

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan di jelaskan beberapa hasil dari penelitian mengenai metode dari pengelasan gesek. Berdasarkan dari penjelasan pada bab-bab sebelumnya, maka disini penelitian ini menggunakan metode *friction welding* yang mengacu pada las gesek. Secara garis besar bab ini menjelaskan beberapa hasil penelitian yang meliputi data hasil pengujian, tabel hasil pengujian beserta grafiknya.

Penelitian ini di lakukan secara kuantitatif untuk menentukan hasil dari sebuah penelitian yang di lakukan. Dari hasil penelitian yang sudah di lakukan maka di peroleh data hasil dari penelitian tersebut.

4.1. Hasil Pengujian Pengelasan Gesek Pada Material

Proses pengelasan ini menggunakan prosedur yang mengacu pada las gesek yang terbungkus fluks atau *friction welding*. Data proses pengelasan yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1. Spesifikasi yang di Pakai pada Pengelasan Gesek

Material	:	Baja
Ketebalan	:	10 mm
Jenis Material	:	Baja AISI 4140
Jumlah	:	3 Spesimen
Metode Yang Di Pakai	:	Sambungan Tumpul Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)
Variasi Waktu	:	60 detik, 69 detik dan 78 detik.

4.2. Hasil Pengelasan Gesek

Gambar dibawah ini adalah benda uji hasil pengelasan gesek dengan variasi waktu 7 Bar dengan Panjang benda uji yaitu 220 mm dibagi menjadi 2 bagian sehingga memiliki Panjang yang sama dan berdiameter 20 mm, pengelasan gesek yang dilakukan ini menggunakan putaran *spindle* yakni dengan menggunakan kecepatan putaran 5000 rpm dan variasi waktu pengelasan gesek 60 detik, 69 detik dan 78 detik. Mekan hasil dari pengelasan tersebut seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Hasil Pengelasan Gesek

(Sumber: *Document* Pribadi)

Tabel 4. 2 Faktor Setting Level Rata Tengah

Pemanasan Awal	Variasi Waktu Pengelasan	Putaran Spindel
1 = 30 detik	1 = 60 Detik	1 = 5000 Rpm
2 = 30 detik	2 = 69 Detik	2 = 5000 Rpm
3 = 30 detik	3 = 78 Detik	3 = 5000 Rpm

4.3. Pengolahan Data Hasil Pengujian Struktur Mikro

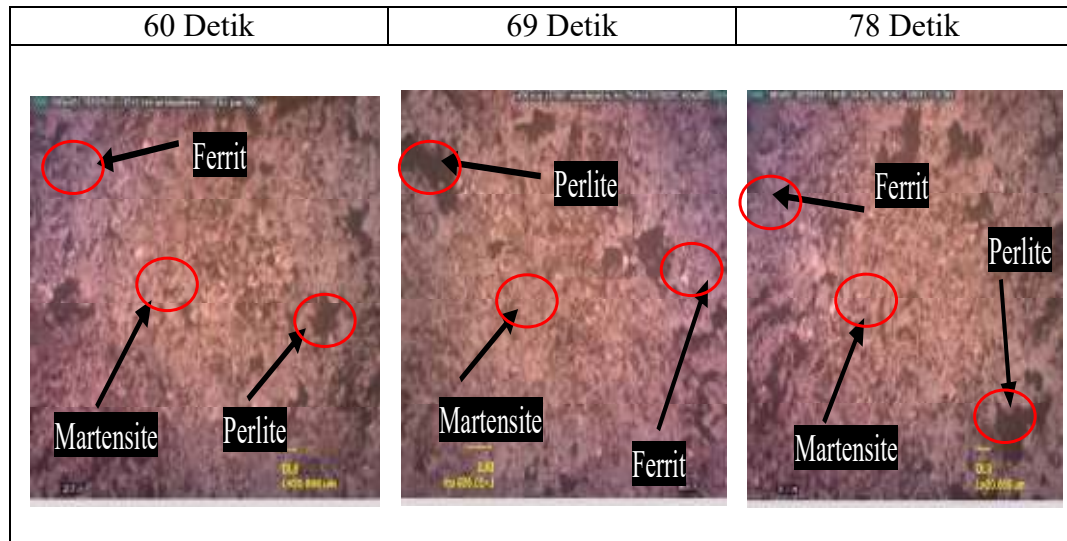
4.3.1. Data Hasil Uji Struktur Mikro

Hasil pengamatan kali ini adalah uji struktur mikro yaitu di bagian *weld* kiri las, *HAZ* kiri dan Base kiri. Material pada spesimen baja AISI 4140 dengan variasi waktu 60 detik, 69 detik, dan 78 detik. Pengujian ini dilakukan karena untuk melihat *fase* apa yang terjadi setelah dilakukannya pengelasan. Dapat diamati pada hasil perbesaran 200x. Maka dapat dilihat *fase* struktur Perlit, Ferrit dan *martensite* yang terkandung dari hasil pengelasan gesek, pada foto mikro terlihat struktur yang berwarna hitam yaitu Perlit dan yang berwarna terang yaitu *martensite* dan yang warnah abu yaitu ferrit. Berikut dibawah ini adalah hasil pengamatan Struktur Mikro:

a. Foto Pengamatan Struktur Mikro

1. Daerah *Weld*

- *Weld* Kiri



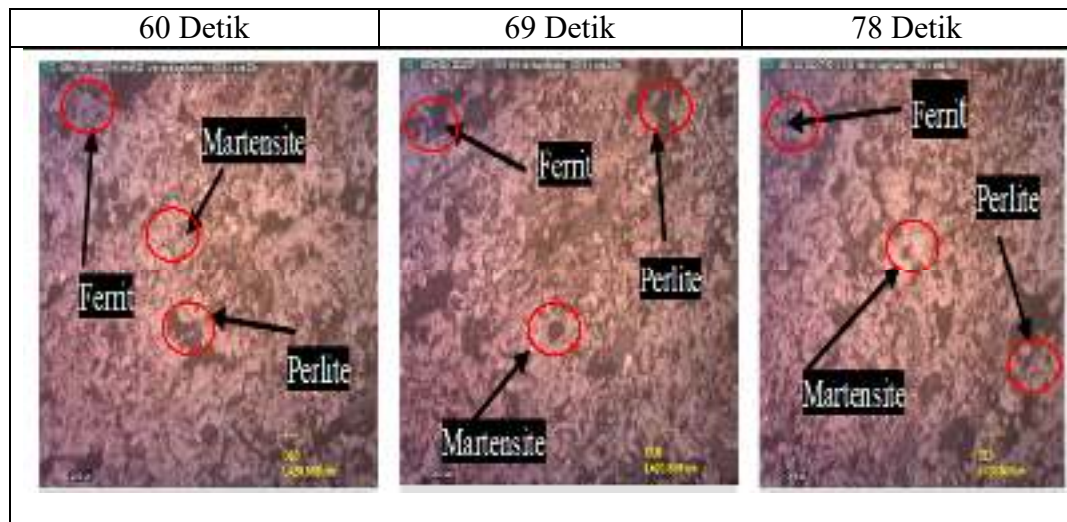
Gambar 4.2 Foto Pengamat Struktur Mikro

(Sumber: *Document* Pribadi)

Pada gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa Foto struktur mikro dengan pembesaran 200x dengan esta netal 5 ml HNO₃M + 95 ML Alkohol 95 %. Spesimen 1 pada gambar 1 bagian (kiri atas), dengan waktu variasi 60 detik terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *pearlite* pada gambar yang berwarna hitam atau gelap, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite* yang terbentuk. Dan *Martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan spesimen 2 pada gambar 2 bagian (tengah atas), dengan variasi waktu 69 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite*, dan *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan *Peerlite* pada gambar yang berwarna gelap. Pada spesimen 3 pada gambar 3 bagian (kanan atas) dengan variasi waktu 78 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu atau terang, dan *pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Hal ini dikarenakan pada spesimen ini baja AISI 4140 masih murni *raw material* tetapi pada spesimen 2 pada 2 bagian (tengah atas) terbentuknya *martensite* dikarenakan baja ini merupakan baja karbon sedang yang

karbonnya berkisar 0,40% C. Oleh karena itu terdapat unsur martensite pada spesimen ini walaupun tidak dominan namun berpengaruh pada kekerasan materialnya.

- *Weld Kanan*



Gambar 4.3 Foto Pengamatan Struktur Mikro

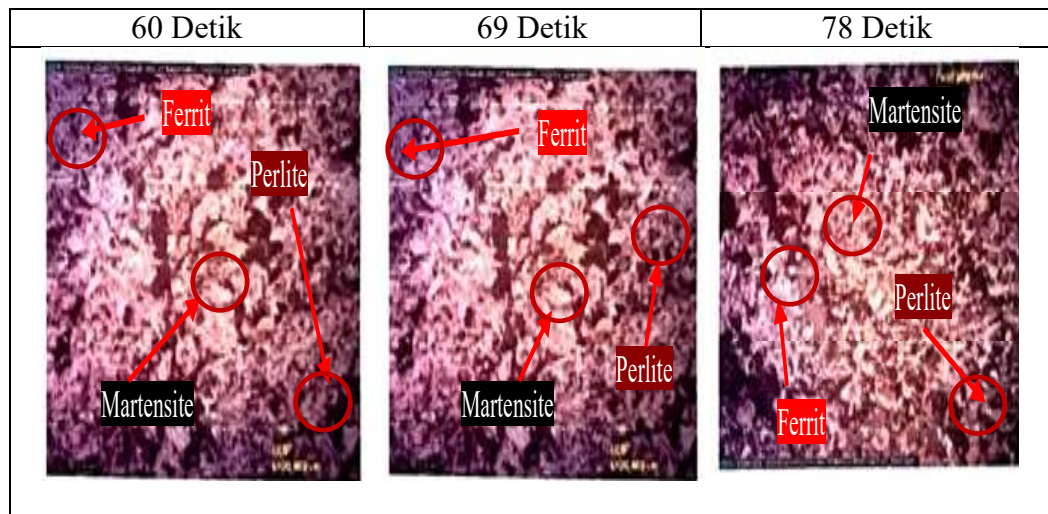
(Sumber: *Document Pribadi*)

Pada gambar 4.3 di atas menunjukkan bahwa Foto struktur mikro dengan pembesaran 200x dengan esta netal 5 ml HNO₃M + 95 ML Alkohol 95 %. Spesimen 1 pada gambar 1 bagian (kiri atas), dengan waktu variasi 60 detik terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *pearlite* pada gambar yang berwarna hitam atau gelap, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite* yang terbentuk. Dan *Martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan spesimen 2 pada gambar 2 bagian (tengah atas), dengan variasi waktu 69 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite*, dan *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan *Peerlite* pada gambar yang berwarna gelap. Pada spesimen 3 pada gambar 3 bagian (kanan atas) dengan variasi waktu 78 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu atau terang, dan *pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Baja ini disebut baja karbon rendah, dan merupakan struktur perlit di dalam komposisinya. Karena baja yang memiliki berbagai persentase kadar karbon (hingga 6%) dan struktur ferit lebih lunak.

b. Foto Pengamatan Struktur Mikro

2. Daerah HAZ

- HAZ Kiri

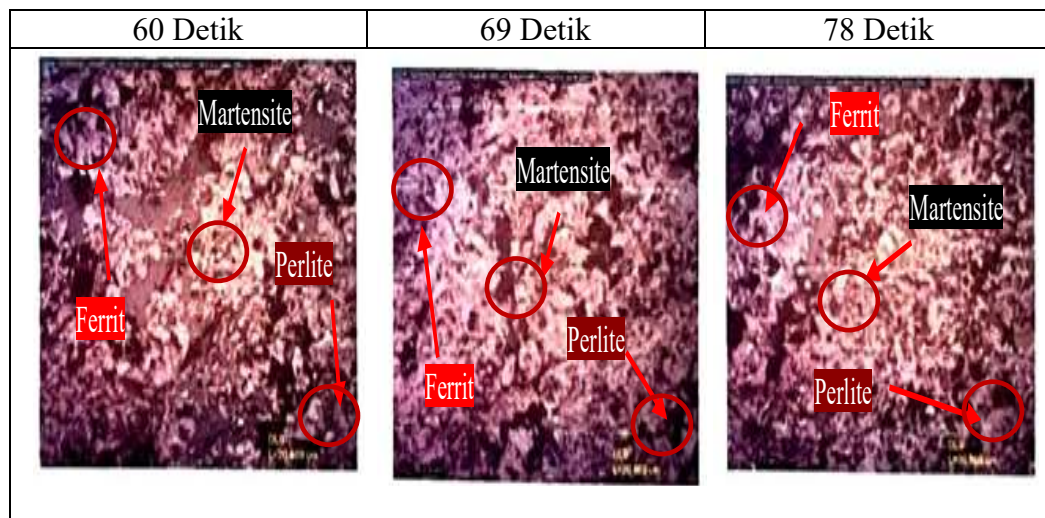


Gambar 4.4 Foto Pengamatan Struktur Mikro

(Sumber: *Document* Pribadi)

Pada gambar 4.4 di atas menunjukkan bahwa Foto struktur mikro dengan pembesaran 200x dengan esta netal 5 ml HNO₃M + 95 ML Alkohol 95 %. Spesimen 1 pada gambar 1 bagian (kiri atas), dengan waktu variasi 60 detik terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *pearlite* pada gambar yang berwarna hitam atau gelap, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite* yang terbentuk. Dan *Martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan spesimen 2 pada gambar 2 bagian (tengah atas), dengan variasi waktu 69 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite*, dan *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan *Pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Pada spesimen 3 pada gambar 3 bagian (kanan atas) dengan variasi waktu 78 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu atau terang, dan *pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Hal ini dikarenakan pada spesimen ini baja AISI 4140 masih murni raw material tetapi sama hal terbentuknya *martensite* dikarenakan baja ini merupakan baja karbon sedang yang karbonnya berkisar 0,40% C. Oleh karena itulah terdapat unsur *martensite* pada spesimen ini walaupun tidak dominan namun berpengaruh pada kekerasan materialnya.

- HAZ Kanan



Gambar 4.5 Foto Pengamatan Struktur Mikro

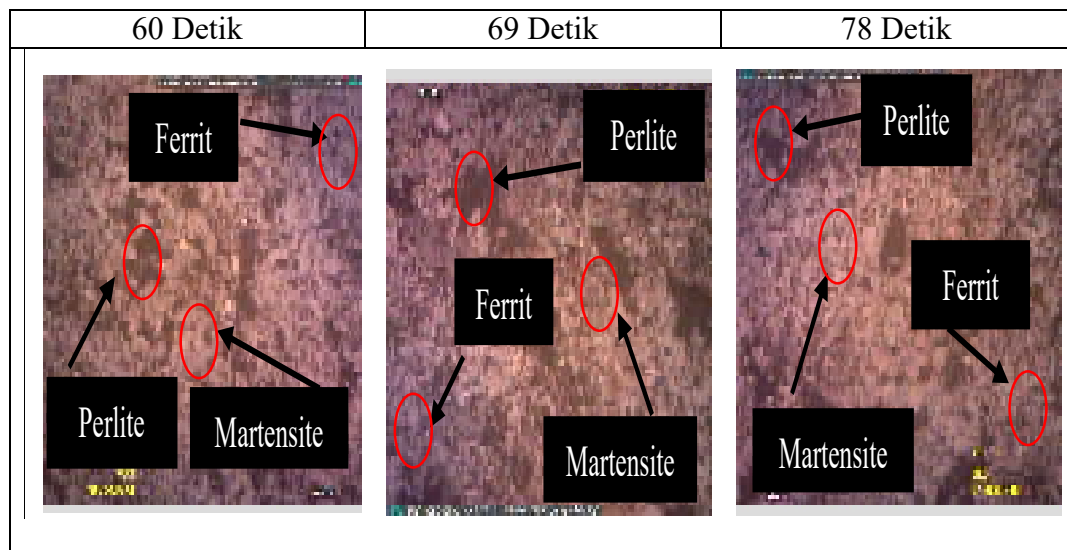
(Sumber: Document Pribadi)

Pada gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa Foto struktur mikro dengan pembesaran 200x dengan esta netal 5 ml HNO₃M + 95 ML Alkohol 95 %. Spesimen 1 pada gambar 1 bagian (kiri atas), dengan waktu variasi 60 detik terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *pearlite* pada gambar yang berwarna hitam atau gelap, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite* yang terbentuk. Dan *Martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan spesimen 2 pada gambar 2 bagian (tengah atas), dengan variasi waktu 69 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite*, dan *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan *Pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Pada spesimen 3 pada gambar 3 bagian (kanan atas) dengan variasi waktu 78 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu atau terang, dan *pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Hal ini dikarenakan pada spesimen ini baja AISI 4140 masih murni *raw material* tetapi terbentuknya *martensite* dikarenakan baja ini merupakan baja karbon sedang yang karbonnya berkisar 0,40% C. Oleh karena itulah terdapat unsur *martensite* pada spesimen ini walaupun tidak dominan namun berpengaruh pada kekerasan materialnya.

c. Foto Pengamatan Struktur Mikro

3. Daerah Base

- Base Kiri

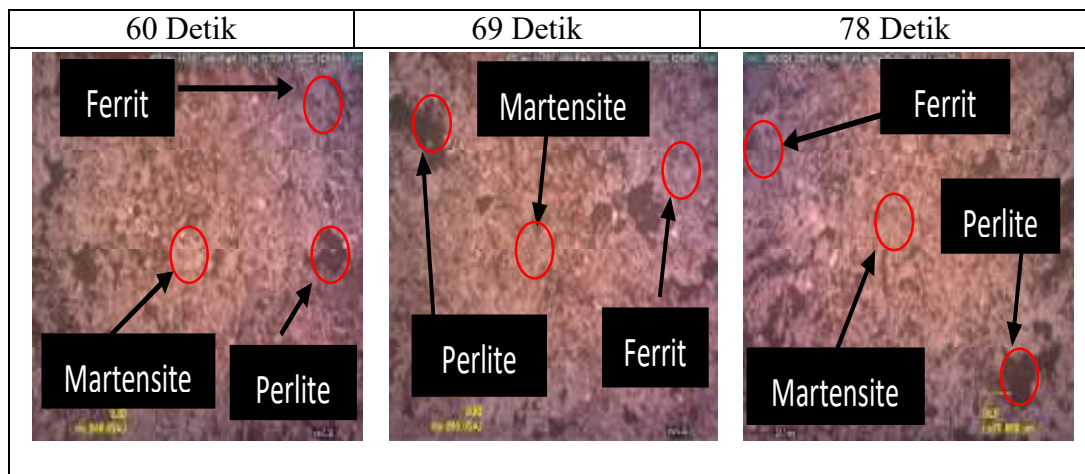


Gambar 4.6 Foto Pengamatan Struktur Mikro

(Sumber: Document Pribadi)

Pada gambar 4.6 di atas menunjukkan bahwa Foto struktur mikro dengan pembesaran 200x dengan esta netal 5 ml HNO₃M + 95 ML Alkohol 95 %. Spesimen 1 pada gambar 1 bagian (kiri atas), dengan waktu variasi 60 detik terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *pearlite* pada gambar yang berwarna hitam atau gelap, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite* yang terbentuk, dan *Martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan spesimen 2 pada gambar 2 bagian (tengah atas), dengan variasi waktu 69 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite*, dan *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan *Pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Pada spesimen 3 pada gambar 3 bagian (kanan atas) dengan variasi waktu 78 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu atau terang, dan *pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Baja ini disebut baja karbon rendah, dan merupakan struktur perlit di dalam komposisinya. Karena baja yang memiliki berbagai persentase kadar karbon (hingga 6%) dan struktur ferit lebih lunak.

- Base Kanan



Gambar 4.7 Foto Pengamatan Struktur Mikro

(Sumber: Document Pribadi)

Pada gambar 4.3 di atas menunjukkan bahwa Foto struktur mikro dengan pembesaran 200x dengan esta netal 5 ml HNO₃M + 95 ML Alkohol 95 %. Spesimen 1 pada gambar 1 bagian (kiri atas), dengan waktu variasi 60 detik terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *pearlite* pada gambar yang berwarna hitam atau gelap, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite* yang terbentuk. Dan *Martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan spesimen 2 pada gambar 2 bagian (tengah atas), dengan variasi waktu 69 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite*, dan *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan *Pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Pada spesimen 3 pada gambar 3 bagian (kanan atas) dengan variasi waktu 78 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu atau terang, dan *pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Baja ini disebut baja karbon rendah, dan merupakan struktur perlit di dalam komposisinya. Sama halnya Karena baja yang memiliki berbagai persentase kadar karbon (hingga 6%) dan struktur ferit lebih lunak.

4.3.2. Pembahasan Pengamatan Foto Struktur Mikro

Pengamatan pada struktur mikro material Baja AISI 4140 yang mengalami proses pengelasan yang dilakukan pada tiga tempat yaitu pada daerah *Weld*, *HAZ* dan *Base*. Ketiga daerah itu mendapat pengaruh panas yang berbeda pada saat proses pengelasan gesek berlangsung di daerah *Weld* dan *HAZ*, sehingga memiliki struktur mikro yang berbeda pula. Dari gambar tersebut diatas menunjukkan bahwa perubahan struktur mikro yang terjadi pada daerah *Weld* dan daerah *HAZ*. Pada daerah *Weld* struktur mikronya sangat rapat, kandungan perlitnya sangat banyak dan dapat disimpulkan dengan banyaknya struktur perlit yang terlihat, maka kekerasan pada daerah *Weld* lebih tinggi namun lebih tangguh. Dengan sedikitnya perlit yang terlihat menandakan bahwa kekerasan material baja AISI 4140 tersebut rendah, namun keuletannya tinggi. Perubahan sifat mekanik sangat berpengaruh terhadap struktur mikro, begitu pula sebaliknya. Sifat mekanik juga dapat berubah jika dipengaruhi oleh 2 hal yaitu perubahan komposisi bahan, dan material baja AISI 4140 mengalami perubahan struktur mikro dan distribusi kekerasan karena pada proses *friction welding* mengalami panas akibat gesekan lalu pemberian tekanan. Pada percobaan ini, peluang terjadinya perubahan struktur mikro dikarenakan oleh penekanan yang terjadi pada bahan saat permukaan benda bergesekan dan proses *fabrikasi* yang terjadi, dalam hal ini pemberian tekanan. Untuk faktor perubahan komposisi bahan, dirasakan tidak terjadi karena variasi waktu yang berbeda terjadinya panas pada bahan tidak terlalu lama karena tidak diberi penekanan. Kemudian pada pengelasan gesek dapat terbentuk sebuah struktur yang lebih rapat, ini disebabkan karena adanya penekanan pada saat proses pengelasan ketika kondisi material baja AISI 4140 berada pada suhu yang tinggi, sehingga struktur yang terjadi lebih rapat. Pemberian tekanan ini juga dapat menghindarkan terjadinya *martensite* pada struktur material baja AISI 4140. Dari hasil foto pengamatan struktur mikro dibentuk adalah martensit, ferrit dan perlit yaitu:

a. Martensit (*Martensite*)

Martensite adalah larutan padat karbon bebas ferit dan besi dalam besi gamma. Pada pemanasan baja, setelah suhu kritis atas, pembentukan struktur selesai menjadi martensit yang keras, ulet dan non-magnetik. Ia mampu melarutkan karbon dalam jumlah besar. Hal ini terjadi di antara rentang kritis atau transfer selama pemanasan dan pendinginan baja. Martensit terbentuk ketika baja mengandung karbon hingga 1,8 % pada 1,130° C. Pada pendinginan di bawah 723 ° C, ia mulai berubah menjadi

perlit dan ferit. Baja Martensit tidak dapat dikeraskan dengan metode perlakuan panas yang biasa dan non-magnetik.

b. Ferit (*Ferrite*)

Ferit mengandung sangat sedikit (atau tidak ada) karbon dalam zat besi. Ferit adalah nama yang diberikan untuk kristal besi murni yang lunak dan ulet. Pendinginan lambat dari baja karbon rendah di bawah suhu kritis menghasilkan struktur ferit. Ferit tidak mengeras bila didinginkan dengan cepat. Ferit sangat lembut dan sangat magnetik.

c. Perlit (*Perlite*)

Perlit adalah paduan *eutektoid* dari ferit dan Martensit. Perlit terjadi terutama pada baja karbon rendah dalam bentuk campuran mekanik ferit dan martensit dalam perbandingan 87 % ferit dan 13 % Martensit. Kekerasannya meningkat dengan proporsi perlit dalam bahan baja AISI 4140. Perlit relatif kuat, keras dan ulet, sedangkan ferit lemah, lunak dan ulet. Perlit berbentuk seperti lapisan terang dan gelap secara bergantian. Lapisan-lapisan ini bergantian antara ferit gelap dan martensit terang. Ketika dilihat dengan bantuan mikroskop, permukaan memiliki penampilan seperti *pearl* (mutiara), karena disebut perlit. Baja keras adalah campuran dari perlit dan martensit sedangkan baja lunak adalah campuran dari ferit dan perlit.

4.3.3. Analisis Dan Pembahasan Struktur Mikro

Dari hasil pengujian struktur mikro pada daerah las diatas dijelaskan dari hasil struktur mikro *perlite*, *ferrite* dan *martensite* dengan jumlah presentase kandungan struktur *ferrite* lebih sedikit dibandingkan dengan presentase *perlite* yang lebih banyak sehingga yang didapat menganalisa bahwa pada daerah las dengan variasi waktu 60 detik, memiliki kualitas nilai kekerasan yang baik, karena *perlite* yang memiliki warnah gelap dari kandungan *martensite*. Sedangkan waktu variasi 69 detik dengan memiliki nilai martensit sangat baik, bahwa *martensit* memiliki warnah terang. Dari struktur *perlite* dan *martensite* mengakibatkan cahaya terhadap *ferrite* dengan variasi waktu 78 detik sehingga menghasilkan warnah abu-abu dari cahaya kandungan mikrostruktur sedikit dibandingkan dengan nilai *perlite* dan *martensite* sehingga memiliki kualitas nilai kekerasan kurang baik.

Hasil pengamatan kanan dapat kita lakukan dengan Mikroskop Logam pada standar uji Mikrostruktur yang terdapat daera warna putih, warnah abu-abu, dan warnah gelap menentukan *perlite*, *ferrite* dan *martensite*. Karena dari pengamata mikrostruktru dengan variasi waktu 60 detik, 69 detik dan 78 detik akibat dari panas yang serap oleh panas pada daerah spesimen dengan waktu tertentu yang memperlihatkan bahwa struktur yang terlihat di daerah dasar berupa *perlite-martensite* dengan batas butir yang terlihat jelas. Pada pengamatan material ini dapat terlihat struktur mikro *perlite* sangat mendominasi dan ukurannya yang besar, semakin besar ukuran butir maka akan menurunkan *hard strength* suatu material.

Proses ASTM mikrostruktur dengan standar ASTM E3 juga menyebabkan ukuran butir menjadi *perlite* karena ukuran butir terlihat gelap lebih seragam dengan *ferrite* yang dipengerahui oleh *martensite* dengan ukuran cahaya atau terang yang begitu terang dari pada baja dibandingkan ukuran kecil makan *perite* mengikiti warnah gelap. Semakin bertambah kecil ukuran butir, maka akan menyebabkan *density* atau padat dari baja tersebut dan akan menurun bila dibandingkan baja dalam keadaan tinggi variasi waktu yang terlalu tinggi, seperti variasi waktu 69 detik maka akan menyebabkan butiran kristal *martensite* semakin halus, bila didinginkan lambat dan itu akan menghasilkan *ferrite* dan *perlite* yang juga halus pula. Butiran yang semakin halus akan membuat baja menjadi semakin ulet. Maka dapat disimpulksn bahwa Foto struktur mikro dengan pembesaran 200x dengan esta netal 5 ml HNO₃M + 95 ML Alkohol 95 %. Spesimen 1 pada gambar 1 bagian daerah welld, dengan waktu variasi 60 detik terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah *pearlite* pada gambar yang berwarna hitam atau gelap, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite* yang terbentuk. Dan *Martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan spesimen 2 pada gambar 2 bagian daerah HAZ, dengan variasi waktu 69 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *ferrite* pada gambar yang berwarna abu terang walaupun terdapat sedikit *martensite*, dan *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang. Dan *Pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Pada spesimen 3 pada gambar 3 bagian daerah base dengan variasi waktu 78 detik dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen ini adalah *martensite* pada gambar yang berwarna terang atau lebih terang, dan *ferrite* pada gambar yang berwarna abu atau terang, dan *pearlite* pada gambar yang berwarna gelap. Baja ini disebut baja karbon menengah, dan merupakan struktur perlit di dalam komposisinya. Sama halnya Karena baja yang memiliki berbagai persentase kadar

karbon (hingga 6%). Karena perlite merupakan gabungan dari dua fasa yang terbentuk bersamaan, dan ferrite memiliki sifat lunak dan ulet yang baik. Sedangkan martensite memiliki sifat keras namun getas.

4.4. Pengolahan Data Uji Kekerasan

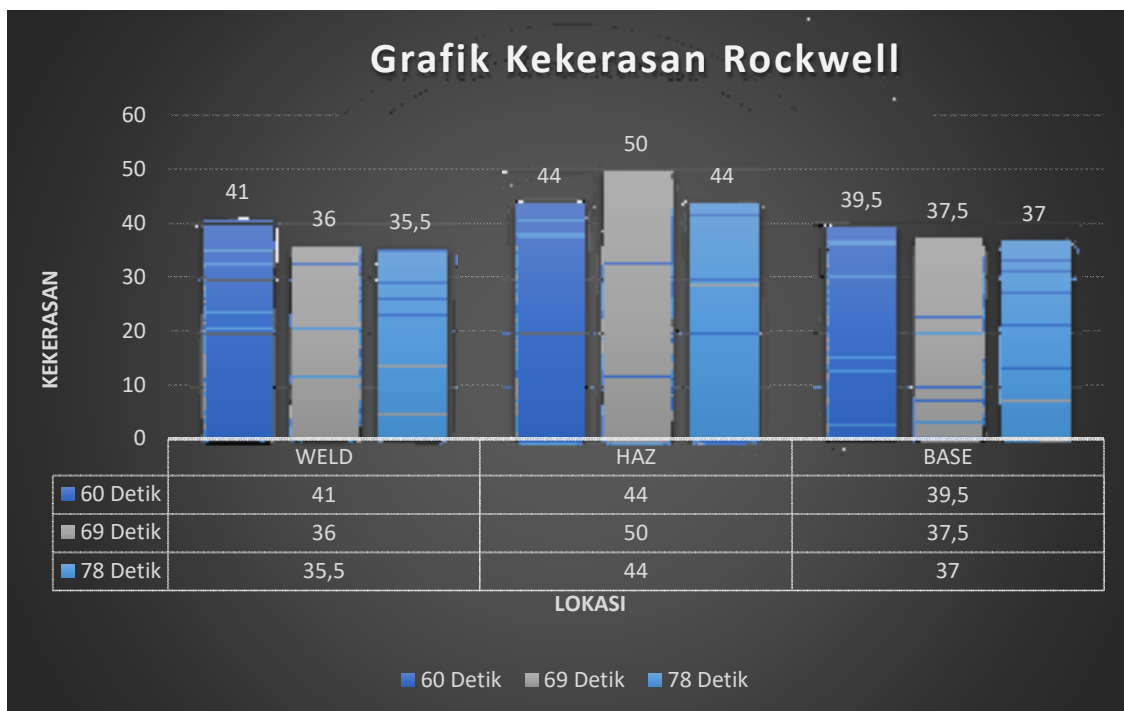
4.4.1. Data Kekerasan *Rockwell*

Setelah dilakukan pengelasan maka diperoleh sampel 3 dengan variasi waktu gesek yang berbeda yaitu dengan variasi waktu 60 detik, 69 detik dan 78 detik dan masing-masing dibuat yaitu uji kekerasan *Rockwell* Kanan dan Uji kekerasan *Rockwell* Kiri di daerah *WELD*, *HAZ* dan *BASE* Dapat dilihat dari hasil tabel dibawah ini:

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Kekerasan

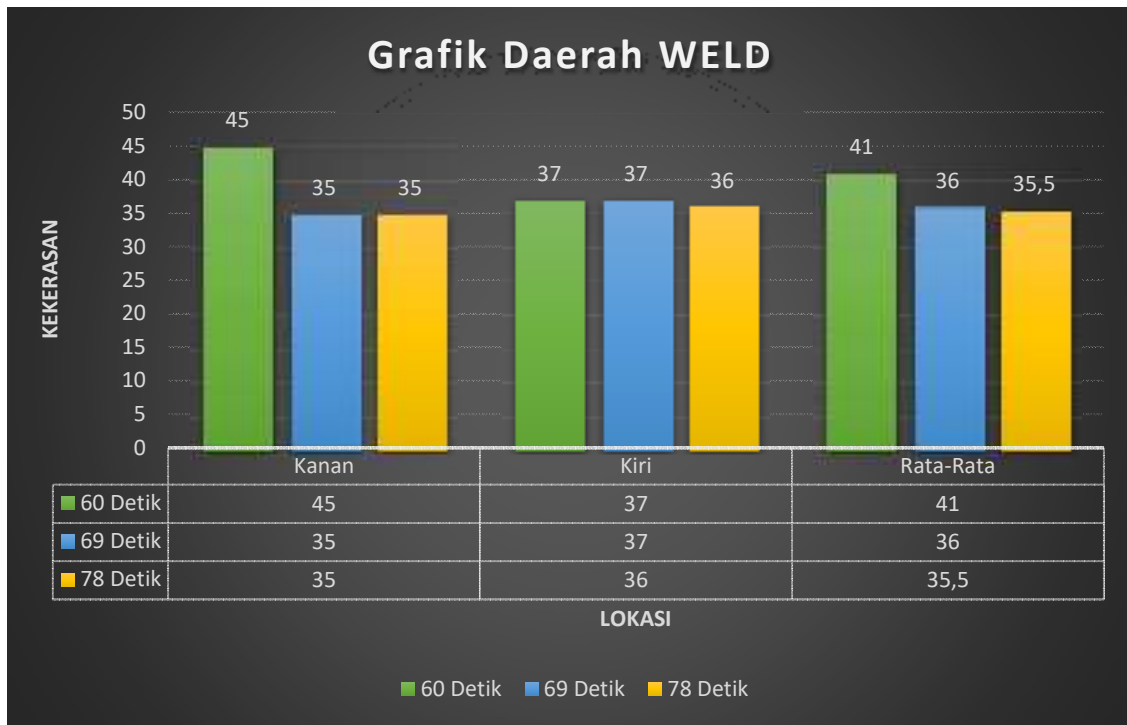
Lokasi	60 Detik	69 Detik	78 Detik
WELD			
Kanan	45	35	35
Kiri	37	37	36
Rata-Rata	41	36	35,5
HAZ			
Kanan	46	47	46
Kiri	42	53	42
Rata-Rata	44	50	44
BASE			
Kanan	42	37	37
Kiri	37	38	37
Rata-Rata	39,5	37,5	37

Variasi waktu gesek yang di terapkan yaitu 60 detik, 69 detik dan 78 detik, pada seatiap variasi tekanan gesek 5 bar, 6 bar dan 7 bar. Variabel terkontrol dalam proses pengelasan gesek ini yaitu kecepatan putaran 500 Rpm, yang di terapkan selama 60 detik dan diameter permukaan gesek 20 mm. Uji struktur mikro dari sambungan las yang terbentuk dievaluasi berdasarkan uji struktur mikro. Pengamatan terhadap perubahan temperature selama proses pengelasan, distribusi nilai kekerasan *Rockwell* disekitar daerah sambungan, dan foto mikro, digunakan sebagai data-data penunjang dalam analisa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu gesek diterapkan, maka menyebabkan panas sampai maleh dan sambungan pada baja meningkat nilai maksimum bertambah keras dan kemudian uji struktur mikro Kembali menurun. Peningkatan uji kekerasan *Rockwell* pada sambungan las gesek tidak bertambah kuat secara linier, akrena akibat dari variasi tekanan gesek, di waktu variasi 60 detik. Dan pada waktu variasi gesek 68 detik dan 78 detik bertambah api terlihat pada tekanan gesek, menyebabkan peningkatan struktur mikro pada sambungan las yang linier. Terjadinya meningkat lebih keras fasa pada struktur mikro pada batas sambungan las akibat dari semakin tinggi *temperature* pada proses pengelasan gesek menyebabkan sambungan semakin maleh.

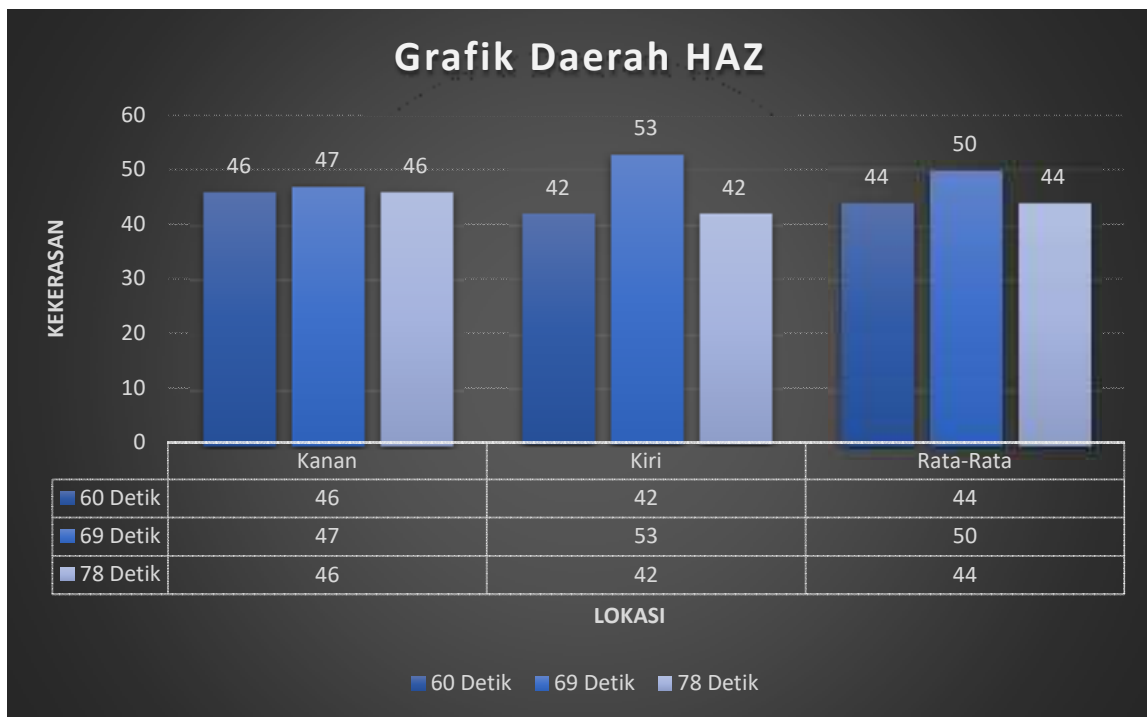


Gambar 4.1 Grafik Uji Kekerasan *Rockwell*

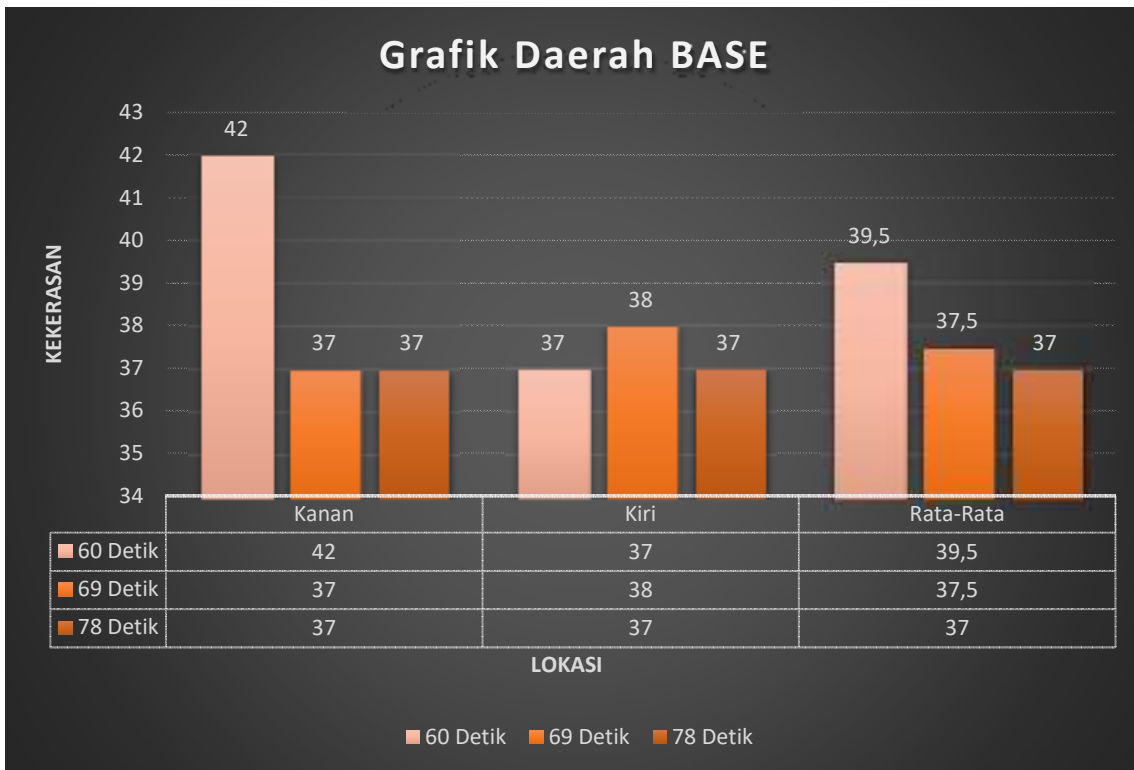
(Sumber: Data Pribadi)



Gambar 4.2 Grafik Daerah *WELD*
(Sumber: Data Pribadi)



Gambar 4.3 Grafik Daerah *HAZ*
(Sumber: Data Pribadi)



Gambar 4.4 Grafik Daerah *BASE*

(Sumber: Data Pribadi)

4.4.2. Analisa Dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Pada grafik tersebut diatas merupakan hubungan dengan variasi waktu pengelasan dan titik terhadap nilai kekerasan (HRc). Hasil menunjukkan bahwa nilai rata-rata pada daerah *WELD* di specimen 1 dengan variasi waktu 60 detik adalah 41 HRc. Kemudian nilai rata-rata pada daerah *HAZ* pada specimen 2 dengan variasi waktu 60 detik diperoleh sebesar 44 HRc, dan nilai rata-rata pada daerah *BASE* di specimen 3 dengan variasi waktu 60 detik diperoleh sebesar 39,5 HRc. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah *WELD* terhadap pada variasi waktu 60 detik adalah 41 HRc dan nilai rata-rata terkecil terdapat pada variasi waktu 60 detik adalah 39,5 HRc. Pada daerah *WELD* di specimen 1 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata pada daerah *WELD* di specimen 1 dengan variasi waktu 69 detik adalah 36 HRc. Selanjutnya, nilai rata-rata pada daerah *HAZ* di specimen 2 dengan variasi waktu 69 detik sebesar 50 HRc, dan pada variasi waktu 69 detik di daerah *BASE* di specimen 3 nilai rata-rata yang peroleh sebesar 37,5 HRc. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah *HAZ* terhadap pada variasi waktu 69 detik adalah 50 HRc dan nilai rata-rata terkecil terdapat pada variasi waktu 69 detik adalah 36 HRc. Hasil

menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan pada daerah *WELD* di specimen 1 pada variasi waktu 78 detik adalah 35,5 HRc. Kemudian nilai rata-rata kekerasan pada daerah *HAZ* di specimen 2 variasi waktu 78 detik dengan nilai rata-rata sebesar 44 HRc dan pada variasi waktu 78 detik di daerah *BASE* pada specimen 3 dengan nilai rata-rata sebesar 37 HRc. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah *HAZ* di specimen 2 sebesar 44 HRc, sedangkan nilai rata-rata terkecil terhadap pada variasi waktu 78 detik adalah 35,5 HRc.

4.4.3. Analisa Kekerasan Pada Setiap Daerah

Pada pengujian kekerasan ada beberapa daerah yang terdapat pada uji kekerasan *Rockwell* dengan variasi waktu dapat dilihat pada daerah *WELD*, daerah *HAZ* dan daerah *BASE*. Dari hasil pengujian kekerasan *rockwell* dengan variasi waktu 60 detik, 69 detik dan 78 detik diperoleh data dimana setiap spesimen yang dilakukan pengujian sebanyak tiga kali adalah:

a. Daerah *WELD*

Pada Spesimen 1 dengan variasi waktu 60 detik hasil yang didapat pada pengujian kekerasan *rockwell* didaerah *welld* kanan pada pengujian pertama nilai yang diperoleh yaitu 45 HRc, pengujian kedua didaerah *welld* kiri yaitu 37 HRc dan pengujian ketiga dengan nilai rata-rata yang di peroleh yaitu 41 HRc. Pada specimen 2 dengan variasi waktu 69 detik pada daerah *welld* kanan hasil yang di dapat pada pengujian pertama yaitu 35 HRc, dan pengujian kedua dengan variasi waktu 69 detik pada daerah *welld* kiri yaitu 37 HRc, dengan nilai rata-rata yang di dapat pada pengujian Ketiga nilai yang diperoleh pada spesimen 2 yaitu 36 HRc. Dan pengujian pertaman di spesimen 3 pada daerah *welld* kanan dengan variasi waktu 78 detik hasil yang di dapat pada pengujian pertama yaitu 35 HRc, pengujian kedua pada daerah *welld* kiri dengan nilai yang didapat yaitu 36 HRc, dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada spesimen 3 dipengujian ketiga yaitu 35,5 HRc.

b. Daerah *HAZ*

Pada Spesimen 1 dengan variasi waktu 60 detik hasil yang didapat pada pengujian kekerasan *rockwell* didaerah *HAZ* kanan pada pengujian pertama dengan nilai yang diperoleh yaitu 46 HRc, pengujian kedua didaerah *HAZ* kiri yaitu 42 HRc, dan pengujian ketiga dengan nilai rata-rata yang di peroleh yaitu 44 HRc. Pada Spesimen 2 dengan variasi waktu 69 detik pada daerah *HAZ* kanan hasil yang di dapat pada

pengujian pertama yaitu 47 HRc, dan pengujian kedua dengan variasi waktu 69 detik didaerah *HAZ* kiri yaitu 53 HRc, dengan nilai rata-rata yang diperoleh pada spesimen 3 dipengujian ketiga yaitu 50 HRc. Dan pengujian pertama di spesimen 3 pada daerah *HAZ* kanan dengan variasi waktu 78 detik hasil yang didapat pada pengujian pertama yaitu 46 HRc, pengujian kedua pada daerah *HAZ* kiri dengan nilai yang di dapat yaitu 42 HRc dengan nilai rata-rata yang diperoleh pada spesimen 3 dipengujian ketiga yaitu 44 HRc.

c. Daerah *BASE*

Pada Spesimen 1 dengan variasi waktu 60 detik hasil yang didapat pada pengujian kekerasan *rockwell* didaerah base kanan pada pengujian pertama nilai yang diperoleh yaitu 42 HRc, pengujian kedua didaerah base kiri yaitu 37 HRc dan pengujian ketiga dengan nilai rata-rata yang di peroleh yaitu 39,5 HRc. Pada spesimen 2 dengan variasi waktu 69 detik pada daerah base kanan hasil yang di dapat pada pengujian pertama yaitu 37 HRc, dan pengujian kedua dengan variasi waktu 69 detik pada daerah base kiri yaitu 38 HRc, dengan nilai rata-rata yang diperoleh pada spesimen 3 yaitu 36 HRc. Dan pengujian pertaman di spesimen 3 pada daerah base kanan dengan variasi waktu 78 detik hasil yang didapat pada pengujian pertama yaitu 37 HRc, dan pengujiann kedua pada daerah base kiri dengan nilai yang didapat yaitu 37 HRc, dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada spesimen 3 dipengujian ketiga yaitu 37 HRc.

4.5. Nilai Pebanding Rata-Rata *Rockwell*

Uji kekerasan *Rockwell* Kanan dan kiri pada baja AISI 4140 di setiap specimen pada specimen 1, 2 dan 3 dengan nilai rata-rata pada daerah *Weld*, *HAZ* dan *Base* dengan waktu variasi 60 detik, 69 detik dan 78 detik. Specimen 1 pada pengujian pertama dengan nilai rata-rata yang di dapat yang di peroleh di pada specimen 1 yaitu 41 HRc. Sedangkan di specimen 2 pada pengujian kedua dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada specimen 2 yaitu 36 HRc, dan pengujian ketiga dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada specimen 3 yaitu 35,5 HRc. Dan pada specimen 1 pada pengujian pertama dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada specimen 1 yaitu 44 HRc, dan specimen 2 pada pengujian kedua dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada specimen 2 yaitu 50 HRc, Sedangkan specimen 3 pada pada pengujian ketiaga dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada specimen 3 yaitu 44 HRc. Di specimen 1 pada pengujian pertam dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada specimen 1 yaitu 39,5 HRc, dan pada specimen 2

pada pengujian ketua dengan nilai rata-rata yang di peroleh di specimen 2 yaitu 37,5 HRc. Sedangkan specimen 3 pada pengujian ketiga dengan nilai rata-rata yang di peroleh pada specimen 3 yaitu 37 HRc.