

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

##### **2.1.1 Kendaraan Lapis Baja**

Kendaraan tank merupakan *platform* senjata yang dapat bergerak dengan bertahan sekaligus. Secara terminologi, tank adalah kendaraan otomotif yang dapat dilacak dan menggunakan lapis baja pembawa senjata berat. Tank berasal dari perkembangan dua bidang, bidang pertama adalah kendaraan otomotif beroda dan bidang kedua adalah pengembangan senjata berat dengan senjata *portable* individu dengan batasan efektivitas minimum. Pengaruh perkembangan kedua bidang tersebut menjadikan penggunaan senjata berat menjadi lebih mudah bergerak dan menjadi alasan kendaraan tank dapat bertahan lama (Ogorkiewicz, 1991).

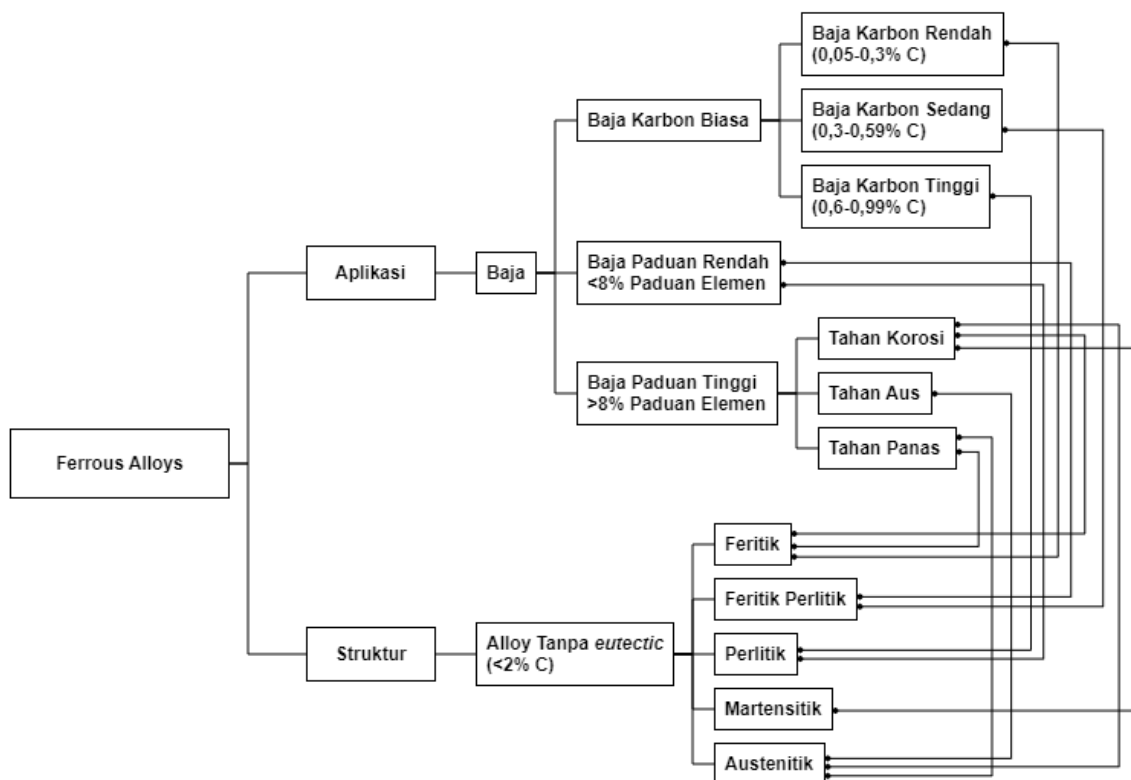
Dalam perkembangan militer, penggunaan kendaraan tank militer umumnya dikelompokkan menjadi kendaraan tank ringan, sedang, dan berat. Dalam pengembangan teknologi alpalhankam, *medium tank* diharapkan menjadi modernisasi tank ringan AMX-13 buatan Perancis dan menggantikan tank Leopard buatan Jerman yang masih menjadi andalan batalyon kavaleri TNI AD. Perkembangan *medium tank* diharapkan untuk berkembang menjadi *main battle tank*, yakni *Armored Personnel Carrier* (APC), *Infantry Fighting Vehicle* (IFV), *Self Propelled Artillery*, dan *Self Propelled Missile System* (Abdi et al., 2020).

##### **2.1.2 Pelat Baja Armor**

Pelat baja armor dalam kendaraan perang umumnya dilapisi dengan baja. Baja merupakan paduan besi dengan persentase karbon yang rendah (dibawah 2 % C) dengan elemen lainnya yang dapat berubah bentuk dengan pengaruh panas atau pendinginan. Umumnya, bahan baku utama yang digunakan adalah bijih besi, batu bara, dan batu kapur (Bramfitt & Benscoter, 2001).

Reaksi utama dalam pembuatan baja merupakan kombinasi karbon dengan oksigen untuk membentuk gas (Osterman & Harry, 2010). Terdapat derajat deoksidasi yang memengaruhi sifat baja (Gandy, 2007). Struktur metalurgi dan kandungan karbon merupakan faktor utama yang memengaruhi material baja (Bramfitt, 1998).

Armor baja dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi. Penerapan tersebut diklasifikasikan berdasarkan kandungan komposisi yang dimiliki tiap baja. Secara lebih rinci, klasifikasi baja dijelaskan pada Gambar 2.1 :



**Gambar 2.1 Klasifikasi Baja**

Sumber : Metallographer's Guide : Irons and Steels  
(Bramfitt & Bescoter, 2001b)

a. Baja karbon

Baja karbon adalah serangkaian paduan karbon dan besi yang mengandung hingga sekitar 1 % karbon dan hingga 1,65 % Mn, dengan unsur ditambahkan dalam jumlah tertentu untuk

deoksidasi dan jumlah sisa unsur lainnya. Berdasarkan kadar karbon, baja karbon dapat dibagi menjadi baja karbon rendah, sedang, dan tinggi.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon Berdasarkan Kandungan Karbon

No.	Baja Karbon	Definisi
1.	Tinggi	Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,60 – 0,99%. Tingginya nilai karbon menyebabkan baja lebih sulit untuk dilas. Baja karbon tinggi dapat diberi perlakuan panas untuk kekerasan maksimum dan ketahanan aus. Pemberian <i>pre-heat</i> dan perlakuan panas dapat diupayakan untuk menghilangkan kekerasan dan kerapuhan pada zona fusi.
2.	Sedang	Baja karbon sedang merupakan baja dengan komposisi karbon berkisar pada 0,30 – 0,59%. Baja karbon sedang memiliki kualitas dan perlakuan panas lebih tinggi apabila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Pengelasan pada baja karbon sedang harus menggunakan elektroda <i>arc</i> . Untuk mendapatkan kekerasan yang maksimal, perlakuan <i>pre-heating</i> sebelum pengelasan dapat diterapkan.
3.	Rendah	Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan berkisar antara 0,05 – 0,30%. Baja karbon rendah sering disebut baja ringan. Baja karbon rendah banyak digunakan pada proses fabrikasi. Kemampuan las pada baja karbon rendah sangat baik sehingga produksi pada baja karbon rendah dalam bidang industri sangat banyak.

Sumber : Bohnart, 2018

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Armor dan *Filler* Material ER307

Material/wp%	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
MIL-DTL-46100	0,32	1	0,02	0,005	0,6	0,6	0,7	0,3
ER307	0,08	5	-	-	0,9	6,1	12,7	0,2

Sumber : diolah oleh peneliti berdasarkan Steel, 2023.

b. Baja paduan

Baja paduan merupakan baja dengan kandungan elemen paduannya melebihi batas yang sudah ditentukan. Pemberian unsur-unsur yang diberikan untuk mendapatkan efek yang diinginkan dalam penerapan atau aplikasi baja terkait. Penggunaan baja paduan menyebabkan baja paduan mudah dilas (Bohnart, 2018).

Secara umum, baja paduan terbagi menjadi baja paduan tinggi dan baja paduan rendah.

1) Baja paduan rendah

Baja paduan rendah merupakan kelompok baja yang dapat dimanfaatkan dalam beragam fungsi. Baja paduan rendah memiliki kelebihan dengan mampu ditingkatkannya sifat mekanik material tanpa mengurangi hasil dari keuletan bahan (Swan TAFE., 2007).

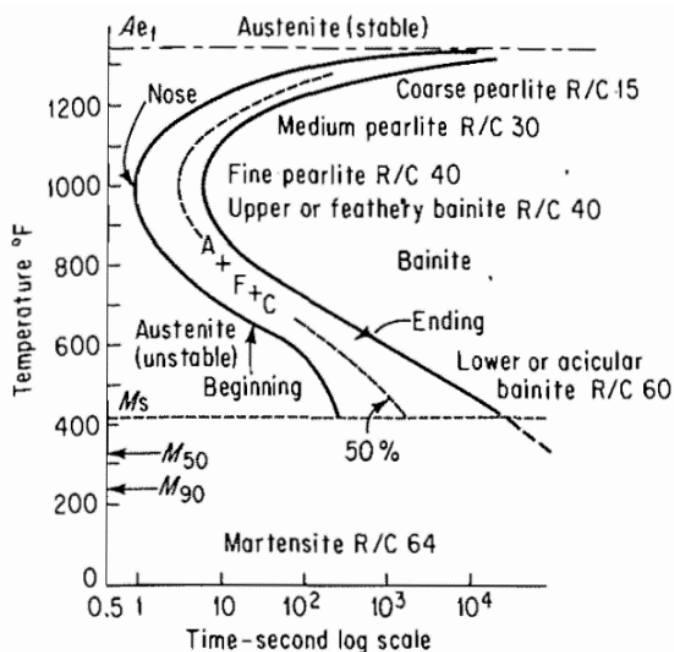
2) Baja paduan tinggi

Baja paduan tinggi merupakan baja dengan kandungan paduan melebihi 5%. *Stainless steel* sebagai baja tahan karat merupakan salah satu dari kelompok baja paduan tinggi. Baja tahan karat merupakan paduan besi atau kromium. Kromium yang dikandung memiliki persentase melebihi 10% dengan kandungan karbon yang kurang dari 1,5%, serta kandungan Fe yang lebih besar dari unsur lainnya. Untuk mencapai sifat tahan karat tersebut, penggunaan unsur kromium diperlukan agar terbentuk kromium oksida sebagai bahan anti korosi (Swan TAFE., 2007).

c. Fasa Baja

Pada umumnya, sifat dan kekuatan dari baja berkaitan dengan komposisi yang terkandung dalam baja, proses pengerjaan (teknik pengelasan), dan struktur material baik setelah pengerjaan. Pengetahuan mengenai sifat dan struktur baja diawali pada

kesetimbangan antara besi-karbon, dan berkembang pada diagram *Isothermal-transformation*. Diagram terkait merupakan sumber awal perkembangan sifat baja karbon dan baja paduan dengan banyak variasi (Bhadeshia & Honeycombe, 2017).



**Gambar 2.2 Diagram *Isothermal-transformation***

Sumber : Steels-Microstructure and Properties

(Bhadeshia & Honeycombe, 2017)

Dengan pengaruh dari suhu, persentase karbon, serta waktu pengelasan, terdapat fasa yang mungkin terbentuk dalam material, antara lain :

#### 1) Ferit-perlit

Struktur ferit-perlit terbentuk atas beberapa paduan yang memengaruhi sifat mekanik. Kandungan mangan dan belerang sebagai contohnya, belerang merupakan penguat dan mangan sebagai penghilang oksidasi serta aluminium sebagai penghilang oksidator. Pada baja ferit-perlit, karbon dan ukuran butir yang ditunjukkan menjadi penentu struktur mikro dan sifat yang dimiliki suatu baja (Bramfitt, 1998).

Pengaruh karbon terhadap baja dapat memengaruhi kekerasan material seiring dengan meningkatnya persentase pada karbon. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya fraksi volume perlit pada struktur mikro yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan fraksi volume ferit. Sehingga dapat diketahui bahwa pengaruh kadar perlit memiliki pengaruh pada meningkatnya kekerasan baja (Bhadeshia & Honeycombe, 2017).

## 2) Martensit

Fase martensit merupakan struktur kristal kubik yang terbentuk pada suhu tinggi dan berpusat saat atom C menempati interstisial (Durand-Charre, 2004). Pada kadar karbon melebihi 0,5%, kekuatan dan kekerasan yang ada akan mendatar dan kemudian turun karena fasa austenitik yang terbentuk tidak seutuhnya berubah menjadi martensit. Oleh karena itu, ketika baja karbon tinggi diolah dengan panas (pengelasan atau pemanasan), temperatur yang dipilih untuk melarutkan tidak melebihi 0,6% C dalam bentuk struktur austenit dengan tujuan menghasilkan struktur martensit dengan kekuatan dan kekerasan yang baik (Voort, 2015).

## 3) Austenit

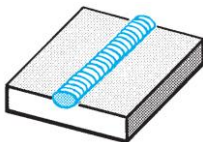
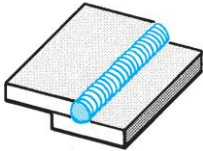
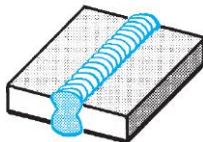
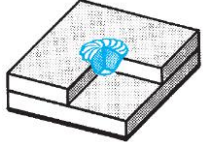
Austenit merupakan struktur yang berhubungan dengan bentuk *face-centered-cubic* dari besi dengan suhu 912 – 1394°C. Austenitik merupakan fase struktur baja untuk semua transformasi baja (Voort, 2015). Austenitik pakan fase lunak dan ulet yang dikeraskan hingga tingkat kekuatan tinggi. Austenit yang tertahan dalam baja dapat berubah menjadi fasa martensit dan menimbulkan kegetasan atau mengurangi ketahanan aus (Voort, 2015).

### 2.1.3 Pengelasan

Pengelasan merupakan proses penggabungan material menggunakan bahan tertentu (logam atau termoplastik) untuk membuat potongan material yang berbeda menjadi satu dan terhubung. Proses pengelasan dilakukan dengan melebur benda kerja dan menambahkan *filler* agar menghasilkan bahan cair yang kemudian akan membentuk sambungan yang kuat. (Bohnart, 2018). Secara fisis, pengelasan menjadikan potongan dengan bahan yang berbeda didekatkan secara atomik pada masing-masing tepi potongan yang akhirnya mengembangkan gaya tarik interatomik (Brockenbrough & Merritt, 1999).

Pengaruh bentuk dan kualitas material yang berbeda menjadikan perlakuan yang berbeda pada tiap pengelasan. Terdapat berbagai jenis bentuk pengelasan yang memiliki penerapan berbeda dari setiap jenisnya. Jenis yang digunakan pada pengelasan antara lain *bead welds*, *fillet welds*, *groove welds*, *plug welds*. Sedangkan berdasarkan metode pengelasan, pengelasan dibagi menjadi metode pengelasan *arc welding*, *resistance welding*, dan *solid state*.

Tabel 2.3 Jenis Pengelasan pada Baja Armor

No.	Jenis Pengelasan			
1	<i>Bead Welds</i>	<i>Fillet Welds</i>	<i>Groove Welds</i>	<i>Plug Welds</i>
2				

Sumber : Bohnart, 2018

### 2.1.4 MIL-DTL 46100E

MIL-DTL 46100E (*Military Detail 46100E*) adalah spesifikasi yang mencakup pelat baja tempa dengan kekerasan tinggi yang ditempa untuk aplikasi lapis baja ringan pada pertahanan (Clifton Steel, 2022). Armor baja yang tercakup dalam spesifikasi MIL-DTL 46100E ditujukan untuk aplikasi ringan yang membutuhkan ketahanan terhadap jenis amunisi penembus

bola dan lapis baja serta kemampuan beberapa perkenaannya. Spesifikasi ini mencakup persyaratan untuk komposisi kimia, sifat mekanik, ketahanan balistik, dan karakteristik lain dari pelat baja (Clifton Steel, 2022).

MIL-DTL-46100E digunakan sebagai referensi kendaraan militer, baja besi struktural, dan perlindungan balistik bangunan. Dalam spesifikasi material *armor steel* MIL-DTL-46100E, baja lapis baja sebagai jenis baja struktural berupa paduan rendah dengan nilai kekuatan yang tinggi untuk memberikan ketahanan penetrasi dan perlindungan ledakan yang tinggi. Pada kekerasan sambungan material, terdapat ambang batas 350 HV untuk *weld metal* material, serta 505 HV pada *base metal* material. Sifat baja yang kuat tersebut dapat dicapai dengan proses *quenching* dan *tempering* untuk mencapai keseimbangan yang diinginkan antara nilai kekerasan dan ketangguhan (*Armor Steel Protects People and Property*, 2023).

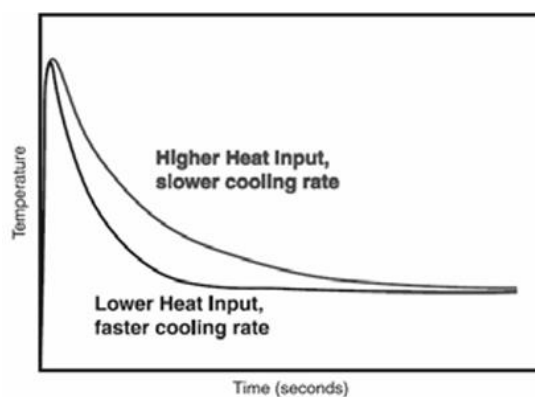
Dalam aplikasi militer, baja lapis baja yang umum diterapkan adalah baja yang dikeraskan pada fasa martensit dengan nilai karbon ditambah elemen paduan berupa kromium, nikel, molybdenum (*Armor Steel Protects People and Property*, 2023). Sifat utama dari baja lapis baja yang menjadi acuan standar MIL-DTL 46100E antara lain sifat ketangguhan, kekerasan, kekuatan fatik, kemudahan fabrikasi, dan estimasi biaya. Sebagai contoh, paduan baja dengan performa perlindungan terhadap peluru merujuk pada MIL-A-46100 yang merupakan baja khusus dengan suhu tempa tinggi dengan tingkat kekerasan berkisar pada angka 477-534 BHN (Steel, 2023).

### **2.1.5 Heat Input**

*Heat Input* merupakan parameter pengelasan *arc welding* untuk mengontrol kualitas las dengan memperhatikan energi listrik yang dialirkan pada pengelasan. Faktor yang memengaruhi kualitas las dimulai dari perencanaan las, persiapan pengelasan, dan prosedur saat pengelasan. Perencanaan las salah satunya adalah pengaturan *heat input* dengan mengatur arus, tegangan atau mengatur kecepatan pengelasan.

*Heat input* yang tinggi menyebabkan distorsi yang besar baik distorsi sudut, distorsi lengkung, maupun *buckling* pada plat tipis (Wiryosumarto & Okumura, 2000). Distorsi tersebut dikarenakan *heat input* tinggi yang menyebabkan membesarnya regangan termal tidak merata semakin besar (Michaleris, 2011). Diperlukan waktu yang lebih lama untuk sifat *austenite* berubah menjadi ferit, dan menjadikan konsentrasi *austenit* menjadi lebih besar dalam bahan tahan karat (Wenkai et al., 2015).

*Heat input* pada las memengaruhi struktur fase, ketangguhan, laju pendinginan serta distorsi. Komposisi kimia pada *weld zone* (WZ) dan level *heat input* secara langsung berakibat pada struktur mikro dan ketangguhan las (Wenkai et al., 2015). *Heat input* akan memengaruhi laju pendinginan las, yang berakibat pada perubahan struktur mikro pada las (Popović & Burzić, 2010). Parameter las *heat input* dan variabel gas pelindung akan menentukan struktur mikro, morfologi dendrite dan tekstur las yang berakibat pada ketangguhan *cryogenic* sambungan las (Kianersi et al., 2014).



**Gambar 2.3 Pengaruh Heat Input terhadap Laju Pendinginan**

Sumber : The Effect of Heat Input on The Weld Metal Toughness of Surface  
(Popović & Burzić, 2010)

Secara umum, *heat input* yang tinggi menghasilkan pengelasan yang lebih kuat dan tahan lama, namun menyebabkan peningkatan distorsi serta kelengkungan pada material yang dilas. Akan tetapi, *heat input* yang rendah menghasilkan pengelasan yang lebih lemah walaupun mengurangi distorsi

dan lengkungan. Secara umum *heat input* diformulasikan melalui persamaan :

$$HI = \frac{V \cdot I \cdot 60}{v} \quad (2.1)$$

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

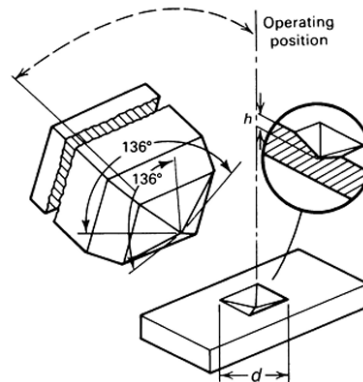
$v$  = Kecepatan pengelasan (In/min atau mm/min)

### 2.1.6 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Pada pengujian kekerasan, nilai kekerasan yang diperoleh akan bergantung pada karakteristik benda. Karakteristik benda tersebut dapat dilihat melalui kekuatan tarik batas elastis, nilai modulus Young, dimensi, bentuk akhir permukaan, dan kehomogenitas material. Sebagai salah satu jenis pengujian kekerasan, uji Vickers adalah metode pengujian yang memiliki skala kekerasan dengan jangkauan luas untuk sebagian besar logam dan lasan.

Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter intan piramida  $136^\circ$  yang membentuk lekukan persegi. Dua sumbu lekukan berbentuk intan yang diukur dalam nanometer dirata-ratakan (untuk memberikan dimensi  $d$ ) dengan kekerasan yang telah ditentukan berdasarkan kalibrasi untuk beban kilogram ( $P$ ) yang berbeda (Moore & Booth, 2015). Indenter pada pengujian Vickers ditekan pada benda uji dengan beban ( $P$ ) tertentu dalam kisaran 5 – 120  $kg$  (G & Roy B, 2001). Panjang diagonal rata-rata ( $L$ ) dari lekukan yang dihasilkan pada benda uji diukur dan angka kekerasan Vickers ( $VHN$  atau  $HV$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$HV = \frac{KP}{L^2} = \frac{1,8544 P}{L^2} \quad (2.3)$$



**Gambar 2.4 Indentor Piramida Berlian untuk Uji Vickers**

Sumber : Mechanical Testing and Evaluation of Welds  
(Moore & Booth, 2015)

Penulis menggunakan pengujian dengan metode *vickers hardness test*. Pemilihan didasarkan pada adanya peningkatan akurasi dalam menentukan diagonal persegi apabila dibandingkan dengan penentuan dengan metode lingkaran. Selain itu, pada penggunaan indentor, uji vickers menggunakan indentor berbentuk piramida sehingga cocok diterapkan bahan uji yang telah dipoles sesuai dengan bahan material uji (Moss & Basic, 2013).

Pada pengujian *vickers hardness test*, pengujian menggunakan beban sebesar 5 kg yang ditindikkan melalui alat pengujian. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan tersebut adalah :

$$HV = \frac{1}{g_n} \times \frac{F}{d^2 / \left(2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)} = \frac{1}{g_n} \times \frac{2F \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} \quad (2.4)$$

Dalam pelaksanaan pengujian, nilai sudut yang ditetapkan berupa sudut  $\alpha = 136^\circ$  dengan nilai tetapan gravitasi,  $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$ , dan  $d^2$  sebagai nilai kuadrat rata-rata dari jarak kubus yang tercetak pada sampel (ISO, 2018). Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan metode kekerasan Vickers, yakni :

$$HV = 0,1891 \times \frac{F}{d^2} \quad (2.5)$$

### **2.1.7 SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*)**

SEM merupakan teknik untuk menggambarkan morfologi material dengan resolusi spasial di bawah 1 nm (Wang, 2000; Wang et al., 2000). Alasan SEM digunakan untuk analisis ukuran partikel adalah resolusi SEM yang mencapai 10 nm, yaitu 100 Å (Goldstein et al., 1975). Instrumen SEM digunakan bersama dengan teknik terkait lainnya untuk menentukan komposisi atau orientasi kristal atau fitur individu.

Analisis sinar-X dispersif energi (EDAX) adalah teknik yang digunakan untuk pengukuran nanopartikel dengan SEM. Dalam teknik ini, nanopartikel dianalisis dengan aktivasi menggunakan spektrofotometer sinar-X EDS (Kim et al., 2012). Peralatan yang diperlukan untuk analisis EDS adalah sinar-X yang terkait dengan peralatan SEM (Ghodke et al., 2021). Pada SEM, atom-atom di permukaan akan tereksitasi oleh berkas elektron memancarkan panjang gelombang sinar-X yang merupakan karakteristik struktur atomik elemen (Ebnesajjad, 2014).

Prinsip dasar EDAX adalah penembakan sinar-X dari spesimen melalui berkas elektron. Ada tiga komponen utama yang ada dalam sistem EDAX dasar, yakni detektor sinar-X, prosesor pulsa, dan sistem komputer. Detektor sinar-X diposisikan untuk mencegat sinar-X yang dipancarkan dari spesimen (Raval et al., 2018a). Sinar-X yang dipancarkan dari sampel dideteksi oleh detektor sinar-X. Saat memasuki detektor, sinar-X menghasilkan arus kecil, yang kemudian diubah menjadi pulsa tegangan. Pulsa tegangan bergantung pada energi sinar-X. Histogram yang muncul kemudian dapat diplot setelah pengukuran pulsa tegangan selama periode 60 detik. Histogram ini mewakili spektrum energi sinar-X yang dapat digunakan untuk analisis unsur (Hodoroaba et al., 2014).

Pada EDS, elektron yang datang menumbuk atom spesimen dan melumpuhkan elektron dari kulit-K (kulit  $n=1$ ) logam, dan kekosongan atau lubang ditinggalkan dalam kulit tersebut. Jika elektron dari kulit lain mengisi

kekosongan tersebut, sinar-X dipancarkan. Transisi elektronik ke kulit-K ( $n = 1$ ) dinamakan sinar KX, transisi ke kulit-L ( $n = 2$ ) adalah sinar LX, dan transisi ke kulit-M ( $n = 3$ ) adalah sinar MX (Ghodke et al., 2021).

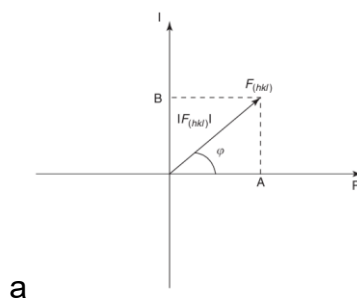
### 2.1.8 XRD (*X-ray Diffraction*)

*X-ray diffraction* (XRD) merupakan metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dengan menentukan parameter struktur kisi. Penggunaan utama teknik XRD adalah identifikasi dan karakterisasi senyawa berdasarkan pola difraksi (Gumustas et al., 2017). XRD bekerja berdasarkan prinsip persamaan Bragg, digambarkan dalam bentuk pantulan sinar-X yang dikoliminasi pada bidang kristal sampel yang akan dikarakterisasi. XRD didasarkan pada hamburan elastis sudut lebar dan umumnya digunakan untuk material yang teratur (khususnya material kristal dengan orde jarak jauh (Raval et al., 2018b).

Pada pengujian XRD akan memberikan nilai indeks miller yang merupakan sistem notasi dalam kristalografi untuk mendeskripsikan orientasi bidang kristal yang dinyatakan dalam koordinat  $hkl$ . Penentuan nilai indeks miller dapat menentukan struktur kristal karena adanya penggunaan pola difraksi dari sinar yang dipancarkan. Pola difraksi yang didapatkan akan diterjemahkan dengan jarak antar bidang kristal dan simetri struktur kristal.

Hukum Bragg memberikan kondisi sederhana di mana sinar terdifraksi dapat diamati. Gambar 2.6 menunjukkan seberkas sinar-X paralel yang menembus sekumpulan bidang kisi paralel dengan indeks  $h$ ,  $k$ ,  $l$  dengan jarak ( $d$ ) dan pada sudut datang ( $\theta$ ). Bidang-bidang kisi direpresentasikan berperilaku sebagai cermin. Perbedaan jalur antara gelombang yang tersebar di A dan B sama dengan:

$$1B + BJ = 2d \sin \theta \quad (2.6)$$



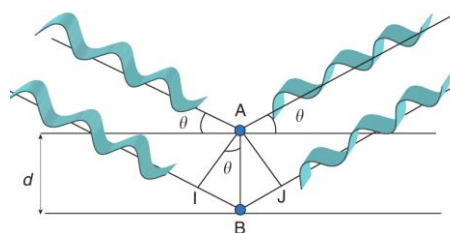
**Gambar 2.5 Bilangan Kompleks ( $F_{hkl} = A + iB$ ) dengan  $|F_{hkl}| = \varphi$**

Sumber : Small Molecule X-Ray Crystallography, Theory and Workflow  
(Le Pevelen, 2010)

Gelombang yang direfleksikan akan bersatu membentuk sinar yang terdifraksi (interferensi konstruktif maksimum, biasanya disebut 'refleksi') jika perbedaan jalur adalah kelipatan dari panjang gelombang  $\lambda$  :

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \quad (2.7)$$

Persamaan tersebut disebut dengan persamaan Bragg. Gelombang refleksi yang tidak memenuhi persamaan tersebut akan mengganggu secara destruktif. Dalam persamaan tersebut, nilai  $n$  memberikan makna sebagai orde difraksi (Le Pevelen, 2010).



**Gambar 2.6 Kondisi Refleksi – Hukum Bragg**

Sumber : Small Molecule X-ray Crystallography, Theory and Workflow  
(Le Pevelen, 2010)

## 2.2. Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan uraian terkait dengan penelitian yang dicantumkan sebagai acuan pemecahan permasalahan penelitian. Hasil penelitian atau kajian terdahulu dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan peneliti dengan menjelaskan persamaan dan perbedaan serta relevansinya sebagai berikut :

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

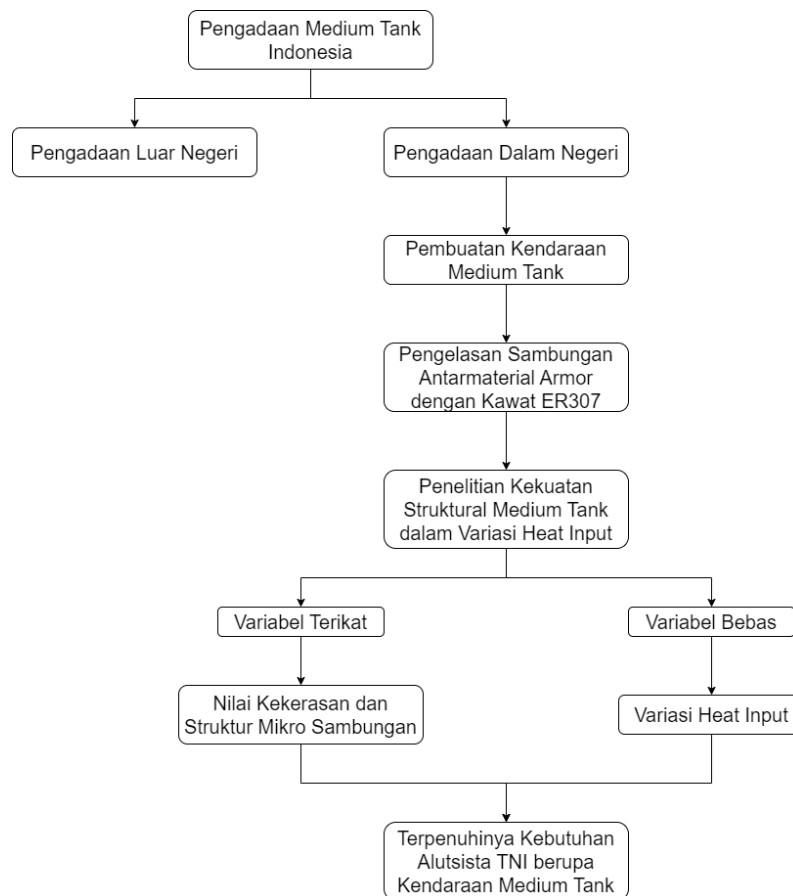
Nama	Judul Tahun	Tujuan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
Ugur Gurol dan Tuba Karahan	Characterization of Armour Steel Welds Using Austenitic and Ferritic Filler Metals (2022)	Menganalisis pengaruh pengelasan fillet dengan sifat Austenitik (ER 307) dan Feritik (ER110S-G) pada baja Millux Protection 500 (MIL-A46100) dengan metode GMAW secara struktur mikro dan uji kekerasan	Logam pengisi ER110S-G memiliki struktur martensite tempered sehingga nilai kekerasan weld metal mendekati base metal yang menyebabkan terhindarnya kerapuhan. Logam pengisi ER 307 memiliki kekerasan yang lebih rendah sehingga menghasilkan ketangguhan yang lebih tinggi dengan sifat matrik austenitik yang diperkaya dengan kandungan Cr dan Ni pada struktur ferit.	Menggunakan proses pengelasan GMAW	<p>Penelitian 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meninjau terhadap 2 jenis filler material</li> <li>2. Menggunakan bahan Millux Protection</li> <li>3. Menggunakan 1 jenis heat input</li> <li>4. Tidak menggunakan Uji Balistik</li> <li>5. Tidak menggunakan Uji Mikro XRD</li> <li>6. Uji Kekerasan berupa Vickers Hardness Test</li> </ol> <p>Penelitian 2</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meninjau dengan 1 jenis filler material</li> <li>2. Menggunakan bahan Protac 500</li> <li>3. Menggunakan 2 jenis heat input</li> <li>4. Menggunakan Uji Balistik</li> <li>5. Menggunakan Uji Mikro XRD</li> <li>6. Uji Kekerasan berupa Brinell Test</li> </ol>
Branko Savic dan Aleksandar Cabrilo	Effect of Heat Input on the Ballistic Performance of Armor Steel Weldments (2021)	Menguji ketahanan penetrasi proyektil dari logam dasar dan HAZ dengan membandingkan dua jenis <i>heat input</i> 1,29 kJ/mm dan 1,55 kJ/mm pada plat baja Protac 500 yang dianalisis secara struktur mikro HAZ pengelasan, gradien kekerasan lasan, dan kekuatan Tarik.	Pada heat input 1,55 kJ/mm, kekerasan zona fusi HAZ berkurang yang mengakibatkan berkurangnya perlindungan balistik. Kemudian, <i>heat input</i> 1,55 kJ/mm tidak mampu untuk menahan penetrasi pada proyektil 7,62 mm. Sedangkan <i>heat input</i> 1,29 kJ/mm ditemukan kekerasan yang lebih tinggi sehingga memungkinkan perlindungan balistik dan mampu menahan penetrasi proyektil 7,62 mm.		

Sumber : diolah oleh peneliti

Nama	Judul Tahun	Tujuan	Hasil	Persamaan	Perbedaan
Oleksiy Slyvinsky, Yevhenia Chvertko, dan Serhii Bisyk	Effect Of Welding Heat Input On Heat-Affected Zone Softening In Quenched and Tempered Armor Steels(2019)	Membandingkan kekerasan mikro dan struktur mikro dari HAZ pada Milux Protection 500 (MP 500), Swebor armor 500 (SA 500) dan ATI 500+ dan AAS. Menggunakan pengelasan GMAW dengan heat input 0,5kj/mm-0,9kj/mm.	Pada pengujian yang dilakukan pada logam HAZ setiap material mengalami pelunakan secara signifikan. Pada logam HAZ nilai kekerasan HAZ lebih rendah dari kekerasan weld metal. Hal tersebut juga terjadi pada bagian CGHAZ dimana seiring dengan kenaikan nilai <i>heat input</i> menyebabkan penurunan nilai kekerasan material serta terjadinya peningkatan luasa HAZ.	Menggunakan proses pengelasan GMAW	Penelitian 3 : 1. Menggunakan 4 jenis material berbeda 2. Heat input divariasikan dari rentang 0,5kj/mm sampai 0,9kj/mm. 3. Tidak menggunakan uji balistik 4. Menggunakan pengujian mikrostruktur
Elson Renato Santos Souza, Ricardo Pondé Weber, Sergio Neves Monteiro, and Suzane de Sant'Ana Oliveira	Microstructure Effect of Heat Input on Ballistic Performance of Welded High Strength Armor Steel	Menyelidiki efek heat input ada pengujian balistik pada High Hardness Armor (HHA) yang mengkombinasikan dengan pengujian mikro, hardness, impact, dan tensile	Nilai kekerasan yang tinggi tidak menentukan kemampuan kekuatan balistik karena secara kuantitatif walaupun bagian base metal merupakan wilayah dengan kekerasan tinggi, bagian HAZ menunjukkan nilai tahan balistik yang lebih tinggi dibandingkan dengan base metal. Terbentuknya fasa martensit pada base metal dan bainit pada HAZ.	Menggunakan Material Armor MIL-DTL 46100E Melakukan uji mikrostruktur dan uji kekerasan dengan Vickers Hardness	Penelitian 4 : 1. Menggunakan filler material feritik 2. Pengelasan SMAW 3. Melakukan Uji Impact 4. Melakukan uji Tensile Test 5. Melakukan uji Balistic
M. A. Morsy, Sabry M. Abdel Aziz, Khaled Abdelwahed dan Sabreen A. Abdelwahab	Effect of welding parameters on the mechanical and metallurgical properties of armor steel weldment	Meneliti pengaruh dari pengelasan menggunakan filler baja dan austenit dengan variasi nilai heat input pada armor steel	Pada filler ER70S kekuatan tarik pada material memenuhi standar militer dengan mencapai kekerasan sampai pada 450 HV. Begitu pula dengan ER307 yang memenuhi standar militer pada uji tarik dengan kekerasan mencapai 455 HV.  Pada hasil yang dilakukan pada variasi heat input, pengurangan nilai heat input menyebabkan HAZ semakin sempit dan terjadi penurunan nilai kekerasan. Kemudian Pada material dengan filler austenitik, terbentuk fasa martensit-austenit.	Melakukan pengujian kekerasan dengan vickers hardness, pengujian mikro, serta SEM	Penelitian 5 : 1. Menggunakan Pengelasan GTAW 2. Dilakukan uji PT, MT, dan RT 3. Dilakukan uji Tensile dan Impak 4. Material ArmoX 500T

Sumber : diolah oleh peneliti

### 2.3. Kerangka Berpikir



**Gambar 2.9 Kerangka Berpikir Penelitian**

Sumber : diolah oleh peneliti

Pengadaan luar negeri menjadi faktor yang harus dihindari karena harga barang yang lebih mahal apabila membeli bahan jadi, tidak mendapatkan perkembangan terhadap ilmu pengetahuan dengan menggunakan pengadaan dari luar, dan harus mengikuti kebijakan politik yang diberikan oleh luar negeri, menghambat perkembangan prinsip bebas aktif Indonesia. Sedangkan, dengan pengadaan dari dalam negeri, membuat terjadinya pemaksimalan bahan dan sumber daya Indonesia, perkembangan teknologi dan manufaktur seiring dengan adanya industri pertahanan yang berkembang di Indonesia.

## 2.4. Hipotesis

Hipotesis Utama:

Variasi heat input dalam proses pengelasan material armor MIL-DTL-46100 menggunakan metode GMAW akan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan sambungan pada kendaraan Medium Tank Harimau 105. Terdapat nilai heat input yang optimal sehingga meningkatkan kekuatan sambungan pada kendaraan tersebut.

Hipotesis Alternatif:

- Ha<sub>1</sub> : Peningkatan heat input dalam pengelasan akan mengurangi kekerasan sambungan.
- Ha<sub>2</sub> : Variasi heat input akan memengaruhi struktur mikro dan morfologi sambungan pada material armor.
- Ha<sub>3</sub> : Kekuatan sambungan yang optimal dapat dicapai dengan mengatur heat input.