaedah ujian ultrasonik, data yang diperlukan ialah, ketebalan spesimen menggunakan angkup vernier, bacaan ketebalan spesimen pada skrin CRT, bacaan pada skala CRT, halaju bunyi bahan rujukan iaitu blok rujukan V1 dan laluan pancarannya. Bacaan akan diambil sebanyak tiga kali bagi setiap spesimen untuk mencari purata halaju bunyi bagi setiap spesimen. Susunan radas dan kelengkapan ujian adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 17.



Rajah 3. 17: Susun atur radas dan kelengkapan ujian ultrasonik pada spesimen.

Kawalan yang biasa dan kerap digunakan di dalam ujian ultrasonik ialah kawalan peningkatan ketinggian gema, kawalan pelengahan isyarat, kawalan bacaan ketebalan bahan automatik dan beberapa kawalan bagi merekod isyarat yang terhasil pada skrin dengan baik.

Persamaan faktor skala telah pun dinyatakan di dalam Persamaan (3. 7). Bacaan pada skrin perlu direkodkan bagi setiap spesimen. Dalam pada itu, laluan pancaran bagi blok rujukan boleh diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$S_{ST} = k \times SR \quad (3. 7)$$

- S_{ST} = Laluan pancaran keluli (mm)
- k = Faktor skala (mm)
- SR = Bacaan pada skrin (pembahagian skala)

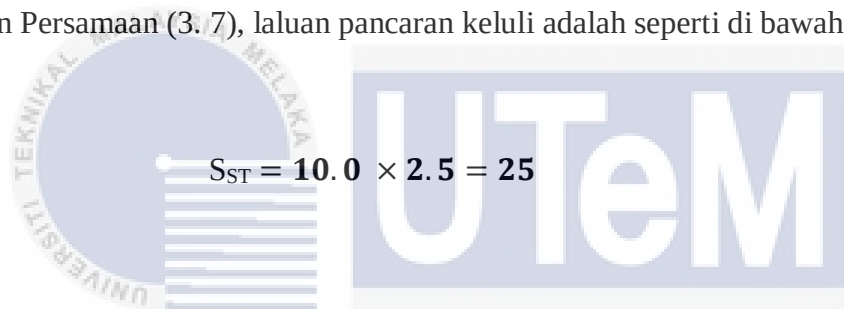
Julat masa yang digunakan di dalam ujian ini ialah 100 mm. Bagi mendapatkan nilai k, persamaan (3.8) digunakan.

$$k = \frac{\text{Julat masa (TR)}}{10 \text{ div}} \quad (3.8)$$

Nilai k yang didapati ialah:

$$k = \frac{100 \text{ mm}}{10 \text{ div}} = 10 \text{ mm/ div}$$

Menggunakan Persamaan (3.7), laluan pancaran keluli adalah seperti di bawah:



$$S_{ST} = 10.0 \times 2.5 = 25 \quad (3.9)$$

Setelah laluan pancaran keluli diperoleh, halaju bunyi bagi kesembilan-sembilan spesimen dan spesimen rujukan boleh dikira menggunakan persamaan berikut:

$$V_W = \frac{S_W}{S_{ST}} \times V_{ST} \quad (3.10)$$

S_W = Ketebalan spesimen yang diukur menggunakan angkup vernier (mm)

S_{ST} = Laluan pancaran bagi keluli (mm)

V_W = Halaju bunyi spesimen (mm)

V_{ST} = Halaju bunyi keluli (mm)

3. 6 Ujian mikrokekerasan Vickers

Ujian mikrokekerasan Vickers dijalankan setelah ujian ultrasonik selesai dilakukan ke atas setiap spesimen. Ini adalah kerana proses penyediaan permukaan spesimen yang perlu dilakukan sebelum ujian mikrokekerasan dijalankan akan mengubah ketebalan spesimen dalam nilai yang sedikit. Proses yang terlibat dalam ujian mikrokekerasan memakan masa yang lama bergantung kepada parameter yang diambil kira semasa ujian dijalankan seperti jumlah spesimen yang hendak diuji, kadar kehalusan permukaan spesimen yang diperlukan, masa yang diambil untuk pelekukan dan jumlah titik pelekukan yang dikenakan ke atas permukaan spesimen.

3. 6. 1 Proses penyediaan permukaan spesimen sebelum ujian

Permukaan setiap spesimen hendaklah bebas daripada sebarang calar atau lubang-lubang kecil yang boleh mempengaruhi keputusan ujian dan imej lokasi pelekukan yang akan diambil semasa ujian mikrostruktur dijalankan. Justeru, permukaan setiap spesimen di mana bacaan tahap kekerasan akan diambil perlu dicanai dan digilap agar segala kecacatan pada permukaan dapat dihapus. Tahap kehalusan permukaan akan dipantau di bawah mikroskop untuk menentukan sama ada permukaan yang telah dicanai dan digilap sesuai untuk digunakan semasa ujian mikrokekerasan. Peralatan yang digunakan semasa proses penyediaan permukaan bahan adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 18 dan Rajah 3. 19. Grit kertas SiC yang digunakan di dalam proses mencanai permukaan spesimen adalah 180, 320, 600, 1200 dan 2000 grit.



Rajah 3. 18: Mesin pencanai dan penggilap dan kertas canai grit berbeza yang digunakan di dalam kajian ini.



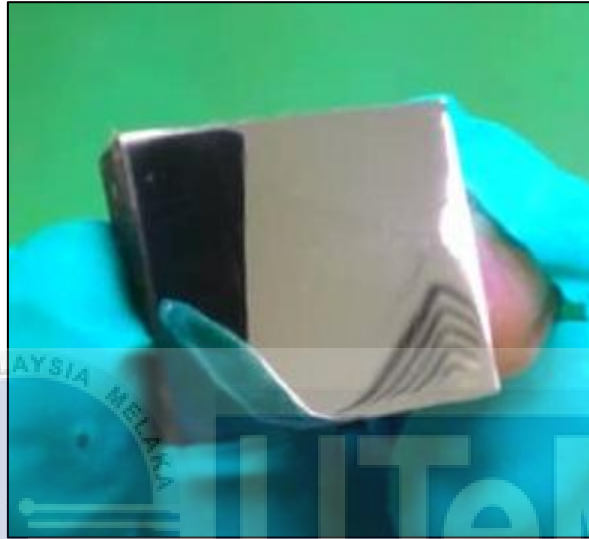
Rajah 3. 19: Pes intan 3 mikrometer yang digunakan untuk proses menggilap spesimen.



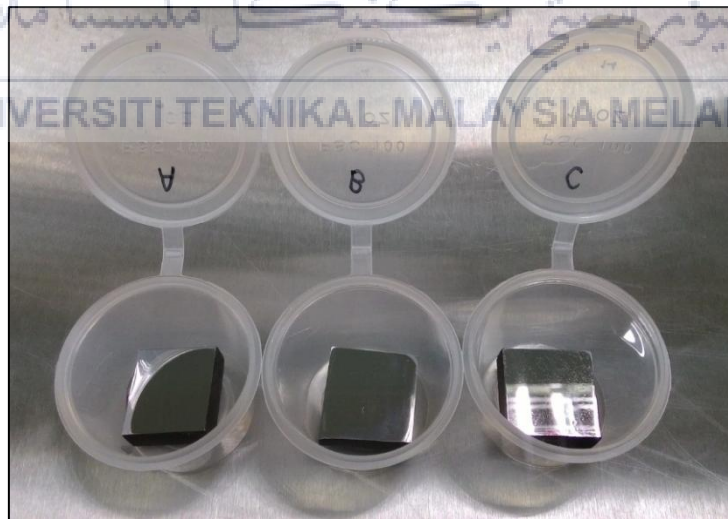
Rajah 3. 20: Mikroskop cahaya yang digunakan untuk memantau permukaan specimen semasa proses penyediaan permukaan specimen.

Kelajuan mesin pencanai dan mesin penggilap diselaraskan pada kelajuan putaran yang berbeza di mana kelajuan yang digunakan untuk proses mencanai permukaan specimen adalah lebih laju berbanding dengan kelajuan putaran yang digunakan untuk proses menggilap. Permukaan yang mempunyai calar atau lubang yang dalam memerlukan masa yang lebih lama untuk proses penyediaan permukaan kerana proses mencanai menghakis permukaan bahan dengan kadar yang sedikit pada satu masa. Setelah permukaan specimen kelihatan seperti cermin seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 21, specimen perlu dikawal di dalam persekitaran yang bebas daripada habuk ataupun sentuhan. Proses penyimpanan specimen dilakukan dengan

cara mengasingkan spesimen di dalam bekas yang bersih beserta label seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 22.



Rajah 3. 21: Permukaan spesimen yang siap dicanai dan digilap.



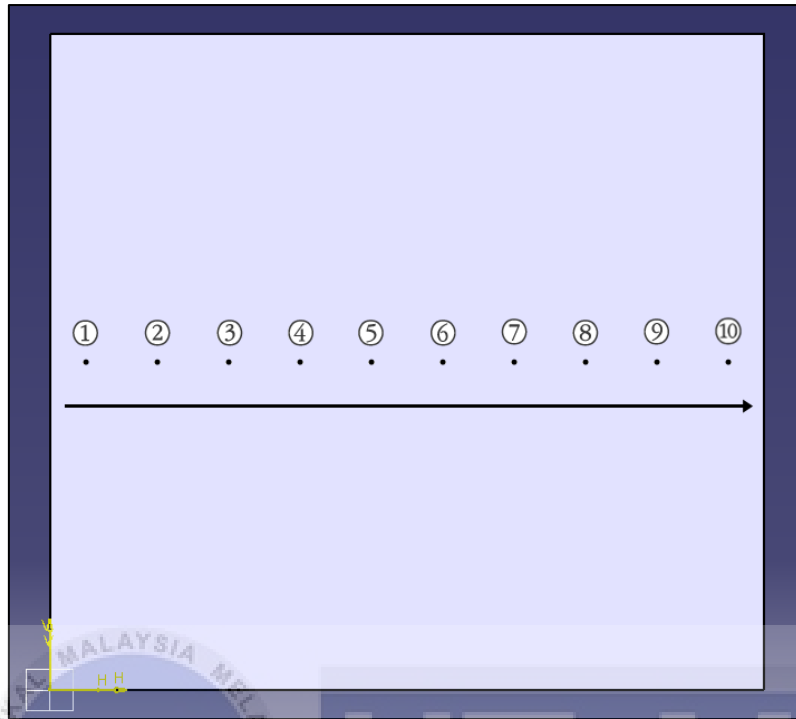
Rajah 3. 22: Spesimen-spesimen diasingkan di dalam bekas yang berasingan dan tertutup.

3. 6. 2 Pelaksanaan ujian mikrokekeraan Vickers

Sebelum ujian mikrokekeraan dijalankan, terdapat parameter yang perlu diambil kira untuk diseleraskan pada mesin ujian seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 23. Parameter yang perlu ditetapkan ialah daya tekanan hujung alatan pelekuk yang akan dikenakan ke atas permukaan spesimen, tempoh masa untuk penahanan alatan ke atas permukaan dan jarak antara satu lekukan dengan satu lekukan yang lain. Di dalam kajian ini, 10 titik lekukan telah ditetapkan untuk dikenakan ke atas spesimen daripada sisi hujung-tengah-sisi hujung dalam pergerakan satu baris melintang seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 24.

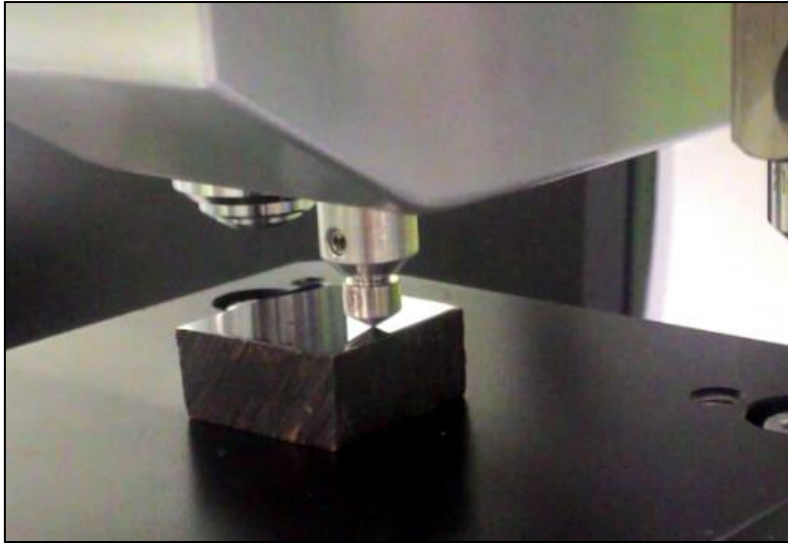


Rajah 3. 23: Mesin ujian mikrokekeraan Vickers Shimadzu HMV-G.



Rajah 3. 24: Gambaran lokasi titik pelekukan untuk ujian mikrokekeraan ke atas permukaan spesimen.

Daya tekanan yang ditetapkan untuk ujian mikrokekeraan di dalam kajian ini ialah 9.807N iaitu HV1 atau bersamaan dengan 1kg. Manakala masa penahanan tekanan hujung alatan pelekukan ke atas spesimen telah ditetapkan kepada 15 saat untuk sekali lekukan. Data kekerasan bagi setiap spesimen untuk kesepuluh-sepuluh lekukan direkodkan secara automatik di dalam Microsoft Excel. Imej lokasi pelekukan juga direkodkan secara automatik di dalam komputer untuk dianalisa. Prosedur yang dilakukan semasa ujian ditunjukkan di dalam Rajah 3. 25 hingga Rajah 3. 27.



Rajah 3. 25: Hujung alatan pelekukan yang sedang mengenakan tekanan ke atas permukaan spesimen.



Rajah 3. 26: Lokasi pelekukan dianalisa menggunakan mikroskop dengan pembesaran 40x ganda.



Rajah 3. 27: Tahap kekerasan pada lokasi permukaan yang dikenakan tekanan ditunjukkan pada skrin beserta imej lekukan.

3. 7 Analisa mikrostruktur

Setelah ujian mikrokekerasan dijalankan, spesimen perlu melalui proses penyediaan permukaan seperti yang dilakukan di unit 3. 6. 1. Namun, terdapat prosedur tambahan yang perlu dilakukan setelah permukaan spesimen kelihatan seakan-akan permukaan cermin apabila proses mencanai dan menggilap dilakukan. Prosedur tambahan tersebut ialah proses punaran di mana permukaan yang telah bebas daripada sebarang calar dan lubang akan disapu dengan bahan punaran. Penerangan tentang prosedur punaran akan dibincangkan pada subunit berikutnya.

3. 7. 1 Proses punaran permukaan spesimen

Bahan punaran yang hendak digunakan ke atas permukaan bahan hendaklah bergantung kepada jenis bahan yang hendak diuji. Abrão *et al.* (2014) di dalam kajiannya telah menggunakan Nital iaitu campuran asid Nitrik dengan Etanol sebagai bahan punaran untuk keluli karbon. Tujuan proses punaran dibuat ialah untuk menonjolkan perincian struktur mikro spesimen supaya boleh digunakan sebagai bukti yang jelas ketika permukaan spesimen dianalisa di bawah mikroskop. Spesimen yang melalui proses penyediaan yang baik akan menonjolkan perincian seperti saiz butir, pemisahan, bentuk, pembahagian fasa dan rangkuman yang terhasil pada permukaan yang diuji. Selain itu, aspek seperti perubahan bentuk mekanikal dan rawatan haba juga boleh dikenalpasti melalui proses punaran ini.

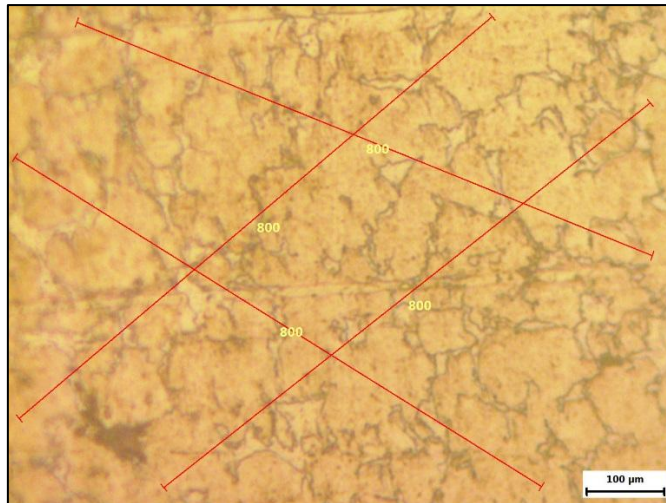
Parameter yang perlu diambilkira semasa proses punaran ialah jenis bahan spesimen yang hendak dipunar, jenis bahan punaran dan masa yang diambil untuk menyapu bahan punaran pada spesimen. Di dalam kajian ini, spesimen yang dikaji ialah keluli karbon sederhana, bahan punaran yang digunakan ialah Nital yang telah siap dibancuh yang diperoleh daripada makmal sains bahan dan masa yang diambil untuk menyapu Nital pada permukaan spesimen ialah 10 saat. Nital disapu pada permukaan yang telah dicanai dan digilap menggunakan putik kapas selama 10 saat sebelum dibilas menggunakan air. Permukaan akan kelihatan seperti terhakis di mana apabila spesimen diletakkan di bawah mikroskop, perincian butir spesimen dapat dilihat dengan jelas berbanding sebelum proses punaran dijalankan.

3. 7. 2 Pelaksanaan analisa mikrostruktur

Analisa mikrostruktur dijalankan dengan menggunakan mikroskop cahaya seperti yang digunakan di dalam prosedur yang dijalankan di dalam subunit 3. 6. 1 pada Rajah 3. 20. Permukaan yang telah siap dipunar diletakkan di bawah mikroskop dengan pembesaran leleurus 100x ganda. 3 imej akan ditangkap iaitu pada bahagian sisi-tengah-sisi untuk dianalisa dan dibandingkan. Manakala saiz butir dikira dengan cara mewujudkan 4 garisan pada arah yang berbeza dengan panjang yang sama iaitu 800µm. Gambaran imej struktur mikro pada permukaan spesimen di bahagian tengah, yang ditangkap dan diwujudkan 4 garisan pada imej tersebut adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. 28. Purata bilangan butir yang bersilang (P_N) sepanjang garisan, dihitung menggunakan persamaan (3. 10), manakala purata diameter butir (P_D), dihitung menggunakan persamaan (3. 11).

$$P_N = \frac{\sum \text{Jumlah bilangan butir untuk keempat-empat garisan}}{\sum \text{Bilangan garisan}} \quad (3. 10)$$

$$P_D = \frac{\frac{\text{Panjang garisan (mm)}}{P_N}}{\text{Pembesaran leleurus}} \quad (3. 11)$$



Rajah 3. 28: Garisan yang dibuat pada imej butiran spesimen di bawah mikroskop untuk mengenalpasti saiz butir pada permukaan yang dipunar.



BAB IV

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4. 1 Pengenalan

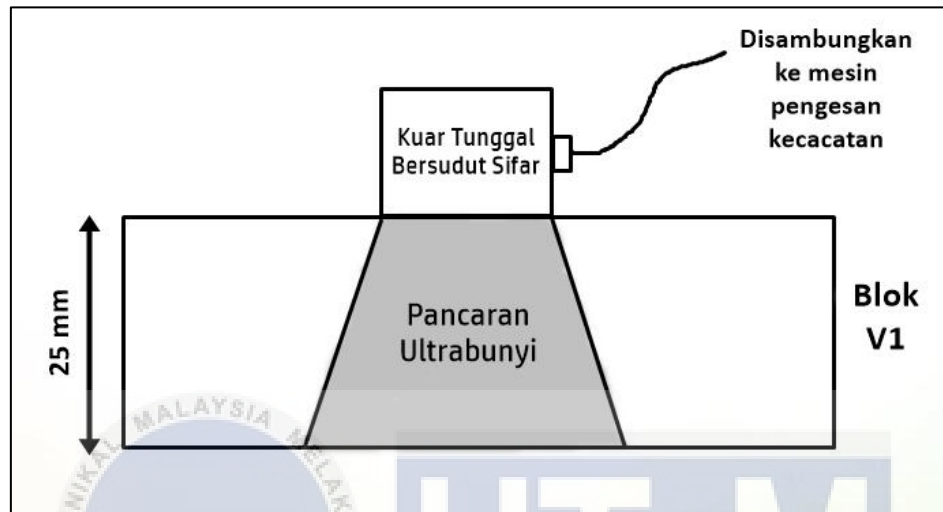
Melalui Bab III, kelengkapan ujian, susunan radas dan kelengkapan, teknik yang digunakan bagi rawatan haba, ujian ultrasonik, ujian mikrokerasan Vickers dan analisa mikrostruktur telah pun dibincangkan. Bab ini mempamerkan keputusan yang diperoleh hasil daripada ujian-ujian yang telah dilakukan di makmal dan perbandingan akan dibuat melalui analisis dan trend setiap data yang telah direkodkan.

4. 2 Hasil ujian ultrasonik sebelum dan selepas rawatan haba

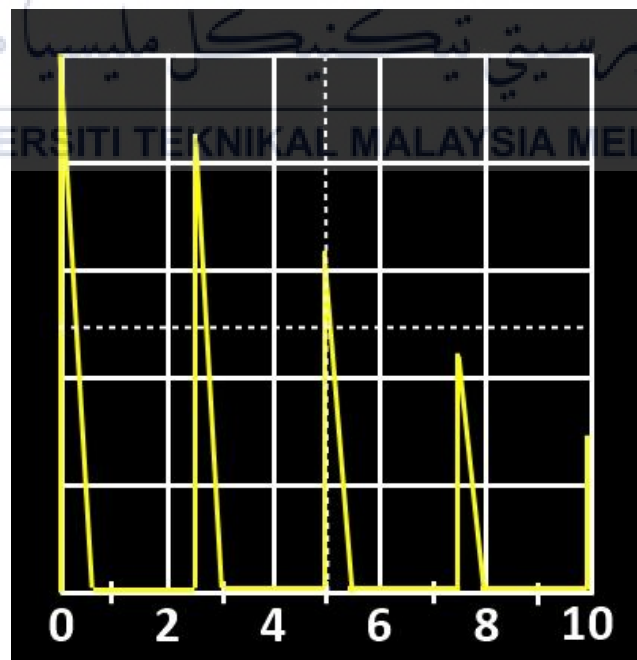
4. 2. 1 Hasil penentukuran blok V1

Penentukuran telah dibuat untuk mendapatkan bacaan yang betul sebelum ujian ultrasonik dimulakan ke atas spesimen menunjukkan hasil seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4. 1 dan Rajah 4. 2. Julat masa yang digunakan ialah 100 mm dan nilai k telah pun dikenalpasti melalui persamaan (3.8) iaitu 10 mm/div. Halaju bahan telah ditetapkan kepada 5960 m/s dan laluan pancaran keluli (S_{ST}) dikenalpasti melalui persamaan (3.7). Semasa proses penentukuran dijalankan, tombol pemutar bagi pelarasan pelengahan-p dilaraskan supaya gema pantulan dinding belakang yang pertama mengenai skala pembahagian 2.5. Kawalan pengecilan

juga dilaraskan supaya gema dinding belakang yang pertama dan kedua berada pada ketinggian antara 80% hingga 30% daripada ketinggian penuh skrin.



Rajah 4. 1: Prosedur penentukuran ke atas blok V1.



Rajah 4. 2: Gema pantulan belakang berganda yang terhasil semasa proses penentukuran.

Rajah 4. 2 menunjukkan bacaan skala pada skrin CRT bagi gema pantulan belakang yang pertama ialah 2.5. Melalui persamaan (3.7), nilai S_{ST} setelah dikira ialah 25 mm. Ini menunjukkan proses penentukuran yang dibuat telah berjaya menepati ukuran sebenar ketebalan blok V1. Seterusnya, ujian ultrasonik dapat dijalankan ke atas 10 spesimen beserta spesimen rujukan menggunakan ketetapan yang sama dalam proses penentukuran.

4. 2. 2 Halaju bunyi menggunakan ujian ultrasonik dan angkup vernier

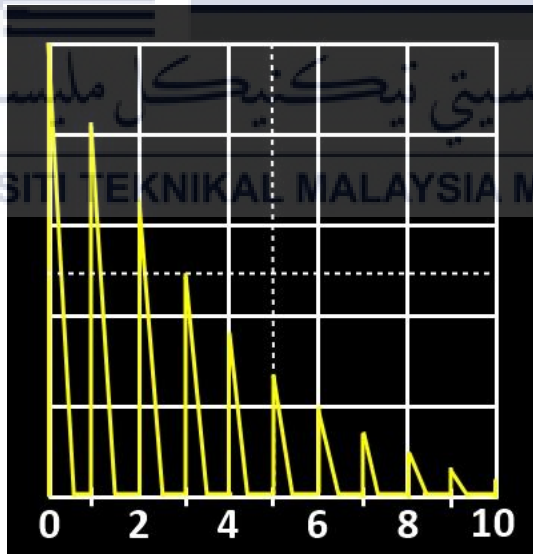
Berdasarkan persamaan (3. 7) hingga (3. 10) , halaju bunyi bagi sesuatu bahan dapat dikenalpasti melalui ujian ultrasonik. Data yang diperlukan ialah spesimen, pengukuran ketebalan spesimen menggunakan angkup vernier, bacaan pada skrin mengikut skala, julat masa yang digunakan, bacaan laluan pancaran spesimen pada skrin CRT dan laluan pancaran keluli rujukan. Bacaan laluan pancaran setiap spesimen direkodkan sebanyak tiga kali dan purata bacaan dikira sebelum digunakan dalam pengiraan halaju bunyi. Contoh ujian ultrasonik yang dijalankan dapat dilihat pada Rajah 4. 3, di mana spesimen rujukan sedang diuji menggunakan kuar tunggal bersudut sifar dan bacaan yang terhasil ditunjukkan di dalam Rajah 4. 4. Jadual 4. 1 menunjukkan data halaju bunyi bagi setiap spesimen setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut, manakala Jadual 4. 2 menunjukkan halajubunyi spesimen setelah melalui proses lindap-kejut dan pembajaan pada suhu yang berbeza.

Rajah 4. 5 menunjukkan trend purata halaju bunyi bagi tiga suhu pemanasan yang berbeza, iaitu pada suhu 800°C, 900°C, 1000°C dan halaju bunyi bagi spesimen rujukan setelah data pengukuran ketebalan menggunakan angkup vernier dan laluan gelombang ultrasonik direkodkan. Rajah 4. 6 menunjukkan halaju bunyi bagi setiap spesimen setelah menjalani proses

rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan pada suhu pemanasan 300°C, 500°C, 700°C beserta dengan halaju bunyi sebelum spesimen-spesimen tersebut melalui proses pembajaan.



Rajah 4. 3: Ujian ultrasonik ke atas spesimen rujukan.



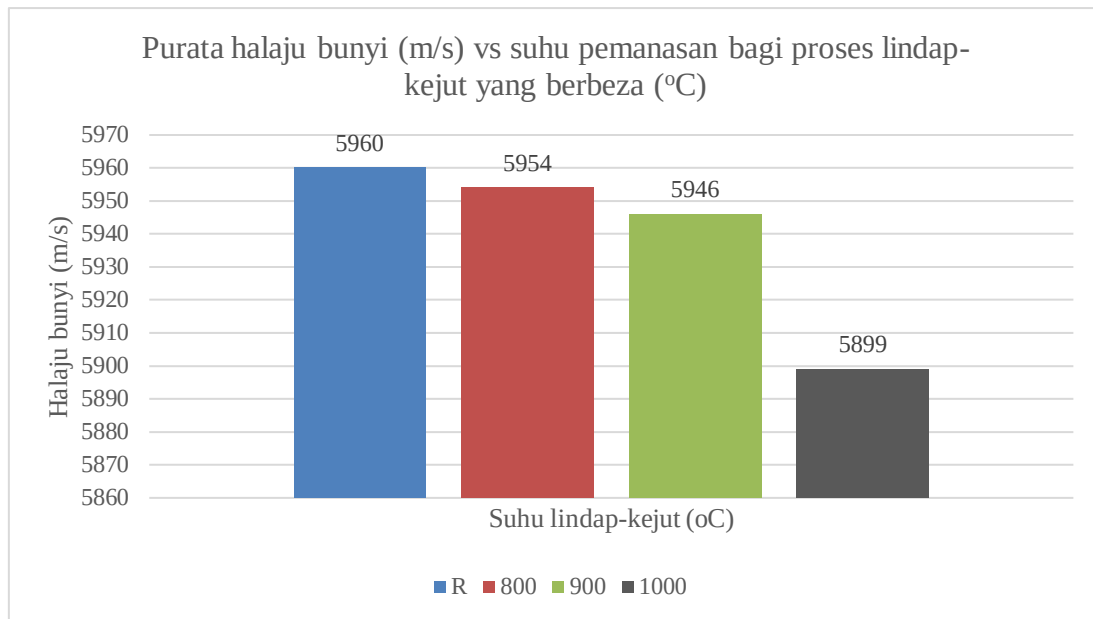
Rajah 4. 4: Gema pantulan berganda yang terhasil pada skrin CRT untuk spesimen rujukan.

Jadual 4. 1: Halaju bunyi bagi setiap spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut pada suhu yang berbeza.

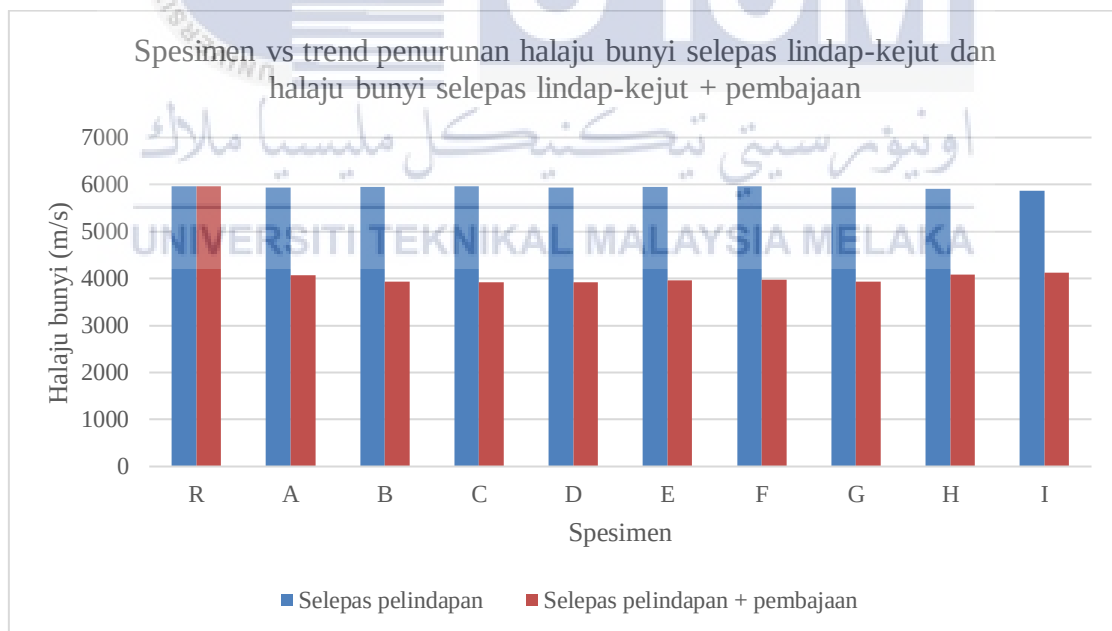
Spesimen	Suhu lindap-kejut (°C)	Ketebalan spesimen, Sw (mm)	Bacaan pada skrin, SR	Laluan pancaran keluli, $S_{st} = k \times SR$	Halaju bunyi spesimen, Vw (m/s)	Purata halaju bunyi spesimen, Vw (m/s)
R	-	10.20	1.02	10.20	5960	5960
A	800	9.97	1.00	10.00	5942	5954
B		10.19	1.02	10.20	5954	
C		10.21	1.02	10.20	5966	
D	900	10.15	1.02	10.20	5931	5946
E		10.18	1.02	10.20	5948	
F		10.20	1.02	10.20	5960	
G	1000	10.15	1.02	10.20	5930	5899
H		10.11	1.01	10.10	5907	
I		10.03	1.00	10.00	5861	

Jadual 4. 2: Halaju bunyi bagi setiap spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan pada suhu yang berbeza.

Suhu Lindap-kejut (°C)	Suhu Pembajaan (°C)	Spesimen	Ketebalan spesimen, Sw (mm)	Bacaan pada skrin, SR	Laluan pancaran keluli rujukan, $S_{st} = k \times SR$	Halaju bunyi spesimen (m/s)
-	-	R	10.20	1.02	10.20	5960
800	300	A	9.84	1.44	14.40	4073
	500	B	10.09	1.53	15.30	3930
	700	C	10.12	1.54	15.40	3917
900	300	D	10.14	1.54	15.40	3924
	500	E	10.09	1.52	15.20	3956
	700	F	10.07	1.51	15.10	3975
1000	300	G	10.04	1.52	15.20	3937
	500	H	9.88	1.44	14.40	4089
	700	I	9.90	1.43	14.30	4126



Rajah 4. 5: Perbandingan halaju bunyi spesimen pada ketiga-ketiga suhu lindap-kejut yang berbeza dengan spesimen rujukan.



Rajah 4. 6: Perbandingan setiap spesimen antara halaju bunyi selepas lindap-kejut dan halaju bunyi selepas lindap-kejut dan pembajaan.

Ketebalan setiap spesimen yang diukur menggunakan angkup vernier adalah berbeza dengan laluan pancaran pada skrin CRT bagi setiap spesimen. Majoriti bacaan pada skala skrin adalah lebih tinggi setelah spesimen-spesimen melalui proses rawatan haba berbanding dengan pengukuran ketebalan yang dibuat menggunakan angkup vernier. Ini adalah kerana perubahan parameter elastik yang berlaku pada keluli tersebut setelah menjalani proses rawatan haba. Ianya mempunyai hubungan dengan kekerasan dan purata saiz butir spesimen yang berubah apabila haba dikenakan ke atas spesimen pada suhu yang tinggi semasa proses lindap-kejut dan pembajaan.

Melalui Rajah 4. 5, halaju bunyi bagi setiap spesimen semakin berkurang dengan kenaikan suhu pemanasan ketika proses lindap-kejut dijalankan. Namun begitu, trend halaju bunyi spesimen semakin meningkat apabila menjalani proses rawatan haba pembajaan antara 500°C dan 700°C seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4. 6. Halaju bunyi maksima adalah 4126 m/s iaitu bagi spesimen I yang melalui proses lindap-kejut pada suhu 1000°C dan suhu pembajaan pada suhu 700°C. Manakala halaju bunyi minima dimiliki oleh spesimen C yang mempunyai halaju bunyi pada 3917 m/s, di mana ianya telah menjalani proses lindap-kejut pada suhu 800°C dan suhu pembajaan pada suhu 700°C. Halaju bunyi bagi spesimen rujukan ialah 5960 m/s.

Kadar penurunan halaju bunyi bagi proses lindap-kejut dan pembajaan adalah berbeza seperti yang boleh dirujuk di dalam Rajah 4. 6. Perbandingan antara penurunan halaju bunyi setiap spesimen yang melalui proses lindap-kejut dengan halaju bunyi rujukan dengan adalah sangat rendah berbanding dengan penurunan halaju bunyi setiap spesimen setelah melalui proses lindap-kejut dan pembajaan. Ini adalah kerana masa yang diambil untuk prosedur pemanasan spesimen dan penyejukan semasa proses lindap-kejut adalah lebih cepat berbanding dengan prosedur yang dijalankan semasa proses rawatan pembajaan.

4.3 Hasil ujian mikrokekerasan Vickers ke atas setiap spesimen

4.3.1 Analisis data setelah proses rawatan haba lindap-kejut dijalankan ke atas setiap spesimen

Spesimen A hingga spesimen I telah melalui proses lindap-kejut dengan suhu pemanasan yang berbeza iaitu 800°C, 900°C dan 1000°C. Hasil ujian mikrokekerasan bagi mengenalpasti kekerasan permukaan setiap spesimen dengan pelekukan pada 10 titik pada permukaan ditunjukkan di dalam Jadual 4. 3. Graf untuk membandingkan nilai kekerasan kesembilan-sembilan spesimen dengan spesimen rujukan telah dibangunkan seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4. 7 hingga Rajah 4. 15. Berdasarkan data yang diperoleh, purata kekerasan bagi setiap spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut pada suhu pemanasan yang berbeza telah dikira.

Pemerhatian yang dikenalpasti ialah, bagi setiap suhu pemanasan, kekerasan spesimen meningkat lebih tinggi daripada kekerasan spesimen rujukan. Pada suhu 1000°C, purata kekerasan spesimen meningkat sebanyak 33%, manakala pada suhu pada 800°C, purata kekerasan spesimen meningkat sebanyak 63.5% berbanding spesimen rujukan. Purata kekerasan spesimen yang paling tinggi adalah apabila spesimen melalui suhu pemanasan pada suhu 900°C di mana kekerasan spesimen secara puratanya telah meningkat sehingga 415 HV berbanding kekerasan asal atau spesimen rujukan yang hanya 200 HV. Seperti yang boleh dirujuk di dalam Rajah 4. 16, walaupun kekerasan spesimen-spesimen pada suhu 900°C adalah tinggi berbanding dengan kekerasan spesimen-spesimen pada suhu pemanasan yang lain, kekerasan pada bahagian tengah adalah lebih rendah berbanding dengan bahagian sisi spesimen. Jika dibandingkan dengan spesimen yang melalui proses pemanasan pada suhu 800°C dan juga

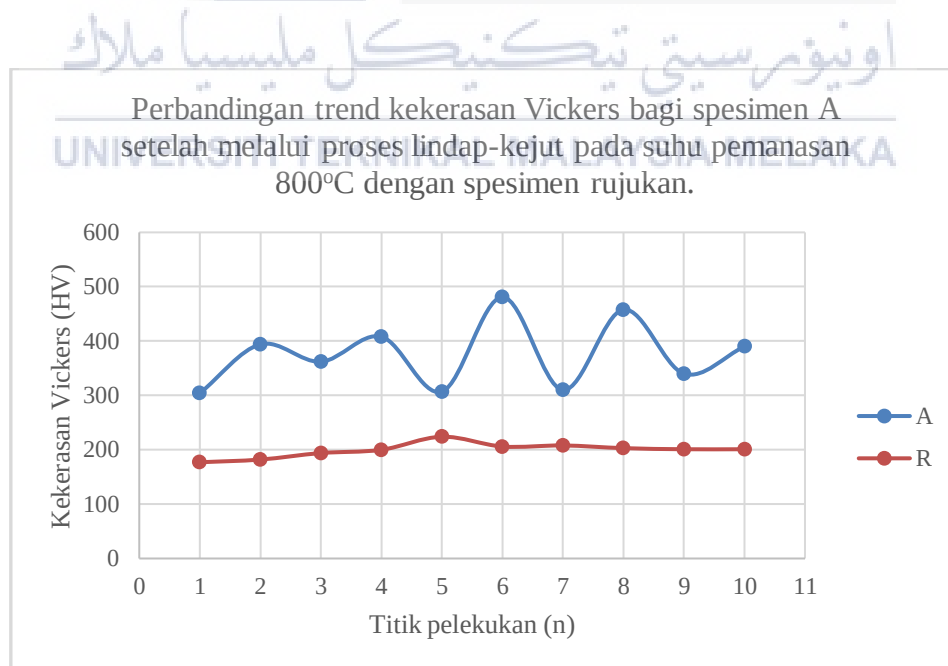
spesimen rujukan, kekerasan bagi kedua-dua keadaan spesimen ini pada bahagian tengah adalah lebih tinggi daripada bahagian sisi.

Kesemua spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut pada tiga suhu yang berbeza mengalami peningkatan tahap kekerasan walaupun dalam kadar yang sedikit seperti yang dapat dilihat pada trend untuk spesimen-spesimen yang melalui suhu pemanasan proses lindap-kejut pada 1000°C. Ini menepati hasil kajian lepas yang telah dilakukan oleh Medy dan Janus (2017) di mana dengan meningkatkan suhu pemanasan dan memanjangkan tempoh rendaman, akan menambahkan lagi kekerasan logam yang melalui proses rawatan haba. Kekerasan spesimen-spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut pada suhu 800°C dan 900°C didapati lebih tinggi daripada spesimen-spesimen yang melalui proses yang sama pada suhu 1000°C. Ini boleh berlaku disebabkan herotan dasar lubang pelekukan dan juga retakan halus yang terdapat pada permukaan spesimen apabila ujian mikrokekerasan dijalankan (Ismail et al., 2016).



Jadual 4. 3: Data kekerasan yang direkodkan pada titik pelekukan yang berbeza bagi setiap spesimen yang melalui rawatan haba lindap-kejut pada suhu yang berbeza.

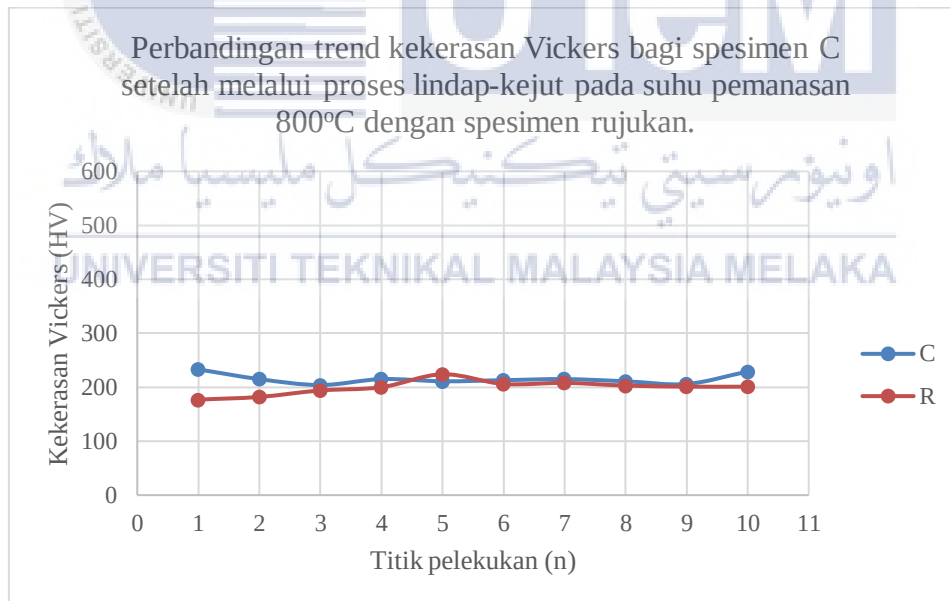
Suhu pemanasan semasa proses lindap-kejut (°)		-	800				900			1000		
Spesimen/ Titik pelekukan		R	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Kekerasan Vickers (HV)	1	177	304	487	233	399	525	437	336	390	340	
	2	182	394	403	215	386	568	350	262	266	274	
	3	194	362	382	204	458	403	427	248	226	299	
	4	200	408	336	215	464	319	369	246	213	255	
	5	224	307	326	211	408	350	417	222	237	264	
	6	206	481	469	213	316	290	422	226	239	260	
	7	208	310	413	215	369	269	499	229	209	272	
	8	203	458	382	211	369	422	350	239	244	266	
	9	201	340	340	206	442	399	499	244	264	349	
	10	201	390	386	229	469	539	512	257	326	333	
Purata kekerasan bagi setiap spesimen		200	375	392	215	408	408	428	251	262	362	
Purata kekerasan mengikut suhu lindap-kejut		200	327				415			292		



Rajah 4. 7: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen A setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



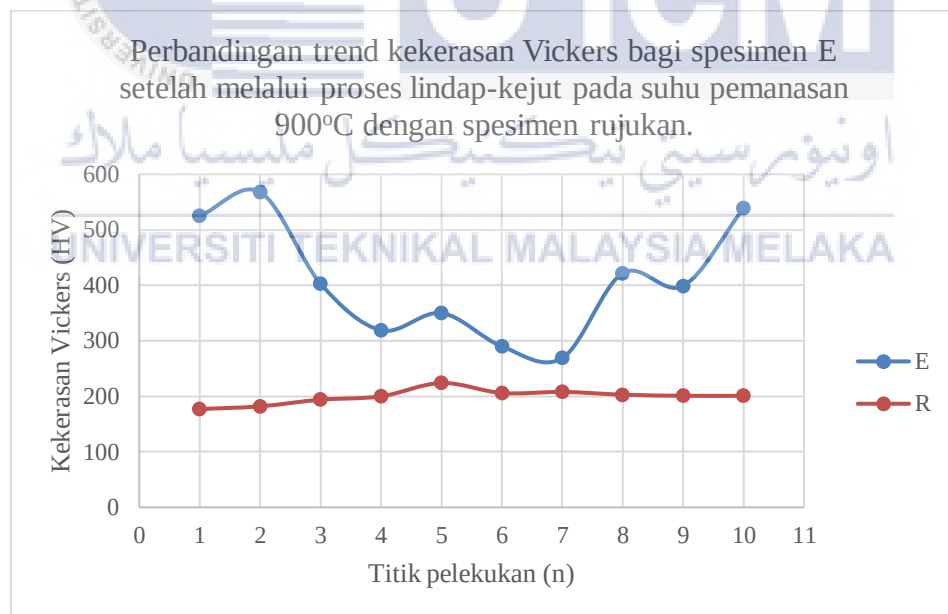
Rajah 4. 8: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen B setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



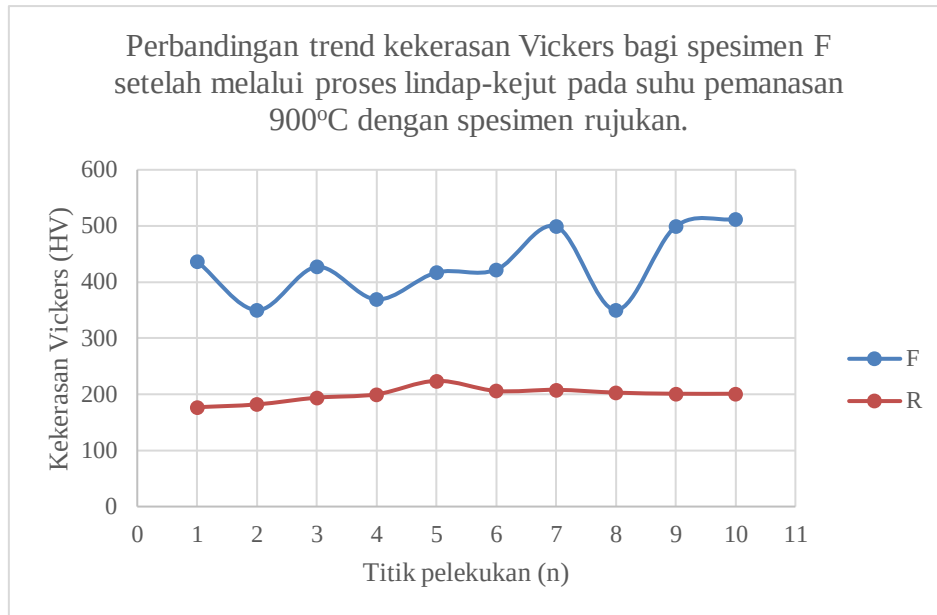
Rajah 4. 9: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen C setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



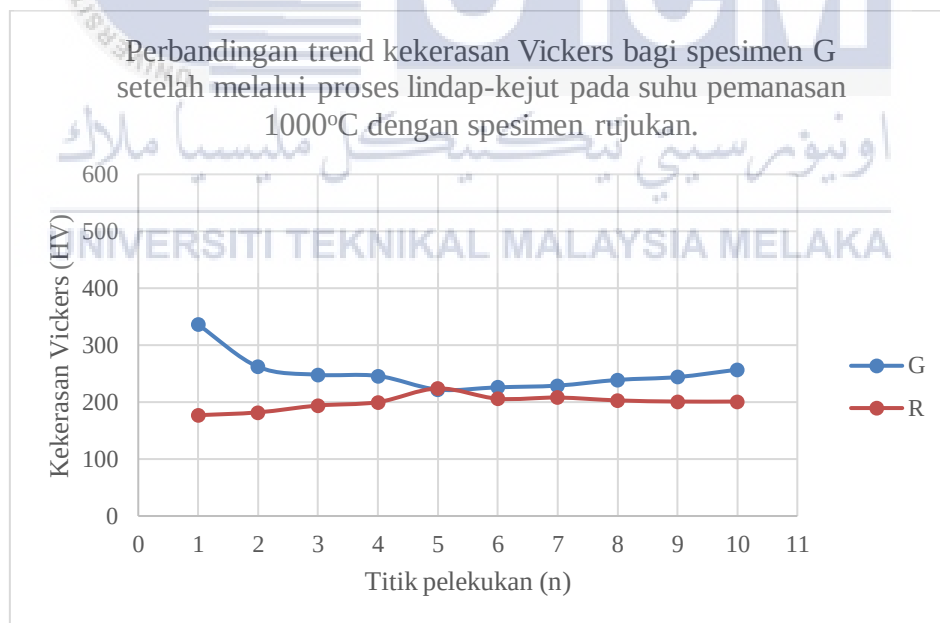
Rajah 4. 10: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen D setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



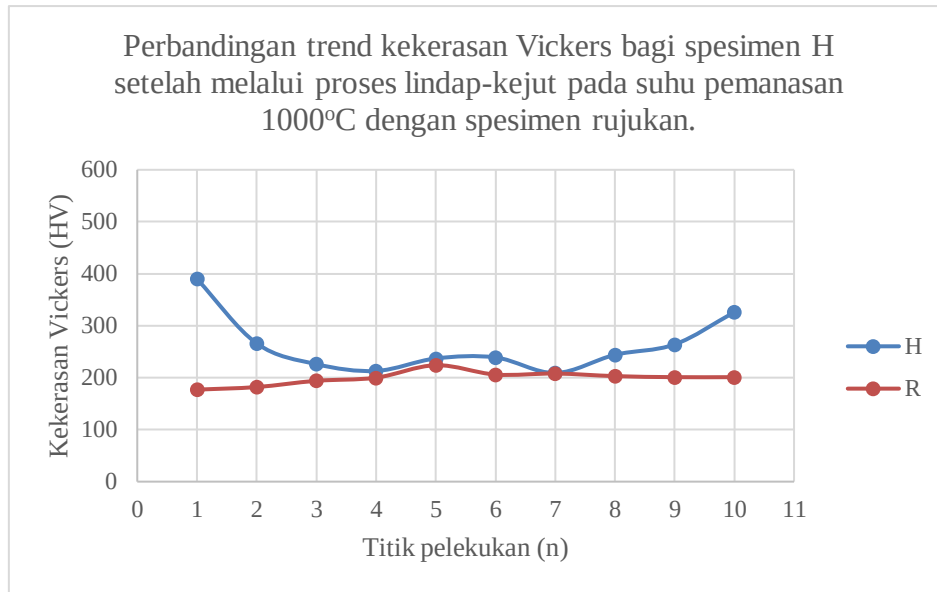
Rajah 4. 11: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen E setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



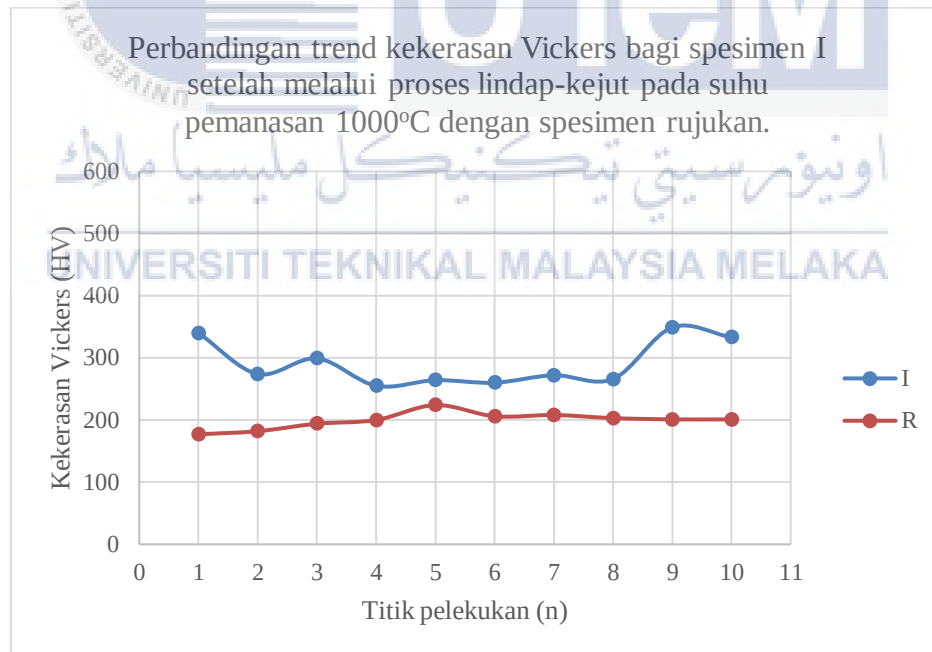
Rajah 4. 12: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen F setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



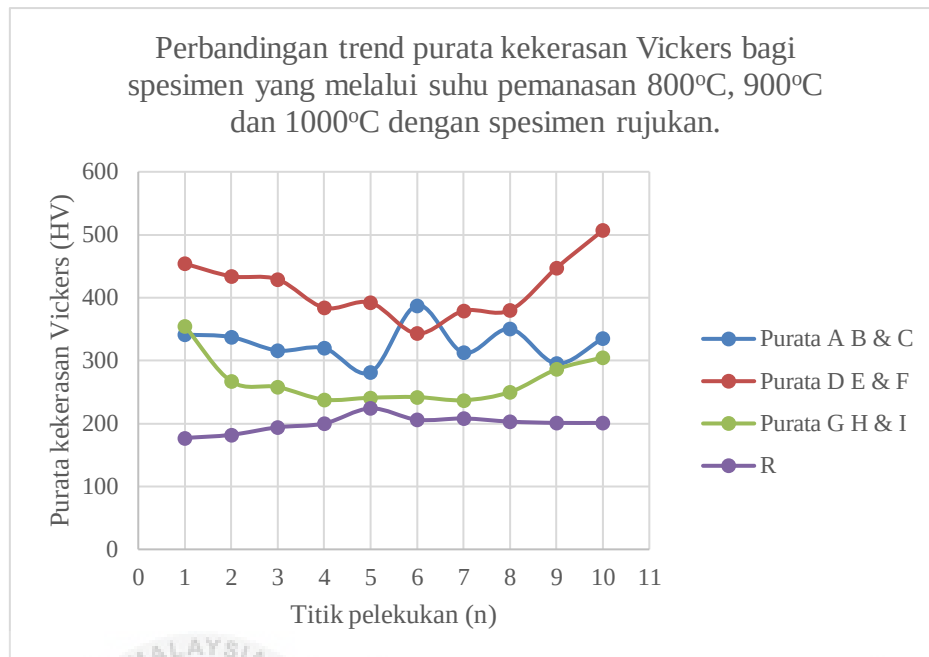
Rajah 4. 13: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen G setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



Rajah 4. 14: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen H setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



Rajah 4. 15: Trend kekerasan Vickers bagi spesimen I setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut tanpa rawatan pembajaan.



Rajah 4. 16: Trend kekerasan Vickers bagi kesemua spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut pada tiga suhu yang berbeza beserta spesimen rujukan.

4. 3. 2 Analisis data setelah proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan dijalankan ke atas setiap spesimen

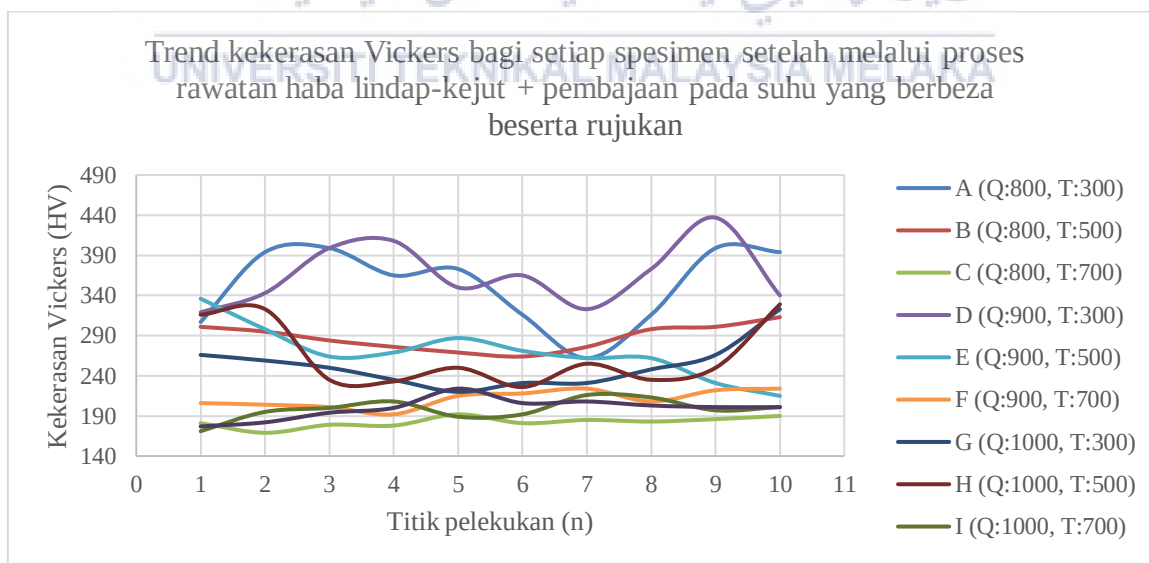
Hasil ujian mikrokekerasan ke atas spesimen yang telah menjalani proses rawatan haba pembajaan pada suhu pemanasan yang berbeza iaitu 300°C, 500°C dan 700°C setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut ditunjukkan di dalam Jadual 4. 4. Melalui data yang diperoleh untuk setiap titik pelekukan, trend kekerasan bagi 10 titik untuk setiap spesimen dibandingkan melalui graf yang dapat dilihat di dalam Rajah 4. 17. Ianya dapat dikenalpasti bahawa terdapat spesimen yang mempunyai kekerasan yang jauh lebih tinggi berbanding dengan kekerasan spesimen rujukan seperti yang dapat dinilai pada spesimen D. Namun begitu, terdapat juga spesimen yang mempunyai kekerasan lebih rendah berbanding spesimen rujukan setelah menjalani kedua-dua proses rawatan haba di dalam kajian ini iaitu spesimen C.

Trend kekerasan bagi setiap spesimen berbeza-beza disebabkan ketidakseragaman yang telah berlaku pada awal proses rawatan haba lindap-kejut terhadap spesimen-spesimen yang diuji. Graf pada Rajah 4. 18 dibangunkan bagi membandingkan perubahan kekerasan setiap spesimen sebelum proses rawatan haba pembajaan dijalankan dengan selepas proses rawatan haba pembajaan dijalankan bagi mengenalpasti perubahan tahap kekerasan spesimen bagi kedua-dua proses tersebut. Hasil perbandingan kekerasan setiap spesimen antara kedua-dua proses rawatan haba telah membuktikan bahawa, majoriti kekerasan spesimen menurun setelah proses rawatan haba pembajaan dijalankan ke atas spesimen. Hanya spesimen G dan H yang menunjukkan peningkatan pada kekerasan namun ianya mewakili nilai yang tidak ketara.

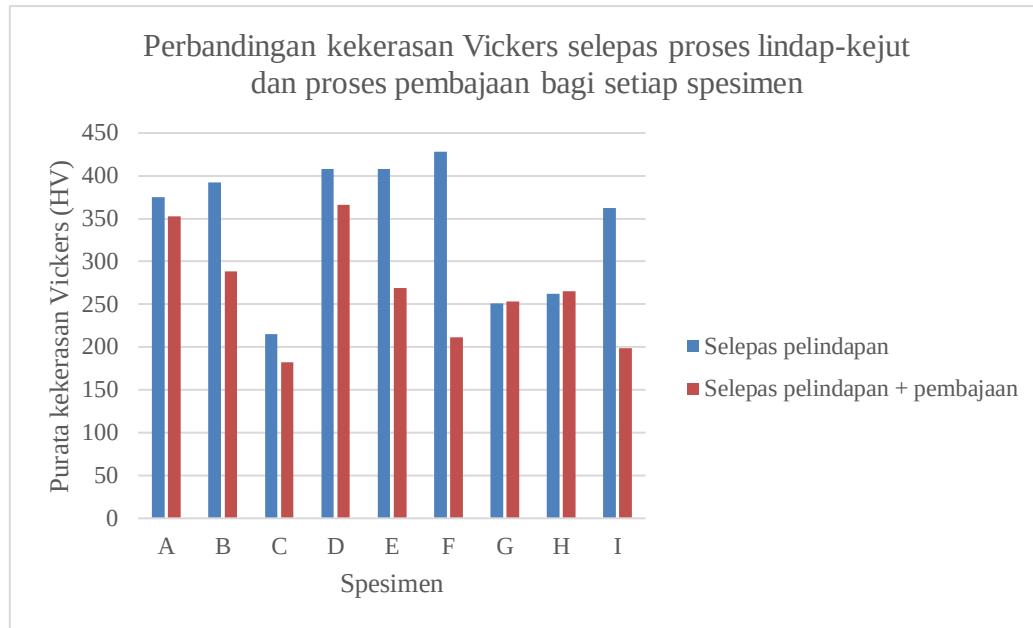
Ini juga telah menepati kajian yang dibuat oleh Ismail et al. (2016), di mana pengkaji telah menemukan hasil yang sama pada spesimen yang telah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan juga pembajaan. Kekerasan keluli karbon sederhana akan berkurang dengan kenaikan suhu ketika proses pembajaan dijalankan. Menurut pengkaji yang turut melakukan ujian impak ke atas keluli karbon sederhana di dalam kajiannya, melalui proses pembajaan, kekerasan keluli karbon sederhana mula untuk berkurang dan kemudian kekuatan bahan tersebut akan meningkat apabila tenaga yang diserap semakin bertambah. Ini juga telah dapat dibuktikan dengan penurunan tahap kekerasan setiap spesimen dengan peningkatan suhu pembajaan 300°C hingga 700°C di dalam kajian ini.

Jadual 4. 4: Kekerasan bagi 10 titik pelekukan untuk setiap spesimen beserta rujukan selepas proses lindap-kejut dan pembajaan.

Suhu pemanasan semasa proses lindap-kejut (°)		-	800			900			1000		
Suhu pemanasan semasa proses pembajaan (°)		-	300	500	700	300	500	700	300	500	700
Spesimen/ Titik pelekukan		R	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Kekerasan Vickers (HV)	1	177	307	301	181	319	336	206	266	316	171
	2	182	394	295	169	343	298	204	259	323	195
	3	194	399	284	179	399	264	201	250	235	200
	4	200	365	276	178	408	269	192	235	233	208
	5	224	373	269	192	350	287	215	220	250	189
	6	206	316	264	181	365	271	218	231	226	192
	7	208	262	276	185	323	262	224	231	255	216
	8	203	316	298	183	373	262	208	248	235	213
	9	201	399	301	186	437	231	222	266	250	197
	10	201	394	313	190	340	215	224	323	329	201
Purata kekerasan bagi setiap spesimen		200	353	288	182	366	269	211	253	265	199



Rajah 4. 17: Trend kekerasan bagi setiap spesimen setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan.

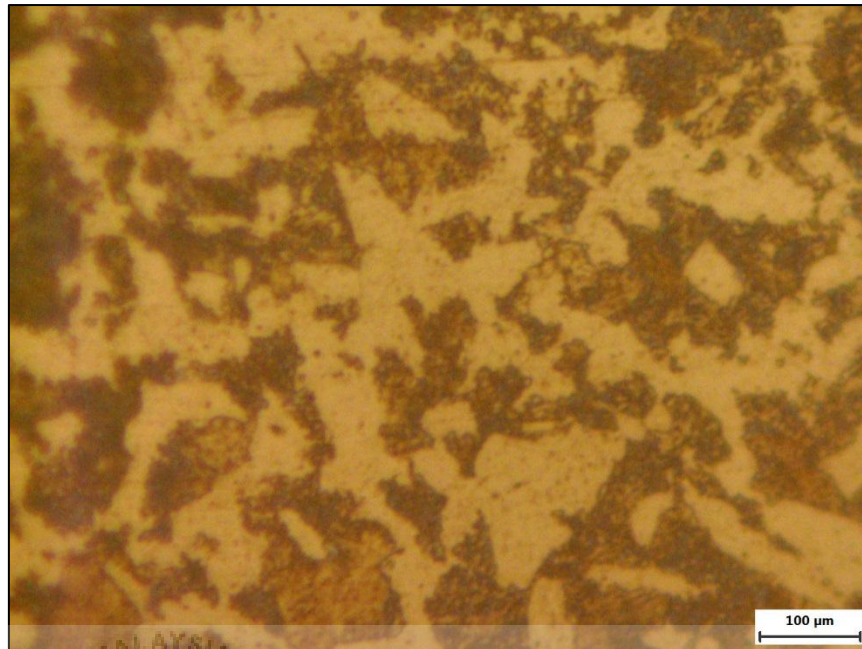


Rajah 4. 18: Perbandingan nilai kekerasan Vickers bagi setiap spesimen setelah melalui proses lindap-kejut dan lindap-kejut + pembajaan pada suhu yang berbeza.

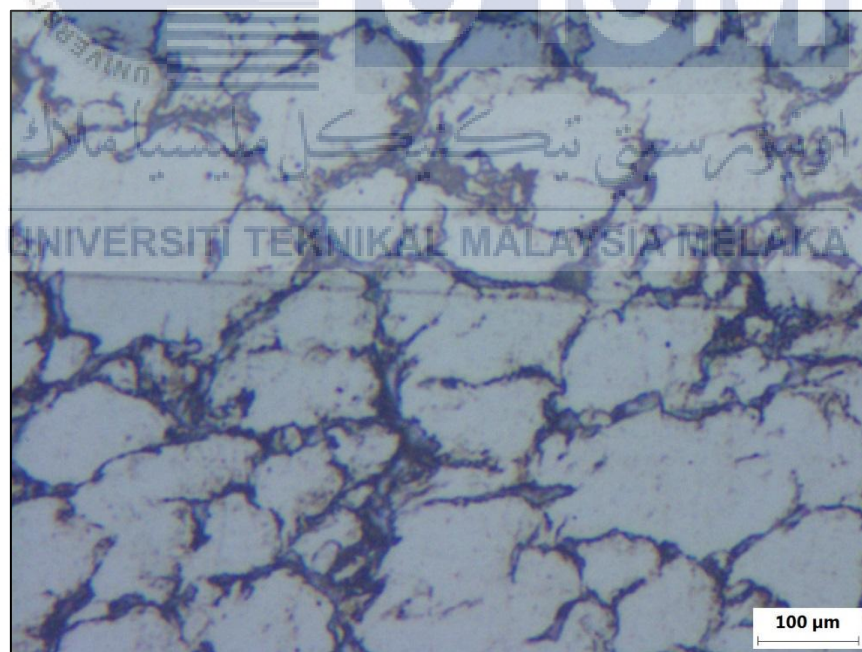
4. 4 Hasil analisa mikrostruktur ke atas spesimen-spesimen yang dirawat

4. 4. 1 Perbandingan imej mikrostruktur spesimen selepas proses lindap-kejut dijalankan pada suhu yang berbeza

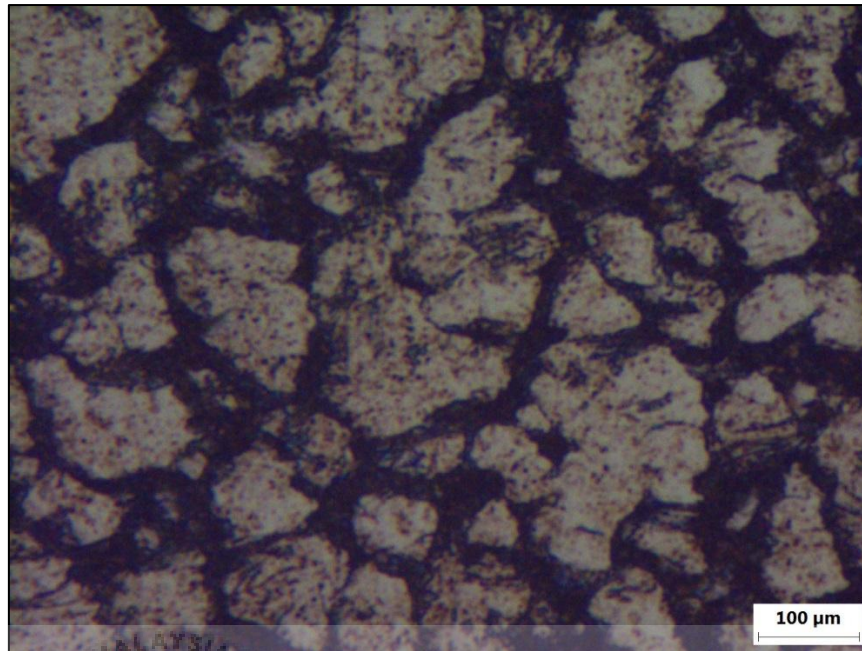
Analisa mikrostruktur bagi setiap spesimen dijalankan selepas proses lindap-kejut dan juga setelah melalui proses pembajaan. Lokasi pada permukaan setiap spesimen untuk dianalisa dan dibandingkan ditangkap menggunakan mikroskop cahaya. Butir mikrostruktur spesimen rujukan ditunjukkan di dalam Rajah 4. 19. Imej bagi permukaan spesimen pada tiga suhu pemanasan yang berbeza selepas proses lindap-kejut adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4. 20 hingga Rajah 4. 22.



Rajah 4. 19: Butir mikrostruktur spesimen rujukan yang dilihat di bawah mikroskop.



Rajah 4. 20: Mikrostruktur spesimen B selepas proses lindap-kejut pada suhu pemanasan 800°C.



Rajah 4. 21: Mikrostruktur spesimen F selepas proses lindap-kejut pada suhu pemanasan 900°C.



Rajah 4. 22: Mikrostruktur spesimen G selepas proses lindap-kejut pada suhu pemanasan 1000°C.

Trend yang dapat diperhatikan melalui Rajah 4. 20 hingga Rajah 4. 22 ialah, saiz butir mengalami pengecilan dengan peningkatan suhu pemanasan ketika proses lindap-kejut dijalankan. Ini disebabkan kadar penyejukan yang sangat pantas ketika proses lindap-kejut dijalankan ke atas spesimen pada suhu pemanasan yang tinggi. Jika spesimen dibiarkan menyejuk pada kadar yang perlahan, pembentukan nukleus adalah sedikit dan sempadan antara satu butir dengan butir yang lain akan menjadi besar. Apabila keluli karbon disejukkan dengan kadar yang pantas di dalam air, bilangan nukleus yang terhasil adalah banyak dan ini juga menyebabkan sempadan antara butir mengecil. Rajah 4. 19 menunjukkan terdapat konstituen-konstituen mikrostruktur ferrit dan pearlit pada spesimen rujukan yang tidak melalui sebarang proses rawatan haba. Ini menunjukkan keluli karbon AISI 1050 telah melalui proses penyejukan pada suhu bilik dengan kadar yang perlahan oleh pengeluar asal keluli karbon tersebut.

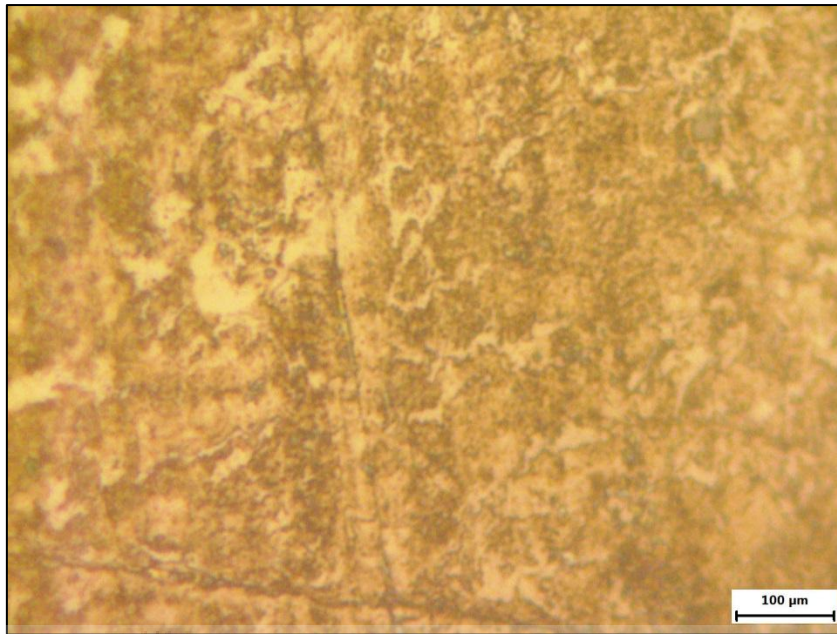
Martensit terhasil setelah proses rawatan haba lindap-kejut dijalankan pada suhu yang berbeza. Perubahan kepada mikrostruktur martensit adalah disebabkan proses ricihan yang mendadak. Konstituen yang terhasil bersifat sangat keras disebabkan karbon yang terperangkap di dalam larutan pepejal. Perubahan kepada mikrostruktur martensit biasanya berlaku pada julat suhu yang boleh dikenalpasti dengan tepat untuk logam keluli karbon. Perubahan ke mikrostruktur martensit boleh berlaku dalam julat yang besar, daripada 500°C hingga mencecah suhu bawah daripada suhu bilik. Bergantung kepada kebolehkerasan keluli yang hendak dikaji.

4. 4. 2 Perbandingan imej mikrostruktur spesimen selepas proses lindap-kejut-pembajaan dijalankan pada suhu yang berbeza

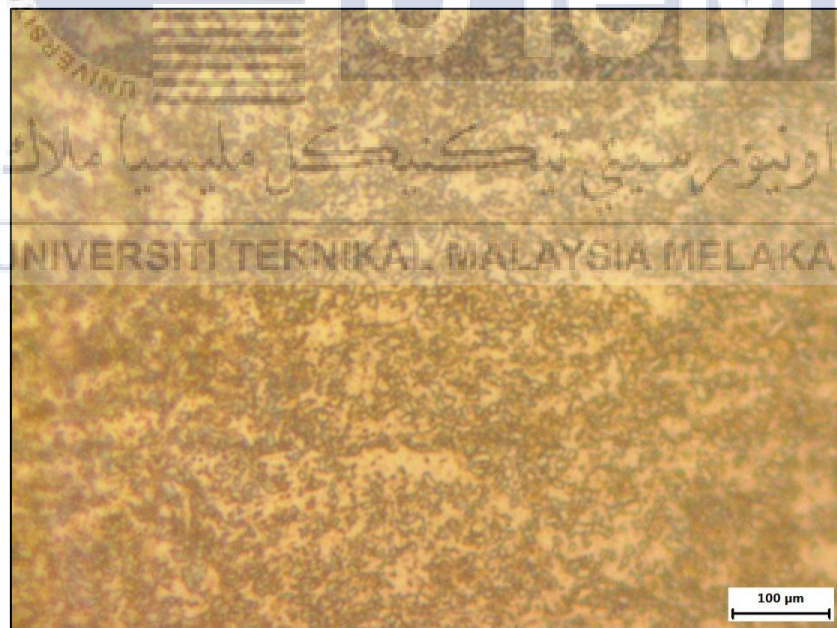
Setelah proses lindap-kejut dijalankan ke atas 9 spesimen, rawatan haba diteruskan dengan proses pembajaan pada spesimen-spesimen yang sama. Imej mikrostruktur yang ditangkap bagi setiap spesimen selepas kedua-dua proses selesai dijalankan adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4. 23 hingga Rajah 4. 31.



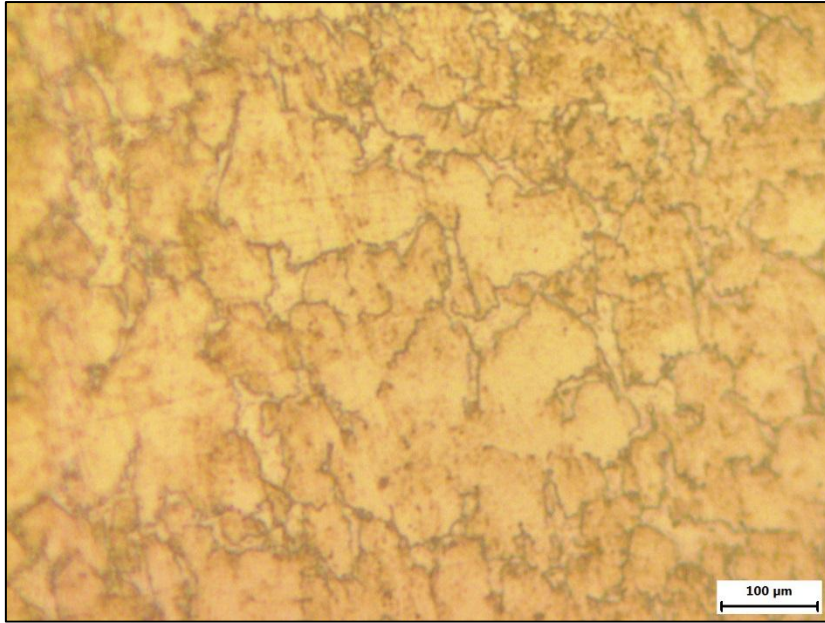
Rajah 4. 23: Spesimen A selepas proses lindap-kejut pada suhu 800°C dan pembajaan pada suhu 300°C.



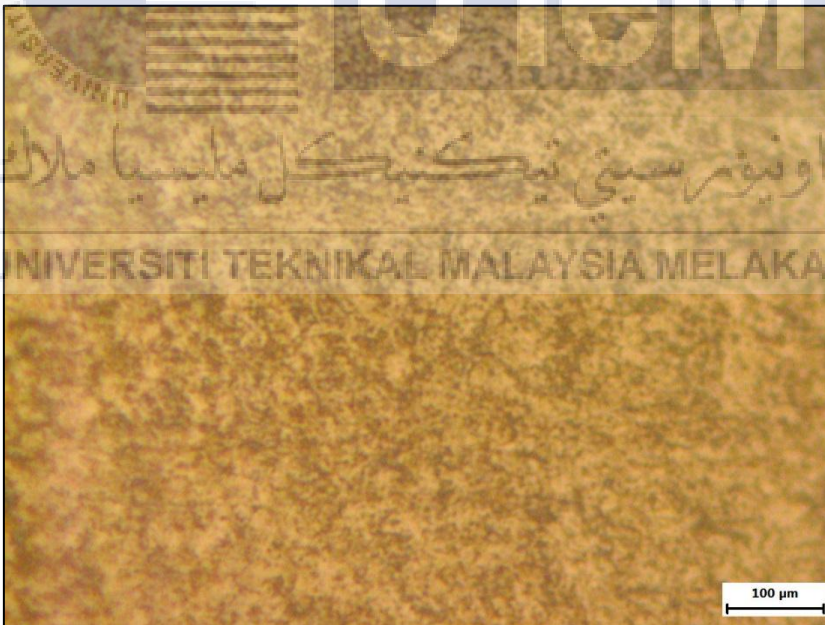
Rajah 4. 24: Spesimen B selepas proses lindap-kejut pada suhu 800°C dan pembajaan pada suhu 500°C.



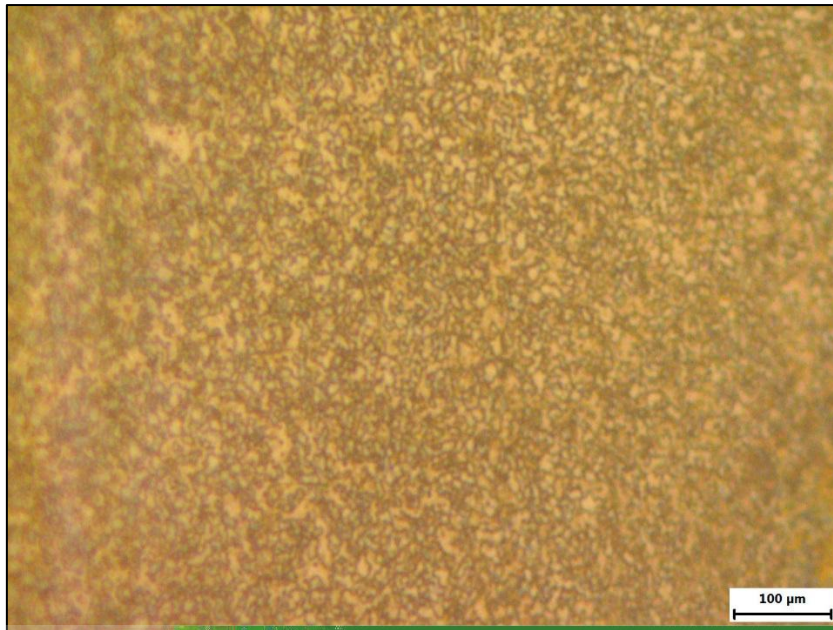
Rajah 4. 25: Spesimen C selepas proses lindap-kejut pada suhu 800°C dan pembajaan pada suhu 700°C.



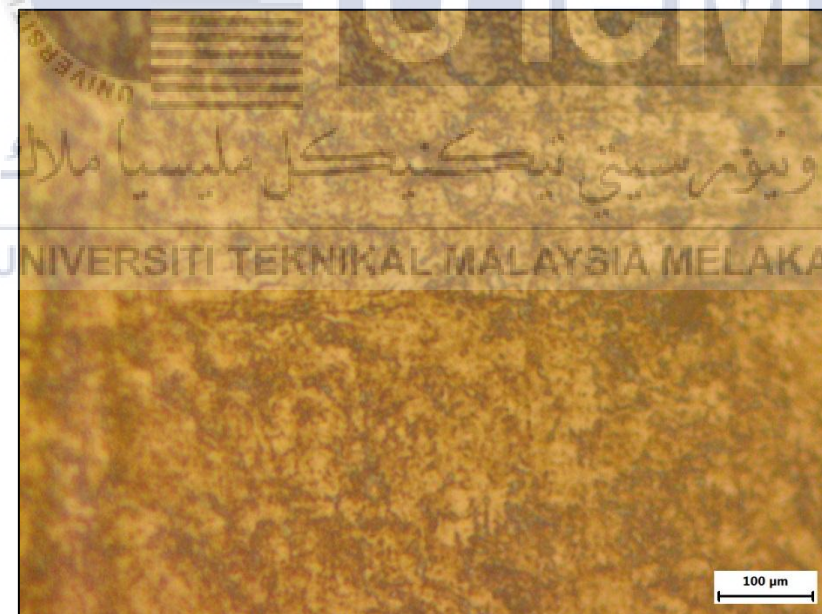
Rajah 4. 26: Spesimen D selepas proses lindap-kejut pada suhu 900°C dan pembajaan pada suhu 300°C.



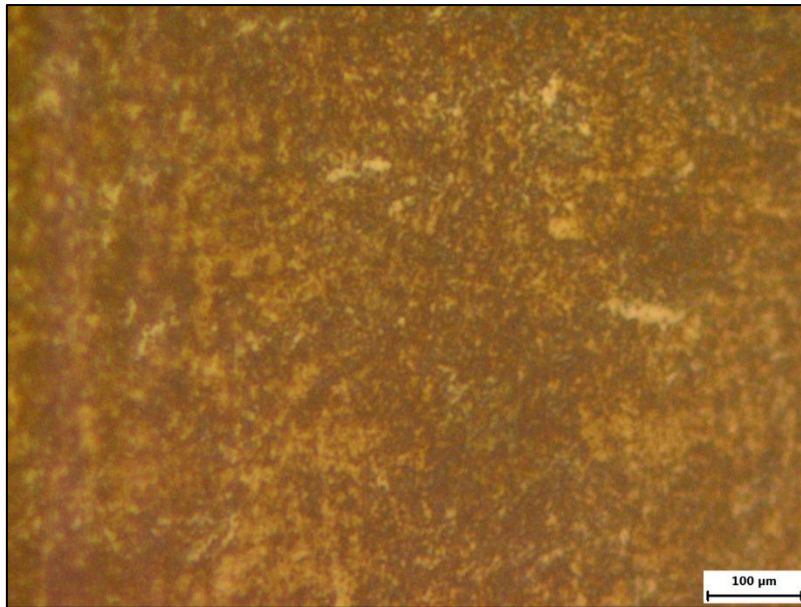
Rajah 4. 27: Spesimen E selepas proses lindap-kejut pada suhu 900°C dan pembajaan pada suhu 500°C.



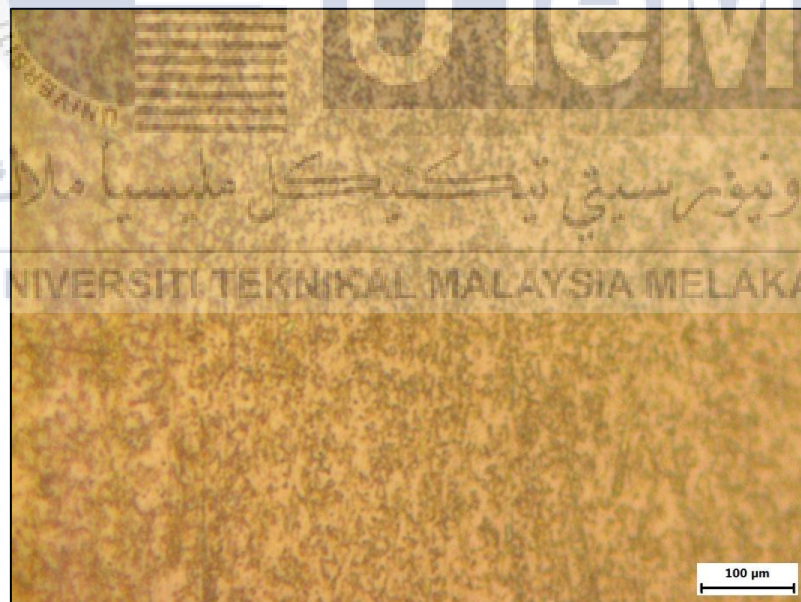
Rajah 4. 28: Spesimen F selepas proses lindap-kejut pada suhu 900°C dan pembajaan pada suhu 700°C.



Rajah 4. 29: Spesimen G selepas proses lindap-kejut pada suhu 1000°C dan pembajaan pada suhu 300°C.



Rajah 4. 30: Spesimen H selepas proses lindap-kejut pada suhu 1000°C dan pembajaan pada suhu 500°C.



Rajah 4. 31: Spesimen I selepas proses lindap-kejut pada suhu 1000°C dan pembajaan pada suhu 700°C.

Pemerhatian yang diperoleh daripada kesembilan-sembilan spesimen yang melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan ialah, saiz butir menjadi semakin halus berbanding dengan pemerhatian yang dibuat selepas proses lindap-kejut dijalankan. Martensit telah terhasil pada permukaan spesimen-spesimen setelah proses pembajaan dijalankan. Perubahan saiz butir dapat dilihat dengan jelas pada imej sebelum dan selepas proses pembajaan dijalankan. Butiran mikrostruktur menjadi semakin halus setelah melalui proses pembajaan. Namun begitu, terdapat juga spesimen yang mikrostrukturnya tidak mengalami perubahan yang ketara setelah melalui proses rawatan haba pembajaan.

4. 4. 3 Perbandingan saiz purata diameter butir bagi setiap spesimen selepas proses lindap-kejut dan selepas proses pembajaan dijalankan

Melalui kaedah pengiraan purata diameter butir dan purata diameter butir mengikut suhu pemanasan yang telah ditunjukkan di dalam subunit 3. 7. 2, data yang diperoleh adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 4. 5 dan Jadual 4. 6 bagi pengiraan selepas proses lindap-kejut dan juga pengiraan selepas proses pembajaan. Melalui Jadual 4. 5, Purata diameter butir semakin mengecil dengan peningkatan suhu pemanasan semasa proses lindap-kejut dijalankan. Ini dapat dibuktikan dengan perbandingan dengan nilai purata diameter spesimen rujukan di mana spesimen rujukan mempunyai purata diameter butir bersaiz $1.4545\text{ }\mu\text{m}$, namun apabila melalui proses lindap-kejut pada suhu yang semakin tinggi, ianya boleh mengecil sehingga mencecah saiz minima $0.5469\text{ }\mu\text{m}$ iaitu pada suhu pemanasan 1000°C .

Apabila kesembilan-sembilan spesimen melalui proses pemanasan bagi proses rawatan pembajaan, saiz butir turut berubah. Majoriti saiz purata diameter butir semakin mengecil

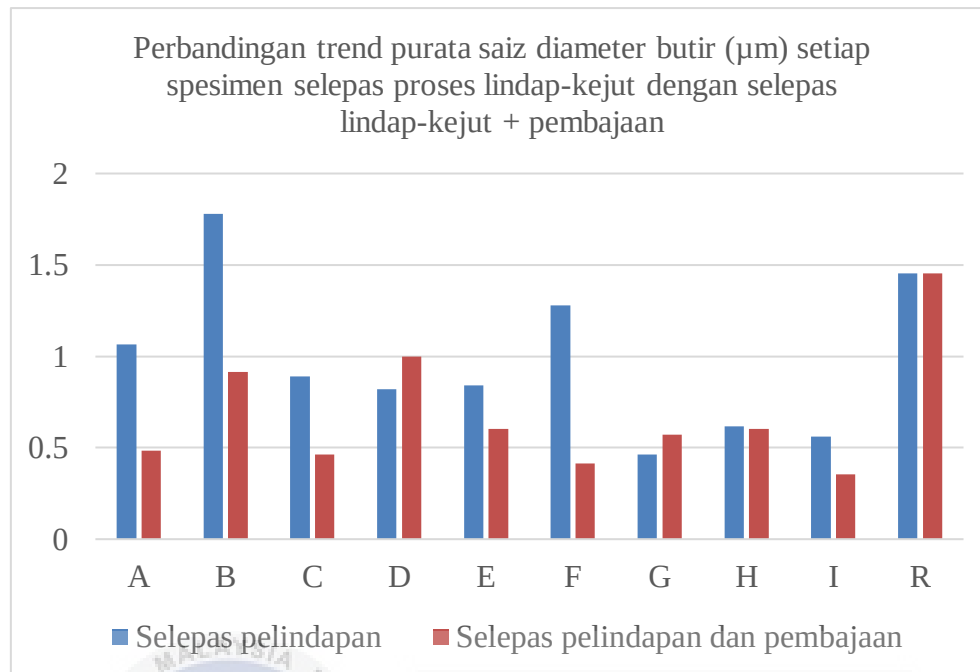
selepas menjalani proses pembajaan setelah proses lindap-kejut dijalankan. Seperti yang dapat dilihat di dalam Rajah 4. 32, pengecilan saiz purata diameter butir adalah ketara dan mencecah 50% daripada saiz awal sebelum proses pembajaan dilakukan ke atas spesimen. Peningkatan yang tidak ketara pada saiz diameter butir berlaku ke atas spesimen D dan G. Namun begitu, hasil ujian menunjukkan saiz diameter butir setiap spesimen lebih rendah berbanding dengan spesimen rujukan.

Jadual 4. 5: Purata diameter butir setiap spesimen selepas proses lindap-kejut dijalankan.

Sampel	Purata diameter butir, P_D (μm)	Purata diameter butir mengikut suhu pemanasan, $P_{D_{ave}}$ (μm)
A	1.0667	1.2445
B	1.7778	
C	0.8889	
D	0.8205	0.9809
E	0.8421	
F	1.2800	
G	0.4638	0.5469
H	0.6154	
I	0.5614	
R	1.4545	

Jadual 4. 6: Purata diameter butir setiap spesimen selepas proses pembajaan dijalankan.

Sampel	Purata bilangan butir yang bersilang sepanjang garisan, P_N	Purata diameter butir, P_D (μm)
A	16.50	0.4848
B	8.75	0.9143
C	17.25	0.4638
D	8.00	1.0000
E	13.25	0.6038
F	19.25	0.4156
G	14.00	0.5714
H	13.25	0.6038
I	22.50	0.3555
R	5.50	1.4545



Rajah 4. 32: Trend purata saiz diameter butir setiap spesimen bagi kedua-dua proses rawatan haba yang dijalankan.

4. 5 Perbincangan mengenai hubungan antara hasil ujian ultrasonik dengan ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur

Melalui data yang telah diperoleh daripada unit 4. 2 hingga 4. 4, dapat diperhatikan bahawa ujian ultrasonik mempunyai kaitan antara ujian mikrokekerasan dan analisa mikrostruktur. Seperti yang dapat dikenalpasti, hubungan antara halaju bunyi dengan saiz diameter butir adalah positif di mana selepas melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan, halaju bunyi bagi keluli karbon menurun jika dibandingkan dengan spesimen rujukan. Begitu juga dengan saiz diameter butir di mana spesimen rujukan mempunyai saiz diameter yang lebih besar berbanding dengan spesimen-spesimen yang telah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan.

Namun begitu, kekerasan spesimen mempunyai perkaitan yang negatif dengan halaju bunyi sekaligus dengan purata saiz diameter butir. Ketika halaju bunyi dan purata saiz diameter butir setiap spesimen secara majoriti semakin berkurang selepas melalui proses rawatan haba, kekerasan spesimen meningkat daripada kekerasan asal spesimen rujukan. Ini telah menolak kenyataan di mana gelombang halaju bunyi mempunyai perkaitan yang positif dengan kekerasan dan perkaitan yang negatif dengan saiz butir (Hsia dan Chou, 2015) dan (Testing et al., 2015).

Lukomski dan Stepinski (2010) dan Wiskel et al. (t.t) telah membenarkan kaitan yang diperoleh di dalam kajian ini di mana, halaju bunyi semakin menurun dengan peningkatan kekerasan keluli karbon. Dalam kajian yang dibuat oleh Wiskel, halaju bunyi jenis rasuk bujur mempunyai perkaitan yang positif dengan kekerasan, namun di dalam kajian yang dibuat oleh Lukomski, perkaitan antara halaju bunyi rasuk bujur dengan kekerasan adalah sama perkaitannya dengan halaju bunyi jenis berselerak. Kedua-duanya akan memberikan nilai berlawanan antara satu sama lain.

Halaju bunyi di dalam keluli meningkat dengan peningkatan saiz purata diameter butir (Nowacki, 2009). Merujuk kepada hasil ujian ultrasonik dan analisa mikrostruktur yang telah dianalisa, kajian ini telah membuktikan kenyataan ini adalah wajar di mana saiz purata diameter butir yang meningkat selepas proses rawatan haba dijalankan ke atas spesimen telah menjurus kepada peningkatan halaju bunyi yang dikenalpasti menggunakan kaedah ujian ultrasonik.

BAB V

RUMUSAN DAN CADANGAN

5.1 Rumusan

Kajian ini telah melibatkan beberapa kaedah ujian musnah dan satu ujian tanpa musnah bagi mengenalpasti kaitan antara halaju bunyi dengan kekerasan dan saiz diameter butir mikrostruktur keluli karbon AISI 1050. Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mengetahui sama ada ujian tanpa musnah iaitu melalui ujian ultrasonik, mempunyai kebolehharian untuk digunakan bagi mengenalpasti sifat mekanikal keluli karbon setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan.

Keluli karbon yang telah melalui proses lindap-kejut menghasilkan logam yang bersifat rapuh walaupun mempunyai tahap kekerasan yang lebih tinggi. Proses pembajaan dijalankan untuk memperbaiki sifat mekanikal keluli karbon agar mempunyai ketahanan yang tinggi di samping mempunyai tahap kekerasan untuk menepati aplikasi sebagai alat memotong. Hasil kajian menunjukkan tahap kekerasan adalah lebih tinggi di bahagian sisi berbanding pada bahagian tengah keluli tersebut selepas proses rawatan haba dijalankan. Ini menepati ciri-ciri yang diperlukan untuk aplikasi memotong kerana kekuatan yang diperlukan adalah pada bahagian sisi. Manakala bahagian tengah digunakan untuk bahagian memegang alatan tersebut.

Keluli karbon setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan juga mempunyai ciri kalis kehausan yang tinggi. Ini dapat dipastikan apabila proses mencanai

dijalankan. Proses mencanai lebih mudah dan pantas untuk dilakukan sebelum keluli melalui proses rawatan haba. Setelah keluli melalui proses rawatan haba, proses mencanai memakan masa yang lama untuk menghasilkan permukaan yang licin. Ini disebabkan kekerasan logam yang semakin meningkat dengan penghalusan saiz butir mikrostruktur pada permukaan logam tersebut. Halaju bunyi telah dikenalpasti sebelum dan selepas proses rawatan haba dijalankan ke atas setiap spesimen pada suhu yang berbeza.

Halaju bunyi dijangka akan berubah selepas keluli karbon melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan. Melalui kajian ini, halaju bunyi dilihat menurun dengan pertambahan kekerasan pada keluli karbon dan penurunan pada saiz purata diameter butir. Dapat dirumuskan bahawa, kajian ini telah berjaya mencapai ketiga-tiga objektif iaitu, halaju bunyi mempunyai kaitan antara perubahan mikrostruktur dan perubahan pada kekerasan keluli karbon AISI 1050. Ini membuktikan, ujian ultrasonik mempunyai potensi untuk digunakan dalam penilaian kekerasan dan perubahan mikrostruktur bahan kerana telah menunjukkan kaitan dengan kedua-dua perubahan.

Setelah melalui proses rawatan haba lindap-kejut dan pembajaan, keluli karbon AISI 1050 mengalami pengecilan pada saiz diameter butir. Halaju bunyi mempunyai kaitan yang positif dengan saiz butir diameter namun, kaitan yang negatif dapat dikenalpasti antara halaju bunyi dengan kekerasan keluli karbon AISI 1050. Halaju bunyi semakin perlahan dengan penurunan saiz butir dan peningkatan kekerasan keluli karbon gred ini. Hubungan ini menepati penemuan-penemuan daripada kajian-kajian lepas yang telah dinyatakan di dalam unit sebelum ini.

Namun begitu, ianya juga perlu diberi penilaian yang teliti kerana keluli mempunyai gred individu yang berlainan di mana sifat-sifat mekanikal dan perubahan yang mungkin terhasil selepas proses rawatan haba adalah berbeza.

5.2 Cadangan

Pada masa hadapan, cadangan untuk kajian yang boleh dilakukan ialah dengan menggunakan bahan lain selain daripada keluli untuk mengkaji hubungan antara halaju bunyi dengan perubahan pada kekerasan dan saiz butir bahan tersebut. Kajian juga boleh dilakukan dengan mengubah parameter seperti tempoh pemanasan yang berbeza berbanding dengan apa yang telah dijalankan di dalam kajian ini di mana tempoh pemanasan keluli di dalam relau telah dimalarkan. Selain itu, kajian akan datang juga boleh dijalankan dengan melaksanakan ujian tegasan dan ujian impak untuk mengaitkan lagi sifat-sifat mekanikal bahan dengan kebolehharian ujian ultrasonik.

RUJUKAN

- Abrão, A. M. Et Al. (2014) '*Journal Of Materials Processing Technology The Influence Of Heat Treatment And Deep Rolling On The Mechanical Properties And Integrity Of AISI 1060 Steel*', Journal Of Materials Processing Tech. Elsevier B.V., 214(12), m/s 3020–3030.
- Asst, P. K. A. S. (2016) '*To Study The Behaviour Of Materials AISI 1050 , 1090 , 4140 Using Conventional Quenching And Nano Quenching*', 38(2), m/s 81–84.
- Azom (2012) '*AISI 1050 Carbon Steel (UNS G10500)*', m/s 1–3.
- Baday, Ş., Başak, H. And Güral, A. (2016) '*Analysis Of Spheroidized AISI 1050 Steel In Terms Of Cutting Forces And Surface Quality*', *Metallic Materials*, 54(05), m/s 315–320.
- Bedekar, V. Et Al. (2014) '*Microstructure And Texture Evolutions In AISI 1050 Steel By Flow Forming*', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 81 (Oktober), m/s. 2355–2360.
- Bryson, W. E. (2005) *Heat Treatment, Selection, And Application Of Tool Steels. 2nd Ed.* Hanser Publications.
- Callister, W. D. (1991) '*Materials Science And Engineering: An Introduction (2nd Edition)*', *Materials & Design*, 12(1), m/s 59.
- Carvajal, L. Et Al. (2017) '*Monitoring Heat Treatments In Steels By A Non Destructive Ultrasonic Method*', 20, m/s 347–352.
- Costa-Júnior, J. F. S. Et Al. (2018) '*Measuring Uncertainty Of Ultrasonic Longitudinal Phase Velocity Estimation Using Different Time-Delay Estimation Methods Based On Cross-*

Correlation: Computational Simulation And Experiments, Measurement: Journal Of The International Measurement Confederation. Elsevier, 122 (Februari), m/s 45–56.

Kopeliovich, D. D. (2012) *Iron-carbon phase diagram*, SubsTech.com. Available at: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=iron-carbon_phase_diagram.

Gao, W. L. Et Al. (2016) *'Effects Of Niobium And Heat Treatment On Microstructure And Mechanical Properties Of Low Carbon Cast Steels'*, 105, m/s 114–123.

Hsia, S. And Chou, Y. (2015) *'Assessing The Hardness Of Quenched Medium Steel Using An Ultrasonic Nondestructive Method'*, 2015.

Ismail, N. M. Et Al. (2016) *'The Effect Of Heat Treatment On The Hardness And Impact Properties Of Medium Carbon Steel'*.

Jiang, P. Et Al. (2014) *'Effect Of Heat Treatment On Microstructure , Hardness And Rollability Of V 55 Ti 30 Ni 15 Alloy Membranes'*, Journal Of Materials & Design. Elsevier Ltd, 63, m/s 136–141.

Jiang, W. Et Al. (2018) *'Effect Of Heat Treatment On Bonding Strendgth Of Aluminum / Steel Bimetal Produced By A Compound Casting'*, Journal Of Materials Processing Tech. Elsevier, 258 (Februari), m/s 239–250.

Junjie, Y. (2017) *'Effect Of Heat-Treatment On Microstructure And Mechanical Behavior Of Directionally Solidified Nb-Ti-Si Based Alloy'*. Northwest Institute For Nonferrous Metal Research (China), 46(1), m/s 1–6.

Kim, J. And Jhang, K. (2013) '*Evaluation Of Ultrasonic Nonlinear Characteristics In Heat-Treated Aluminum Alloy (Al-Mg-Si-Cu)*', 2013.

Leo, P., Ostuni, S. D. And Casalino, G. (2018) '*Low Temperature Heat Treatments Of AA5754-Ti6Al4V Dissimilar Laser Welds : Microstructure Evolution And Mechanical Properties*', Optics And Laser Technology. Elsevier Ltd, 100, m/s 109–118.

Łukowski, T. And Stepinski, T. (2010) '*Steel Hardness Evaluation Based On Ultrasound Velocity Measurements*', 52 (11), m/s 592–596.

Medy, D. And Janus, A. (2017) '*Sciencedirect Effect Of Heat Treatment Parameters On Abrasive Wear And Corrosion Resistance Of Austenitic Nodular Cast Iron Ni – Mn – Cu*', 8, m/s 1–7.

Nowacki, K. (2009) '*Possibility Of Determining*', 48 (2), m/s 113–115.

Sani, M. H. K. Et Al. (2012) '*The Effect Of Single And Double Quenching And Tempering Heat Treatments On The Microstructure And Mechanical Properties Of AISI 4140 Steel*', Journal Of Materials & Design. Elsevier Ltd, 42, m/s 339–346.

Sinnit, J. (2011) *What Is Heat Treatment*, Bright Hub Engineering. Available At: www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/30476-what-is-heat-treatment/.

SIRIM (2009) *Ultrasonic Inspection Nondestructive Testing (NDT) Classroom Training Handbook For Level I Personnel*. SIRIM Berhad.

Song, H., Shin, H. And Shin, Y. (2016) '*Heat-Treatment Of Clad Steel Specimens For Application Of Hull Structure*', Ocean Engineering. Elsevier, 122, m/s 278–287.

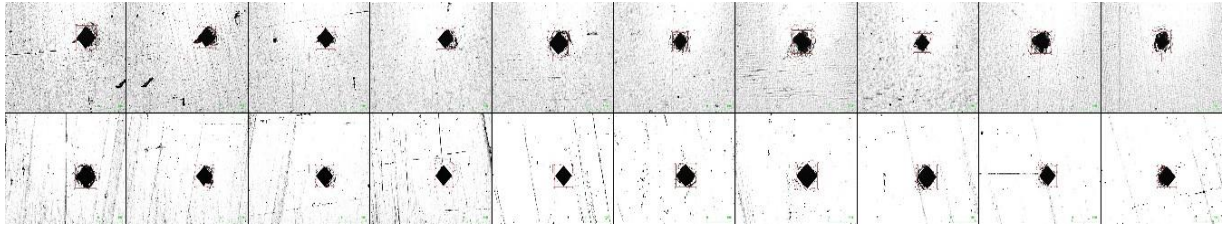
Testing, N. Et Al. (2015) '*Relation Between Hardness And Ultrasonic Velocity On Pipeline Steel Welded Relation Between Hardness And Ultrasonic Velocity On Pipeline Steel Welded Joints*', (Ogos).

Wiskel, J. B. Et Al. (t. t) '*Ultrasonic Velocity Evaluation Of Three Grades Of Heat Treated Steel*'.



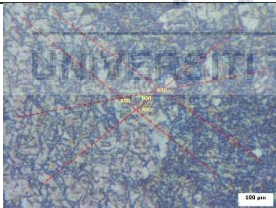
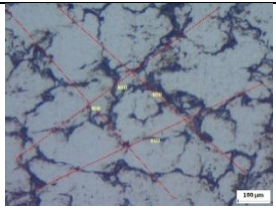
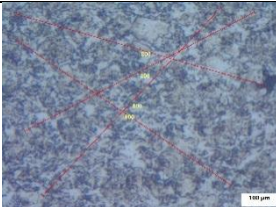
LAMPIRAN

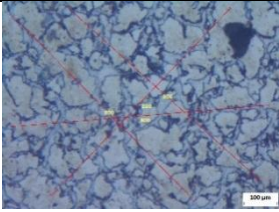
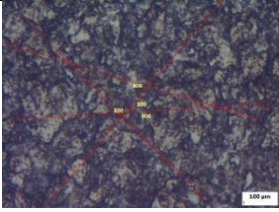
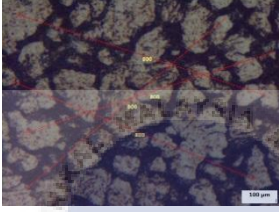
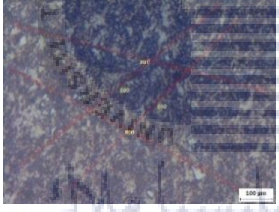
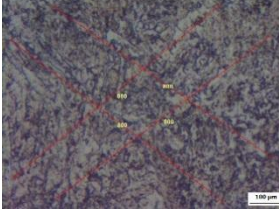
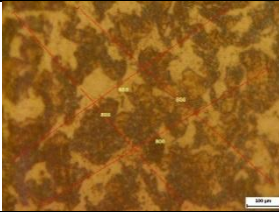
Contoh 10 titik pelekukan yang dibuat sebelum proses pembajaan dijalankan (atas) dan selepas proses pembajaan dijalankan (bawah) ke atas spesimen



Pengiraan Saiz Purata Diameter Butiran Analisa Mikrostruktur

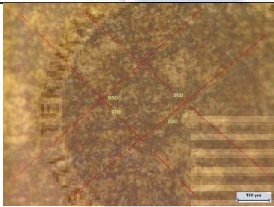
1) Selepas proses rawatan lindap-kejut

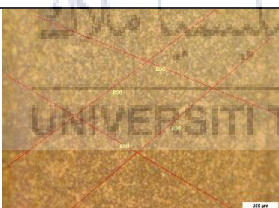
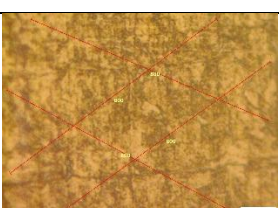
Sampel	Mikrostruktur	Purata bilangan butir yang bersilang sepanjang garisan, P_N	Purata diameter butir, P_D (μm)	Purata diameter butir mengikut suhu pemanasan, $P_{D_{ave}}$ (μm)
A		$\frac{5 + 8 + 9 + 8}{4}$ $= 7.5$	$\frac{800}{7.5}$ $= 1.0667$	1.2445
B		$\frac{5 + 6 + 4 + 3}{4}$ $= 4.5$	$\frac{800}{4.5}$ $= 1.7778$	
C		$\frac{9 + 7 + 10 + 10}{4}$ $= 9$	$\frac{800}{9}$ $= 0.8889$	

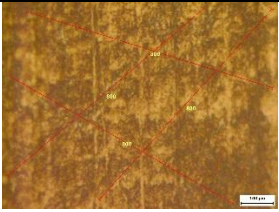
D		$\frac{6 + 7 + 8 + 8}{4}$ $= 7.25$	$\frac{800}{\frac{9.75}{100}}$ $= 0.8205$	0.9809
E		$\frac{12 + 9 + 9 + 8}{4}$ $= 9.5$	$\frac{800}{\frac{9.5}{100}}$ $= 0.8421$	
F		$\frac{6 + 6 + 8 + 5}{4}$ $= 6.25$	$\frac{800}{\frac{6.25}{100}}$ $= 1.2800$	
G		$\frac{17 + 15 + 20 + 17}{4}$ $= 17.25$	$\frac{800}{\frac{17.25}{100}}$ $= 0.4638$	0.5469
H		$\frac{16 + 14 + 12 + 10}{4}$ $= 13$	$\frac{800}{\frac{13}{100}}$ $= 0.6154$	
I		$\frac{14 + 13 + 15 + 15}{4}$ $= 14.25$	$\frac{800}{\frac{14.25}{100}}$ $= 0.5614$	
R		$\frac{6 + 6 + 5 + 5}{4}$ $= 5.5$	$\frac{800}{\frac{5.5}{100}}$ $= 1.4545$	

--	--	--	--

2) Selepas proses rawatan lindap-kejut dan pembajaan

Sampel	Mikrostruktur	Purata bilangan butir yang bersilang sepanjang garisan, P_N	Purata diameter butir, P_D (μm)
A		$\frac{19 + 19 + 15 + 13}{4}$ $= 16.5$	$\frac{800}{\frac{16.5}{100}}$ $= 0.4848$
B		$\frac{9 + 10 + 7 + 9}{4}$ $= 8.75$	$\frac{800}{\frac{8.75}{100}}$ $= 0.9143$
C		$\frac{15 + 17 + 19 + 18}{4}$	$\frac{800}{\frac{17.25}{100}}$

		$= 17.25$	$= 0.4638$
D		$\frac{7 + 8 + 9 + 8}{4}$ $= 8$	$\frac{800}{\frac{8}{100}}$ $= 1.0000$
E		$\frac{14 + 11 + 15 + 13}{4}$ $= 13.25$	$\frac{800}{\frac{13.25}{100}}$ $= 0.6038$
F		$\frac{21 + 15 + 21 + 20}{4}$ $= 19.25$	$\frac{800}{\frac{19.25}{100}}$ $= 0.4156$
G		$\frac{13 + 12 + 17 + 14}{4}$ $= 14$	$\frac{800}{\frac{14}{100}}$ $= 0.5714$

H		$\frac{14 + 15 + 14 + 10}{4}$ $= 13.25$	$\frac{800}{\frac{13.25}{100}}$ $= 0.6038$
I		$\frac{22 + 20 + 23 + 25}{4}$ $= 22.5$	$\frac{800}{\frac{22.5}{100}}$ $= 0.3555$
R		$\frac{6 + 6 + 5 + 5}{4}$ $= 5.5$	$\frac{800}{\frac{5.5}{100}}$ $= 1.4545$