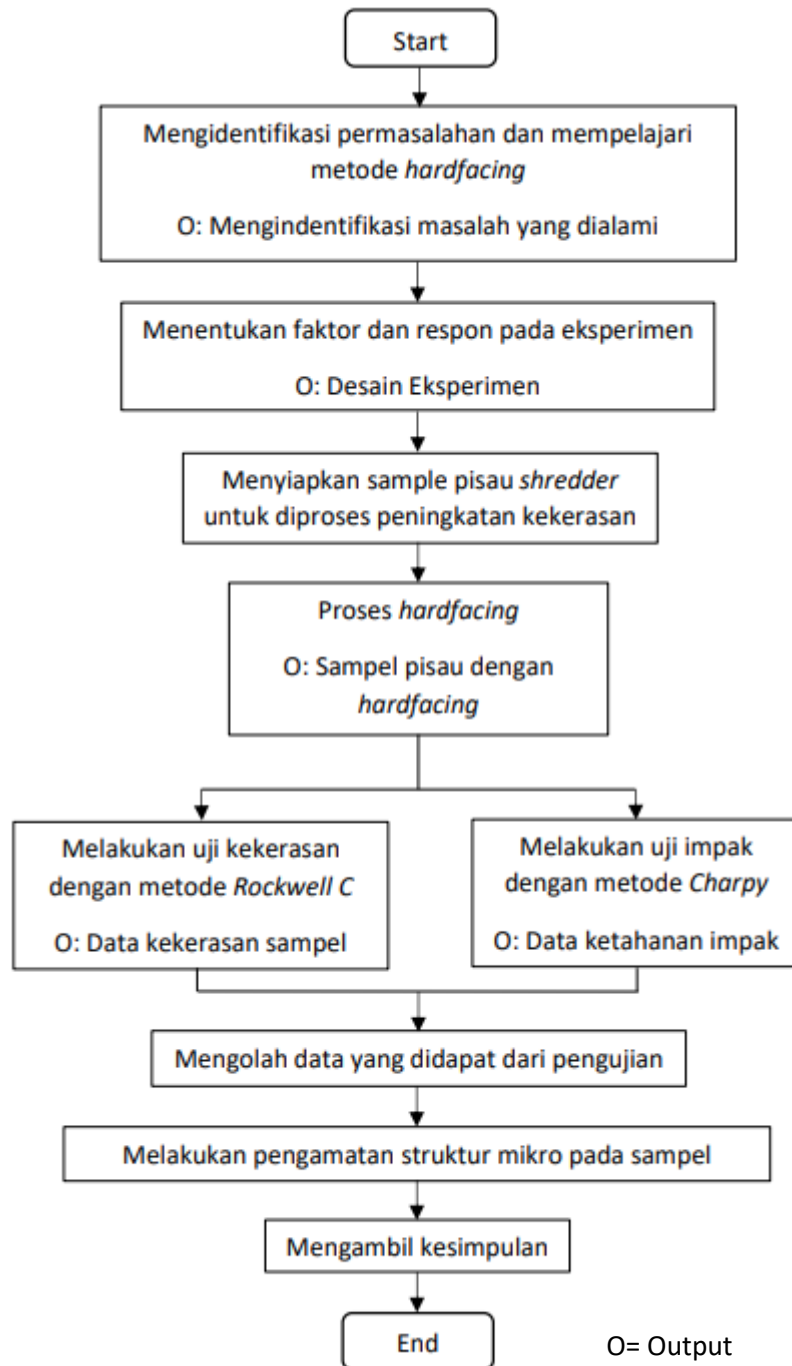


3. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur dan langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ditunjukkan melalui bagan Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Metode Penyelesaian

3.1. Mengidentifikasi Permasalahan dan Mempelajari Metode *hardfacing*

Mempelajari tentang pisau *shredder*, serta proses *hardening* untuk pisau *shredder*, yaitu *hardfacing*. Metode identifikasi masalah yang digunakan adalah dengan studi lokasi pada PT. X dan melakukan tanya jawab dengan pihak PT. X. Setelah menemukan masalah yang dialami oleh PT. X maka analisa dilakukan untuk menemukan penyebab permasalahan pada PT. X dan melakukan studi untuk menemukan solusinya, yaitu metode *hardfacing*.

3.1.1. Identifikasi Permasalahan

Identifikasi permasalahan dilakukan dengan survei pada PT.X serta pengamatan pada produk pisau yang sudah diproduksi oleh PT. X. Masalah yang dialami oleh PT.X adalah tingkat kekerasan pisau *shredder* yang diproduksi dinilai kurang memuaskan. Nilai kekerasan pisau *shredder* yang diproduksi PT. X adalah 35-40 HRC, sedangkan nilai kekerasan yang diinginkan adalah setidaknya 45 HRC.

Tingkat kekerasan pada pisau *shredder* PT. X yang dinilai kurang memuaskan diduga disebabkan oleh proses peningkatan kekerasan dengan metode *pack carburizing*. Oleh sebab itu metode *hardfacing* disarankan oleh penulis sebagai metode pengganti *pack carburizing*.

3.2. Menentukan Faktor dan Respons Pada Eksperimen

Langkah awal yang cukup penting sebelum melakukan suatu eksperimen adalah menentukan desain eksperimen. Langkah ini digunakan untuk menentukan perpaduan variabel yang hendak digunakan pada eksperimen. Dengan menggunakan desain eksperimen, variabel yang ada pada eksperimen dapat teracak sehingga semua kemungkinan yang ada dapat teruji.

Desain eksperimen yang diterapkan merupakan *Full Factorial*. Jenis desain eksperimen ini dipilih karena jumlah pengujian yang hendak dilakukan tidak terlalu banyak, sehingga masih memungkinkan untuk menggunakan full factorial.

3.2.1. Pemilihan Faktor

Untuk menentukan suatu desain eksperimen, maka faktor dalam penelitian harus ditentukan. Penentuan faktor dilakukan berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan dan pengalaman lapangan pihak perusahaan. Pada penelitian ini 4 faktor ditentukan untuk diuji dalam proses manufaktur pisau *shredder*. Faktor yang digunakan adalah temperatur *pre-heat*, temperatur *post-heat*, media *quench*, dan arus pengelasan.

Pre-heat merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mencegah terjadinya keretakan pada material saat pengelasan (Arcraftplasma, 2016). Menurut pihak PT. X, *pre-heat* juga diperlukan sehingga hasil pengelasan menjadi lebih baik.

Arus pengelasan yang makin tinggi dapat meningkatkan temperatur pada proses pengelasan. Dengan menggunakan arus yang lebih tinggi maka pemakanan kawat las menjadi lebih cepat, mengakibatkan penambahan material yang lebih banyak pada material S45C. Ketebalan material *hardfacing* dapat mempengaruhi kekerasan, semakin tebal maka akan semakin keras, sedangkan kekuatan impact sampel semakin tinggi.

Quench mempengaruhi *cooling rate* sampel setelah proses pengelasan. Dengan *cooling rate* yang lebih tinggi maka tingkat kekerasan pada sampel akan semakin tinggi dan kekuatan impactnya menurun. *Cooling rate* dapat diatur dengan memilih media *quench* yang sesuai dengan kebutuhan.

Post-heat merupakan pemanasan ulang yang dilakukan setelah proses pengelasan selesai. Temperatur *post-heat* dapat mempengaruhi kekerasan dan keuletan material. Semakin tinggi temperatur *post-heat* maka kekerasan semakin rendah, sedangkan kekuatan impact sampel semakin tinggi.

3.2.2. Desain Eksperimen

Pada penelitian yang dilakukan, sebuah desain eksperimen digunakan agar hasil yang didapatkan dari pengujian menjadi beragam dan lebih mudah untuk menentukan faktor yang berpengaruh dan pengaturan parameter pengelasan yang terbaik.

Langkah pertama eksperimen adalah menyiapkan desain eksperimen menggunakan faktor-faktor yang sudah ditentukan sebelumnya. Desain eksperimen dibuat menggunakan *General Full Factorial*, dengan tujuan untuk mengetahui faktor yang berpengaruh. Karena keterbatasan pada sumber daya yang ada maka, desain eksperimen dibatasi dengan 2^k *Full Factorial*. Desain eksperimen 2^k akan tetap menguji interaksi antar faktor yang digunakan. Replikasi sebanyak 2 kali dilakukan sehingga estimasi experimental error bisa didapatkan.

Jenis desain eksperimen yang digunakan adalah *full factorial* dengan 4 faktor dan 2 level. Jumlah faktor yang dipilih menyesuaikan dengan proses metode *hardfacing*. Variabel metode *hardfacing* yang dapat dikontrol adalah temperatur *pre-heat* dan *post-heat*, arus pengelasan, dan media *quench*. Replikasi sebanyak 2 kali dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat

Setelah jenis faktor ditentukan, level faktor ditentukan. Level atas faktor disesuaikan dengan batas atas faktor sedangkan level bawah disesuaikan dengan batas bawah. Batas atas dan batas bawah faktor ditentukan oleh jenis masing-masing faktor.

Temperatur *pre-heat* disesuaikan dengan kadar *carbon equivalent* material yang digunakan yaitu S45C. Kandungan pada baja S45C bisa didapatkan pada Lampiran 2, 0.45% C, 0.7% Mn, 0.3% Si. Kadar *carbon equivalent* dihitung dengan rumus *carbon equivalent*. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa *carbon equivalent* material S45C yang digunakan adalah 0.6167. Untuk tingkatan *carbon equivalent* dengan angka diatas 0.6, Temperatur *pre-heat* yang digunakan adalah 210-370°C, seperti anjuran pada Tabel 2.2

$$CE = C + \frac{Mn+Si}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (3.1)$$

Sumber: *Using The Carbon Equivalent Method To Determine Weldability of Steels*. (2020, December 23). <https://weldinganswers.com/using-the-carbon-equivalent-method-to-determine-weldability-of-steels/>

$$CE = 0.45 + \frac{0.7+0.3}{6} + \frac{0+0+0}{5} + \frac{0+0}{15} \quad (3.2)$$

$$CE = 0.6167 \quad (3.3)$$

Temperatur *post-heat* yang digunakan adalah suhu menengah yaitu 300-500°C. Temperatur suhu menengah ditentukan melalui studi literatur yang sudah dilakukan. Temperatur *post-heat* menengah (300-500°C), bertujuan untuk meningkatkan keuletan material (Karmin, 2009). Proses *quench* pada penelitian ini menggunakan media *quench* yang oli dan udara. Oli memiliki *cooling rate* yang cukup baik dan tidak menyebabkan keretakan atau perubahan bentuk benda (Valvoline, n.d.). Proses *quench* dilakukan dengan rasio berat media *quench* dan berat spesimen 10:1 (Razak et al., n.d.). Pengaturan arus diatur pada generator yang digunakan untuk proses pengelasan SMAW. Arus pengelasan yang digunakan adalah 110-160 A, sesuai dengan anjuran katalog kawat las HV-800 dari Nikko Steel pada Tabel 2.1. Parameter arus disesuaikan dengan katalog sehingga hasil yang didapatkan menjadi lebih optimal.

Menurut perhitungan *carbon equivalent* yang sudah dilakukan temperatur *pre-heat* yang sesuai untuk baja karbon S45C adalah 210°C dan 370°C. Arus pengelasan disesuaikan dengan katalog produk yang mencantumkan arus pengelasan yang direkomendasikan sebesar 110A dan 160A. Media *quench* yang digunakan adalah oli, level dibagi menjadi *yes*, yang berarti

dilakukannya proses *quench* dan *no* yang berarti tidak dilakukan *quench*. *Post-heat* dilakukan dengan temperatur tempering menengah yaitu 300°C dan 500°C.

Tabel 3.1 Faktor Dan Level

Faktor	Level	
	-1	1
Pre-heat	210°C	370°C
Arus	110	160
Quench	No	Yes
Post-heat	300°C	500°C

Desain eksperimen dibuat dengan *minitab*, dengan proses memasukkan faktor dan level yang digunakan pada Tabel 3.1. Desain eksperimen 4 faktor dan 2 level, dilakukan dengan replikasi 2 kali. Percobaan yang dilakukan sebanyak 2^4 atau 16 kali percobaan dengan 2 kali replikasi, sehingga jumlah total percobaan yang dilakukan adalah 32 kali percobaan. Tabel 3.2 merupakan Desain Eksperimen yang didapatkan dari *minitab*.

Tabel 3.2 Desain Eksperimen

RunOrder	PtType	Blocks	Pre-heat	Arus	Quench	Post-heat
1	1	1	210	160	yes	300
2	1	1	210	160	yes	500
3	1	1	210	110	no	300
4	1	1	210	160	no	300
5	1	1	370	110	yes	300
6	1	1	370	160	no	300
7	1	1	370	110	yes	500
8	1	1	210	110	yes	300
9	1	1	370	110	no	300
10	1	1	210	110	no	500
11	1	1	370	160	yes	300
12	1	1	210	160	no	500
13	1	1	370	160	yes	500
14	1	1	370	160	no	500
15	1	1	210	110	yes	500
16	1	1	370	110	no	500
17	1	2	210	160	yes	300
18	1	2	210	160	yes	500
19	1	2	210	110	no	300
20	1	2	210	160	no	300

RunOrder	PtType	Blocks	Pre-heat	Arus	Quench	Post-heat
21	1	2	370	110	yes	300
22	1	2	370	160	no	300
23	1	2	370	110	yes	500
24	1	2	210	110	yes	300
25	1	2	370	110	no	300
26	1	2	210	110	no	500
27	1	2	370	160	yes	300
28	1	2	210	160	no	500
29	1	2	370	160	yes	500
30	1	2	370	160	no	500
31	1	2	210	110	yes	500
32	1	2	370	110	no	500

3.3. Menyiapkan Sampel Pisau Shredder

Pada tahan ini, persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk membuat sampel pisau *shredder* untuk mencacah karton dilakukan. Membeli bahan yang diperlukan seperti baja S45C untuk bahan sampel pisau *shredder* dan kawat las untuk *hardfacing*. Selain membeli bahan, peralatan untuk membuat sampel seperti oven dan alat las juga disiapkan.

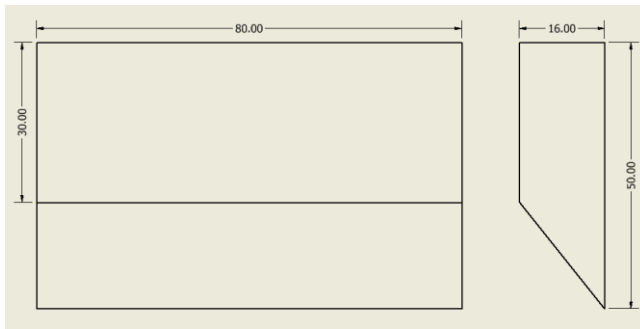
Sampel pisau *shredder* dibuat berdasarkan jumlah yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian. Persiapan sampel dilakukan sesuai dengan prosedur produksi pisau *shredder* yang kemudian diproses peningkatan kekerasan menggunakan metode *hardfacing*.

3.4. Menyiapkan Sampel

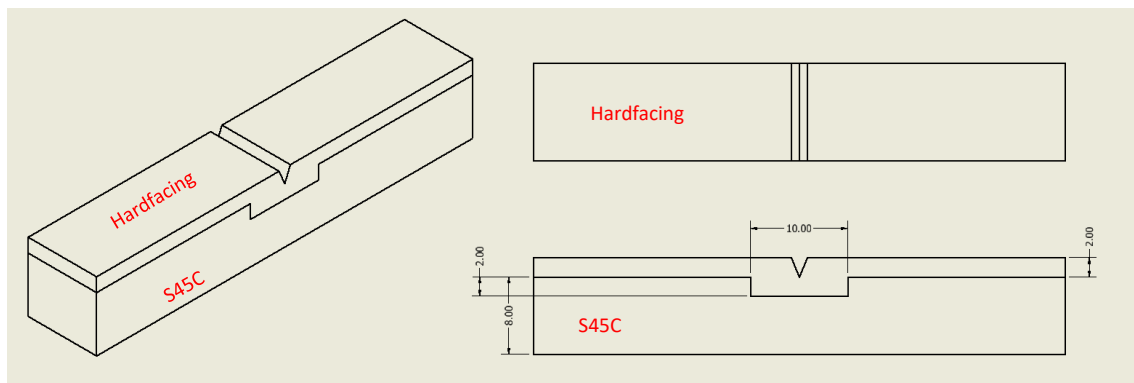
Setelah membuat desain eksperimen, maka bahan dan alat-alat yang dibutuhkan untuk membuat sampel disiapkan. Selain menyiapkan alat dan bahan, *briefing* dilakukan dengan pihak perusahaan dan operator mesin las perusahaan, sehingga pengerjaan dapat dilakukan sesuai dengan keperluan untuk percobaan.

Sampel dibagi menjadi 2 jenis, yaitu sesuai dengan dimensi untuk uji impak dan bentuk pisau *shredder*. Dimensi sampel disesuaikan dengan standar spesimen uji impak pada Bab 3.7. Dimensi pisau *shredder* disesuaikan dengan kebutuhan perusahaan yaitu 50 mm x 80 mm x 16 mm seperti pada Gambar 3.2. Setelah diproses *hardfacing* bagian atas sampel (bagian *hardfacing*) mengalami penambahan material sebanyak 2-3 mm. Sampel uji impak dengan *hardfacing* di proses *milling* seperti pada Gambar 3.3 untuk mengurangi ketebalan dimensi benda sebanyak 2 mm. Sampel pisau dikurangi sebanyak 2 mm juga pada bagian mata pisau

untuk persiapan proses *hardfacing*. Pengurangan dimensi dilakukan sehingga setelah proses *hardfacing* benda yang dihasilkan menjadi sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan.



Gambar 3.2 Desain Pisau *Shredder*



Gambar 3.3 Sampel Uji Impak Untuk *Hardfacing*

Sampel disiapkan dengan proses permesinan pada *workshop* PT.X. Langkah pertama pembuatan spesimen adalah memotong baja S45C sesuai dengan dimensi sampel uji impak dan sampel pisau menggunakan *Circular Saw*. Setelah baja S45C sudah sesuai dimensi yang diinginkan maka sampel diproses menggunakan mesin *milling* untuk meratakan permukaan yang masih kurang rapi, sehingga bisa mendapatkan akurasi yang lebih baik.

3.5. Proses Peningkatan Kekerasan

Setelah alat dan bahan sudah siap, maka proses peningkatan kekerasan dilakukan. Pada proses ini jumlah sampel dan variabel terkontrol disesuaikan dengan desain eksperimen yang sudah dibuat.

3.5.1. Menggunakan Metode *Hardfacing*

Proses pengelasan dilakukan dengan *shielded metal arc welding* menggunakan kawat *hardfacing high alloy iron*. Alat untuk melakukan pengelasan disiapkan dan kawat las

dibelanjakan sehingga siap untuk digunakan pada proses *hardfacing*. Pada penelitian ini jenis kawat las *hardfacing* yang digunakan adalah *high alloy iron* dengan tipe HV-800 dari Nikko Steel dengan bahan seperti pada Gambar 3.4.

WELD METAL ANALYSIS COMPOSITION % BY Wt.		C	Mn	Si	Cr	Mo	Fe
Min.		3.5	-	-	24	0.5	
Max.		4.5	1.5	1.5	30	1.0	
Typical		3.8	1.2	1.0	28	0.8	Bal.

Gambar 3.4 Komposisi Kawat Las

Sumber: HV-800. (2018). <http://nikkosteel.co.id/uploads/hv-800-post-file-2019-12-16-160008.pdf>

Pada tahap ini, proses peningkatan kekerasan permukaan pada sample pisau *shredder* dilakukan menggunakan metode *hardfacing*. Proses *hardfacing* dilakukan menggunakan kawat las khusus untuk melakukan *hardfacing High Alloy Iron*, Nikko Steel HV800 dengan ukuran 3,2 mm. Metode pengelasan SMAW disesuaikan dengan standar pada PT. X dengan sudut 45° dan penambahan lapisan sebanyak 2 lapis atau kurang lebih 2 mm.

3.5.2. Proses Hardfacing

Proses *hardfacing* dilakukan sesuai dengan desain eksperimen pada Tabel 3.2, dengan urutan pengerjaan yang menyesuaikan *run order*. Langkah awal proses *hardfacing* adalah *pre-heat* yang dilakukan dengan cara memanaskan material dengan las karbit dan pengecekan temperatur dilakukan dengan *thermo gun*. Pengecekan temperatur dilakukan secara berkala, sehingga temperatur *pre-heat* dapat disesuaikan.



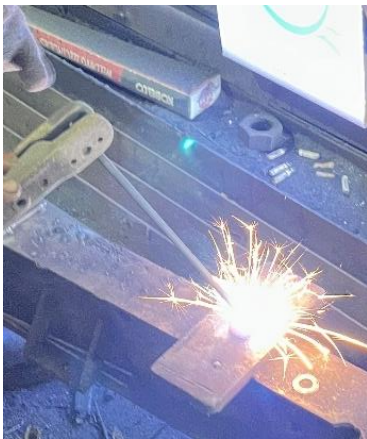
Gambar 3.5 Proses Pre-Heat

Proses pengelasan *hardfacing* dilakukan dengan metode pengelasan SMAW dengan gerakan melingkar atau spiral. Waktu pengelasan sampel uji impak adalah ± 30 detik per lapis, dengan interval 10 detik setelah pengelasan lapisan pertama. Total waktu pengelasan per spesimen 1 menit 10 detik. Jumlah lapisan pengelasan adalah 2 lapis, dengan penambahan

ketebalan sebanyak ± 2 mm. Pengaturan arus dan voltase dilakukan pada generator las seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Generator Las



Gambar 3.7 Proses Hardfacing

Setelah pengelasan dilakukan, sampel dengan proses *quench* langsung dicelupkan ke dalam oli *queching*. Temperatur oli sesuai dengan suhu ruangan, yaitu $\pm 34^{\circ}\text{C}$. Sampel dimasukkan ke dalam keranjang besi, sehingga memudahkan proses pencelupan dan pengangkatan dari oli *quench*.

Post-heat dilakukan menggunakan oven induksi dengan temperatur yang ditentukan oleh desain eksperimen, yaitu 300°C dan 500°C . Sampel yang sudah melalui proses *hardfacing* dipisahkan sesuai dengan parameter *post-heat*. Setelah dipisahkan sampel di proses *post-heat* secara terpisah pada temperatur 300°C dan 500°C . Lama waktu yang digunakan untuk proses *post-heat* adalah 1 jam dengan penahanan temperatur.

3.5.3. Grinding

Sampel yang sudah melewati proses *hardfacing* kan diproses grinding, menggunakan gerinda tangan. Pemilihan metode dengan gerinda tangan dilakukan karena tingkat kekerasan material *hardfacing* yang cukup keras, sehingga tidak dapat dilakukan proses permesinan. Langkah ini diperlukan agar material tambahan dari proses *hardfacing* dapat kurangi, sehingga dimensi sampel memenuhi standar pengujian impact. Proses *grinding* dilakukan secara perlahan sehingga sampel yang diproses tidak mengalami kenaikan temperatur yang signifikan. Pendinginan pada sampel juga dilakukan dengan tujuan yang sama yaitu menjaga temperatur sampel.

3.5.4. Pembuatan Takik

Setelah proses *grinding* permukaan sampel uji impact masih rata, sehingga diperlukan proses lanjutan untuk membuat takik pada sampel. Proses pembuatan takik menggunakan mesin *surface grinding*. Sampel ditempatkan pada penjepit mesin, dan *cutting tool* disesuaikan dengan kebutuhan bentuk takik (*V-Notch*).

3.6. Melakukan Pengujian dan Pengambilan Data

Setelah sampel pisau *shredder* sudah siap, maka pengujian dan pengambilan data dilakukan. Pengujian dilakukan dengan beberapa metode pengujian. Pengujian yang pertama dilakukan dengan alat uji kekerasan *Rockwell*, untuk mendapatkan data kekerasan permukaan sampel dalam skala HRC. Pengujian yang kedua adalah kekuatan impact sampel menggunakan metode *Charpy*. Data yang didapatkan pada tahap ini adalah tingkat kekerasan permukaan sampel dan kekuatab impact sampel.

3.6.1. Melakukan Uji Kekerasan Dengan Metode Rockwell

Uji kekerasan dengan metode *Rockwell* dilakukan pada sampel yang sudah diproses dengan metode *hardfacing*. Pengujian dilakukan dengan standar JIS Z 2245: 2011. Pengujian dilakukan dengan cara menekan permukaan sampel menggunakan *indenter* kerucut intan. Hasil ditunjukkan oleh skala yang terdapat pada alat uji kekerasan dengan satuan HRC.

3.6.2. Uji Kekerasan

Uji Kekerasan dilakukan dengan standar JIS Z 2245 : 2011, dengan metode uji kekerasan *Rockwell C* menggunakan indenter kerucut intan. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 4 kali

pada 1 sampel. Titik pengujian kekerasan ditempatkan sejauh 2 mm dari ujung sampel dan diberi jarak sejauh 4 mm dari titik pengujian lainnya.

Sebelum digunakan untuk uji kekerasan, sampel haluskan dengan kertas amplas secara bertingkat dengan grit 240, 400, 500, 600. Kemudian sampel diberi penanda untuk titik pengujian. Penandaan dilakukan menggunakan spidol dan penggaris untuk mengukur jarak dari penempatan titik.

Setelah sampel sudah siap, paka sampel diletakkan pada *holder* alat uji kekerasan. Pembebanan pada alat uji diatur pada 1471 N sesuai dengan standar uji kekerasan dengan skala HRC. Pembebanan awal dilakukan dengan menaikkan sampel hingga menyentuh indentor dan jarum kecil pada pembaca menyentuh titik merah. Setelah pembebanan awal, maka skala pembaca diputar untuk menyesuaikan jarum besar pada angka 0. Kemudian, pembebanan tambahan dilakukan dengan menarik tuas pada bagian samping alat uji. Setelah 4 detik, maka beban dilepaskan dengan mendorong tuas pada bagian samping mesin. Nilai kekerasan dengan skala HRC ditunjukkan oleh jarum panjang seperti pada Gambar 3.9.



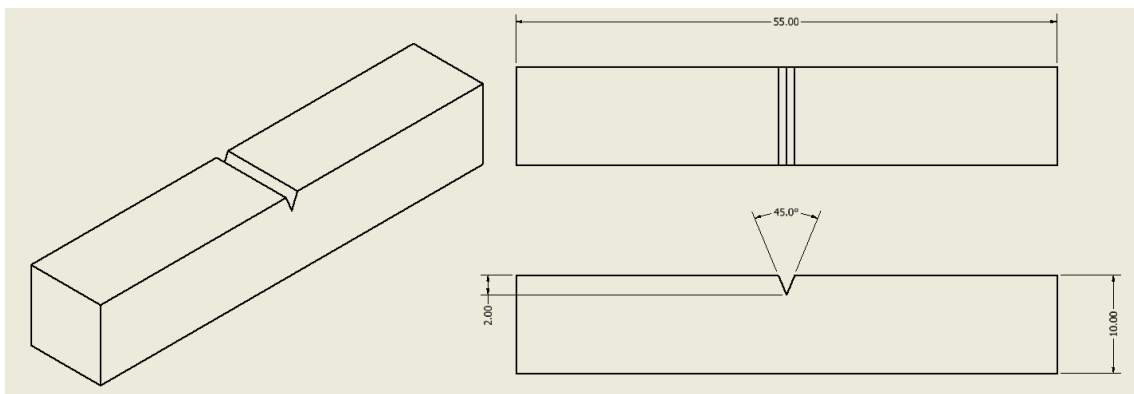
Gambar 3.8 Alat Uji Kekerasan *Rockwell* PT. X



Gambar 3.9 Nilai Kekerasan

3.7. Melakukan Uji Impak Dengan Metode Charpy

Uji Impak pada sampel dilakukan dengan metode Charpy. Sampel disiapkan sesuai dengan standar metode Charpy dengan *V notch* sehingga hasil yang didapatkan akurat. Standar yang digunakan adalah standar JIS Z 2242: 2005. Spesimen yang sudah diproses dengan metode dan *hardfacing* di uji ketahanannya terhadap impact, sehingga data pengujian didapatkan dan dapat diolah.



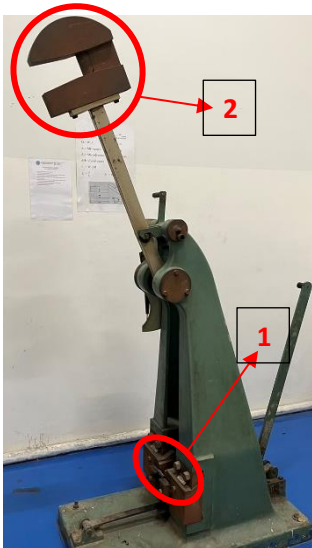
Gambar 3.10 Dimensi Spesimen Uji Impact Charpy V Notch

Sumber: Japanese Standards Association. (2013). *JIS Handbook Ferrous Materials & Metallurgy I*. Japanese Standards Association.

3.7.1. Uji Impak

Uji impak dilakukan dengan standar JIS Z 2242 : 2005, dengan metode uji impak *Charpy V-notch*. Sampel uji impak yang digunakan adalah *full size* dengan dimensi 10 x 10 x 55 mm dengan takikan 45° dan kedalaman 2 mm seperti contoh pada Gambar 3.10. Proses pengujian dilakukan pada suhu ruangan, sampel pengujian juga disesuaikan dengan suhu ruangan.

Proses pengujian impak dilakukan dengan menempatkan sampel pada *holder* pada Gambar 4.9, no 1. *Striker* pada alat uji diangkat hingga terkunci pada posisi atas seperti pada Gambar 4.9, no 2. Jarum pada skala pada Gambar 4.10 ditempatkan pada posisi nilai energi impak tertinggi yaitu 275 Joule. Setelah langkah awal sudah dilakukan maka pengunci *striker* dapat dilepaskan, sehingga *striker* menghantam sampel. Nilai energi impak dan kekuatan impak dari pengujian dapat terbaca pada skala yang terdapat pada alat uji impak.



Gambar 3.11 Alat Uji Impak Charpy Lab Metalurgi



Gambar 3.12 Nilai Uji Impak

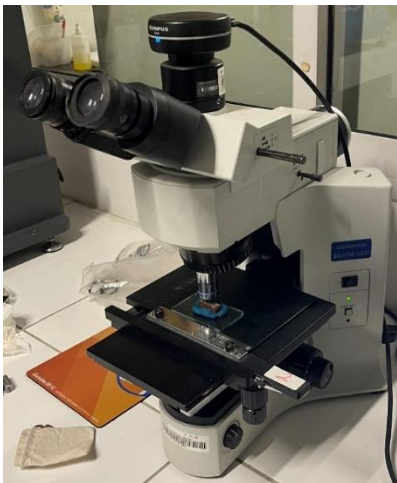
3.8. Mengolah Data

Mengolah data yang didapat setelah melakukan 2 jenis pengujian pada sampel pada langkah sebelumnya. Pengolahan data dilakukan dengan mengumpulkan data pengukuran

pengujian tingkat kekerasan permukaan dan ketahanan terhadap impact. Data yang sudah didapatkan diolah dan di bandingkan satu sama lain.

3.9. Melakukan Pengamatan Pada Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada 3 sampel, yaitu sampel S45C tanpa *hardfacing*, sampel dengan *hardfacing* dengan nilai kekerasan tertinggi dan terendah. Pengujian dilakukan pada lab dengan bantuan mikroskop optik untuk mengamati struktur mikro. Prosedur pengamatan struktur mikro disesuaikan dengan standar ASTM E3 (11)-2011. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop *Olympus BX41M* dengan kamera *Olympus DP22*



Gambar 3.13 Mikroskop Optik

3.9.1. Persiapan Pengamatan Struktur Mikro

Sampel pengamatan struktur mikro disiapkan sesuai dengan prosedur dari *ASM Handbook*. Langkah pertama persiapan sampel merupakan proses *grinding* menggunakan kertas amplas secara bertahap. Amplas yang digunakan adalah *grit* 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000. Langkah berikutnya adalah proses *polishing*, dengan menggunakan kain *flanel* dengan larutan *alumina*. Langkah terakhir persiapan sampel adalah *etching*, menggunakan larutan etsa. Larutan etsa yang digunakan adalah larutan *Nital*.