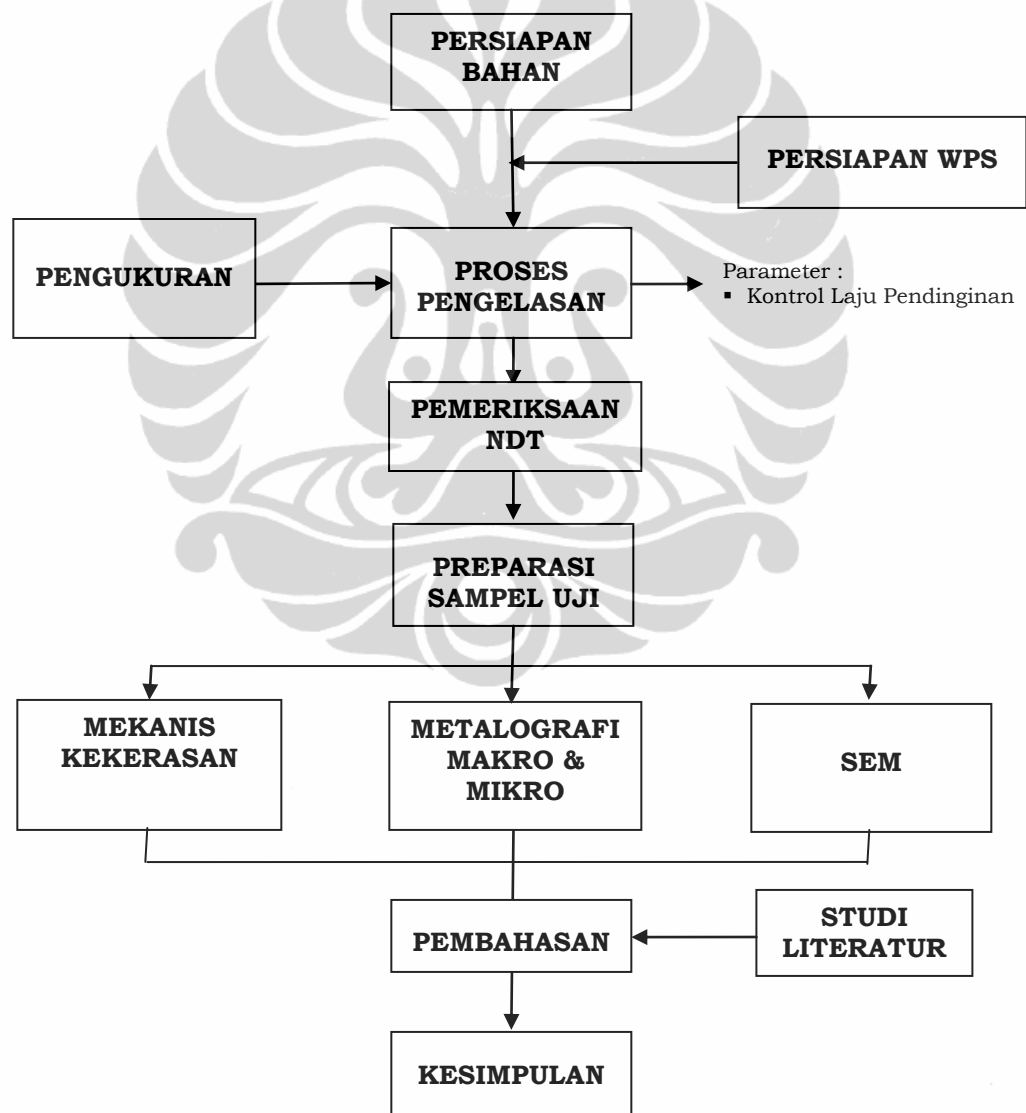


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Prosedur Penelitian

Tahapan-tahapan prosedur yang akan dilakukan pada penelitian ini diuraikan pada diagram alir Gambar 3.1.



Gambar. 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Persiapan Bahan

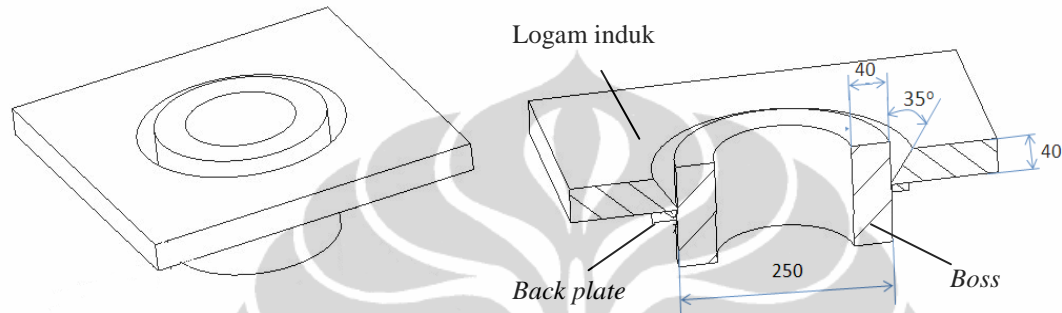
3.2.1. Logam Induk (*Base Metal*)

Logam induk yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja paduan rendah kekuatan tinggi (HSLA) jenis SHT 780B dengan ketebalan 40 mm. Baja ini tergolong kekuatan tinggi karena memiliki kekuatan tarik > 780 MPa. Ukuran baja yang akan digunakan untuk konstruksi bahan/benda uji adalah panjang 500 mm dan lebar 500 mm. Bagian tengahnya diberi lubang dengan diameter 255 mm dan *chamfer* 35° pada sekeliling lubang. Selain pelat, logam induk juga berbentuk *hollow bar* yang sering digunakan pada bagian *boss*. *Hollow bar* menggunakan material S45C yang telah mengalami perlakuan panas berupa *quenching* dan *tempering*^[9]. Ukuran *hollow bar* yang digunakan adalah diameter luar 250 mm, tebal 40 mm dan tinggi 80 mm. Untuk memperkuat lasan, digunakan pula *back plate* yang terbuat dari material SS400 dengan diameter dalam 255 mm, diameter luar 300 mm dan tebal 9 mm. Persiapan bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Persiapan Bahan Sebagai Logam Induk Pengelasan

Konstruksi bahan dibuat menyerupai konstruksi *arm excavator* yang sering mengalami retakan. Pada konstruksi ini, pelat baja SHT780B akan disambungkan pada *hollow bar (boss)* yang menggunakan material S45C. *Back plate* digunakan sebagai penguat lasan dan dipasang di bawah pelat baja HSLA. Secara umum, skematis desain konstruksi lasan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skematis Desain Konstruksi Lasan

Konstruksi bahan memiliki karakteristik material komponen pendukung yang berbeda-beda. Berdasarkan spesifikasi material standar [8], [9], karakteristik dari masing-masing komponen pendukung tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Sifat Mekanis Baja Konstruksi

Tipe Material	<i>Tensile Strength</i>	<i>Yield Point</i>	Elongasi	<i>Hardness</i>	<i>Impact Energy</i>
	MPa	MPa	%	HB	Joule
SHT 780B	780 ~ 930	Min 685	Min 16	240 ~ 300	Min 27
S45C ^{*)}	Min 686	Min 490	Min 20	201 ~ 255	Min 78
SS400	400 ~ 590	245	Min 17	-	-

*) Setelah proses *quenching* dan *tempering*

Untuk mengetahui komposisi kimia konstruksi bahan, dilakukan uji spektrometri untuk masing-masing material. Pengujian ini dilakukan di PT X dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Uji Spektrometri

Tipe Material	Komposisi Kimia (% berat)											CE
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	
SHT780B	0.167	0.357	1.282	0.010	0.003	0.012	0.021	0.177	0.141	0.038	0.001	0.51
S45C	0.439	0.023	0.640	0.009	0.008	0.017	0.024	0.064	0.014	0.003	0.000	0.57
SS400	0.150	0.550	0.300	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-	0.29

3.2.2 Logam pengisi (*filler metal*)

Pada pengelasan konstruksi bahan, logam pengisi yang digunakan memiliki tipe *carbofil* yang merupakan produk dari Oerlikon. Tipe ini dapat dikategorikan pada standar AWS ER70S-6. Logam pengisi ini berdiameter sebesar 1.2 mm. Secara umum, komposisi kimia dan karakteristik logam pengisi ini dijabarkan pada Tabel 3.3 dan digambarkan gulungan logam pengisi (*filler spool*) seperti tampak pada Gambar 3.4.

Tabel 3.3 Komposisi Kimia dan Karakteristik Logam Pengisi

Tipe	Komposisi Kimia (% berat)					<i>Tensile strength</i>
	C	Si	Mn	P	S	MPa
Carbofil	0.06~0.14	0.8~1.8	1.6~1.9	<0.025	<0.025	530~680

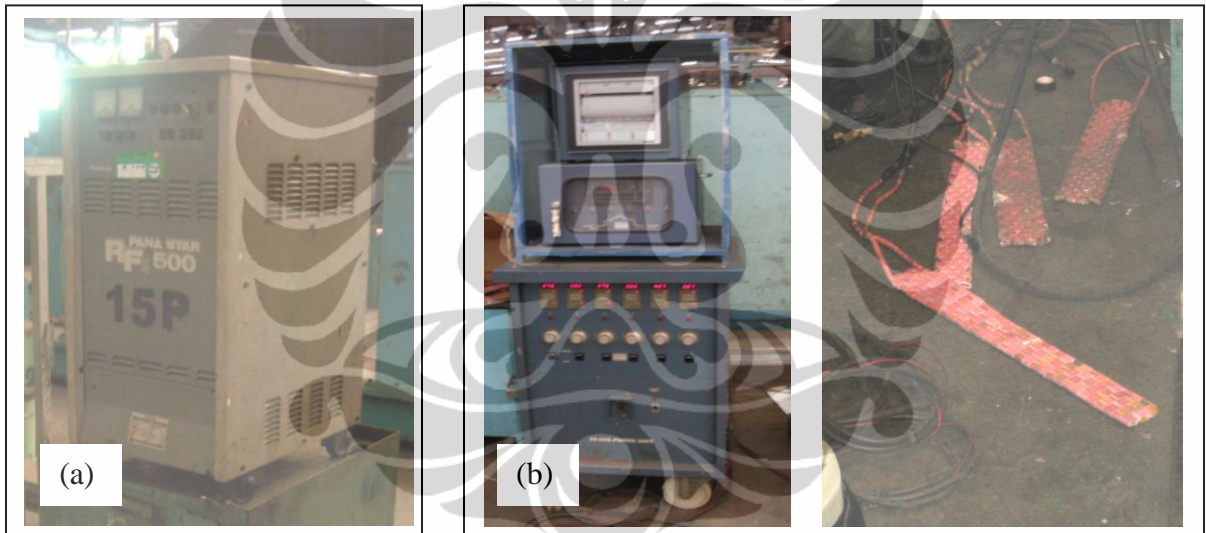


Gambar 3.4 Gulungan Logam Pengisi

3.3. Pengelasan

3.3.1 Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dengan menggunakan gas pelindung berupa CO₂ dan campurannya dengan komposisi 80% CO₂ dan 20% Ar. Mesin las yang digunakan bermerek PANASTAR RF 500 seperti tampak pada Gambar 3.5 (a). Pada penelitian ini, proses pemanasan awal sebelum memulai pengelasan sangat diperlukan untuk mencapai temperatur *preheat* yang diinginkan. Untuk melakukan pemanasan awal tersebut, digunakan *heater electric* dengan merek MANNINGS seperti tampak pada Gambar 3.5 (b).



Gambar 3.5 (a) Mesin Las GMAW

(b) *Heater Electric* dan *Ceramic Pad Heater*

Untuk menjamin kesamaan proses dan hasil pengelasan seperti pada pengelasan *arm excavator* di PT X, proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan oleh *welder* yang sama dan menggunakan prosedur pengelasan sesuai dengan WPS yang ditunjukkan pada Lampiran 2.

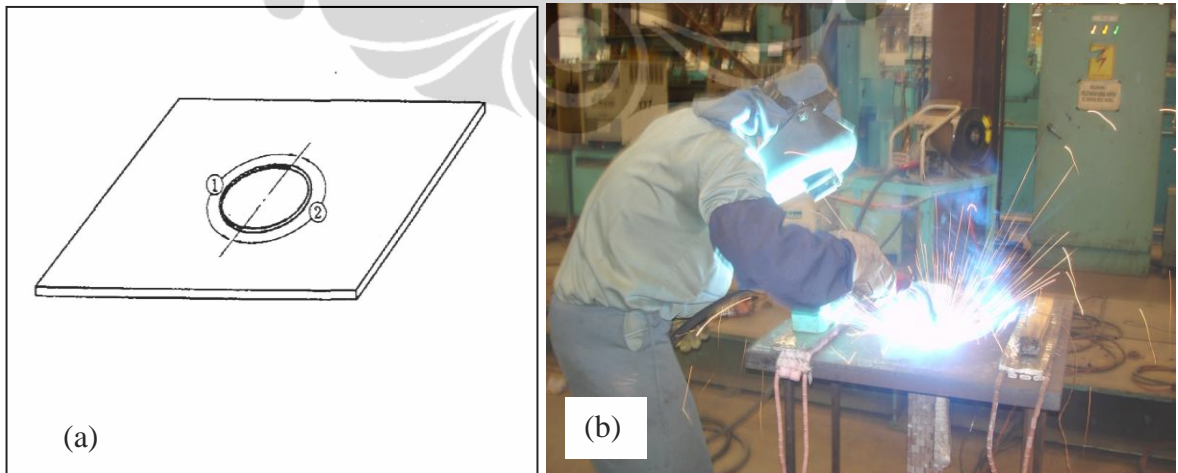
Sebelum dilakukan pengelasan, material pendukung sebagai logam induk dipasang sesuai konstruksinya. Untuk menjamin pemanasan awal yang merata,

ceramic pad heater dipasang pada bagian atas pelat baja HSLA dan bagian tengah *boss* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Persiapan Sebelum Pengelasan

Pengelasan konstruksi bahan dilakukan melingkari bagian *boss* dengan urutan proses pengelasan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7 (a). Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi datar atau dinyatakan dengan kode 1 G dalam kode AWS. Posisi proses pengelasan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.7 (b).



Gambar 3.7 (a) Urutan Proses Pengelasan

(b) Posisi Proses Pengelasan

3.3.2 Parameter Pengelasan

Pada penelitian ini, parameter pengelasan yang digunakan mengacu pada WPS yang sama seperti proses pengelasan yang dilakukan pada *arm excavator*. Hal ini dimaksudkan agar hasil yang dicapai dapat langsung diaplikasikan pada proses pengelasan *arm* tersebut. Namun demikian, terdapat parameter yang diubah yaitu laju pendinginan (*cooling rate*).

Parameter tersebut merupakan variabel yang akan menjadi fokus dalam penelitian ini. Hal ini didasarkan pada hipotesa bahwa laju pendinginan akan berpengaruh besar terhadap terjadinya retak dingin pada hasil pengelasan.

Parameter-parameter pengelasan yang akan digunakan pada penelitian sebagai berikut :

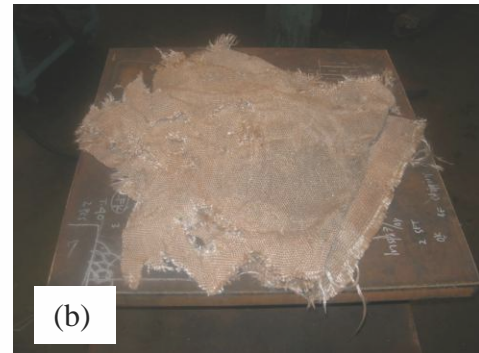
a. Parameter Las Tetap (konstan)

- Arus las : 280 ~ 300 Amper
- Voltase Las : 30 ~ 32 Volt
- *Welding speed* : 3 ~ 5 mm/s
- Temperatur *preheat* : 170 ~ 190° C
- Temperatur *interpass* : 170 ~ 190° C

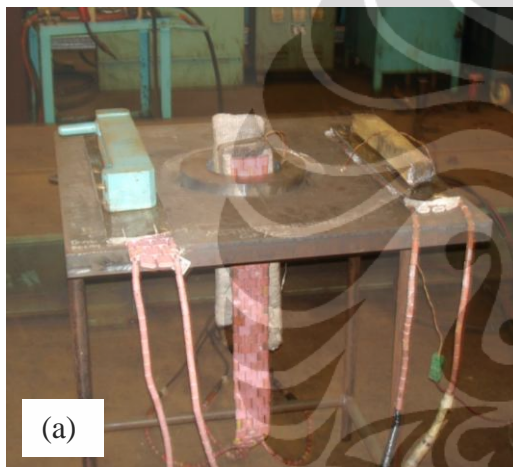
b. Parameter Las Tidak Tetap (variabel)

- Laju pendinginan : 1. didinginkan dengan udara
2. didinginkan dengan ditutup *blanket*
3. didinginkan dengan *heater electric*

Kondisi pengontrolan laju pendinginan dengan menggunakan udara dan menggunakan *blanket* pada saat setelah pengelasan ditunjukkan pada Gambar 3.8(a) dan Gambar 3.8(b). Pengontrolan laju pendinginan dengan menggunakan *heater electric* dilakukan dengan mengatur laju pendinginan pada panel *heater electric* sebelum pengelasan, kondisi pengontrolan dan pengaturan pada panel tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.8 (a) Pengontrolan Laju Pendinginan dengan Udara
(b) Pengontrolan Laju Pendinginan dengan *Blanket*

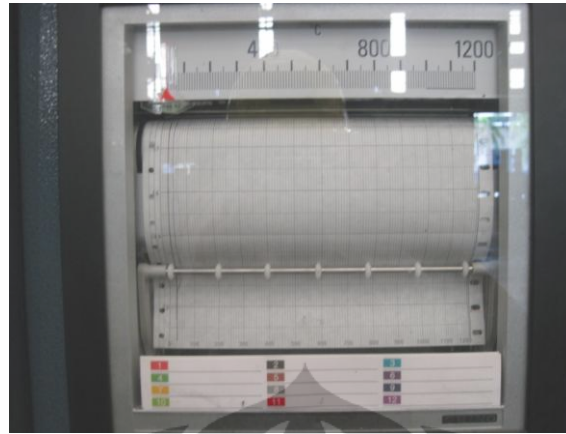


Gambar 3.9 (a) Pengontrolan Laju Pendinginan dengan *Heater Electric*
(b) Pengaturan Laju Pendinginan pada Panel *Heater Electric*

3.4. Pengukuran

Untuk mengetahui laju pendinginan, dilakukan pengukuran temperatur pendinginan terhadap benda uji setelah proses pengelasan selesai. Pengukuran dilakukan dengan dua cara yaitu cara otomatis dan cara manual.

Cara otomatis dilakukan dengan memanfaatkan sensor *termocouple* yang tersambungkan benda kerja dan data *recorder*. Data temperatur pendinginan akan diperoleh dari grafik pada data *recorder*. Cara otomatis ini digunakan pada saat pengontrolan laju pendinginan dengan menggunakan *heater electric*. Data *recorder* ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Data Recorder dari Heater Electric

Cara manual dilakukan dengan menggunakan *infra red temperature gun* yang diarahkan pada benda uji. Cara manual ini digunakan pada saat pengontrolan laju pendinginan dengan udara dan dengan menggunakan *blanket* dimana data recorder tidak berfungsi pada kondisi tersebut. Cara manual ini ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Pengukuran Temperatur dengan Cara Manual

3.5 Pemeriksaan NDT

Setelah proses pengelasan dan pendinginan selesai, benda kerja dibiarkan hingga rentang waktu kurang lebih 24 jam agar dapat mendeteksi terjadinya *delay crack*. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan metoda *non destructive test* (NDT) pada daerah lasan. Metoda pemeriksaan NDT yang digunakan

adalah metoda pemeriksaan *ultrasonic*. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil lasan dan juga mengetahui ada atau tidaknya retakan pada daerah lasan. Proses pemeriksaan NDT dengan menggunakan ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Pemeriksaan dengan Ultrasonik

3.6 Preparasi Spesimen Uji

Setelah pemeriksaan NDT pada hasil lasan, tahap selanjutnya dilakukan preparasi spesimen uji dengan melakukan pemotongan penampang sambungan lasan. Untuk hasil lasan yang mengalami retak, pemotongan penampang dilakukan pada penampang sambungan las yang retak. Spesimen uji yang dipersiapkan meliputi spesimen uji kekerasan, metalografi dan SEM.

Untuk memudahkan dalam pengujian, spesimen yang akan diuji diberi kode yang dibedakan berdasarkan jenis pengontrolan laju pendinginan yang digunakan. Adapun kode spesimen untuk masing-masing media pendinginan ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pengkodean Spesimen Uji

Kode	Kontrol laju pendinginan	<i>Setting Cooling Speed</i>
A	Media pendinginan udara	-
B	Media pendinginan <i>blanket</i>	-
C	Media pendinginan <i>heater 1</i>	0.014°C / s
D	Media pendinginan <i>heater 2</i>	0.007°C / s

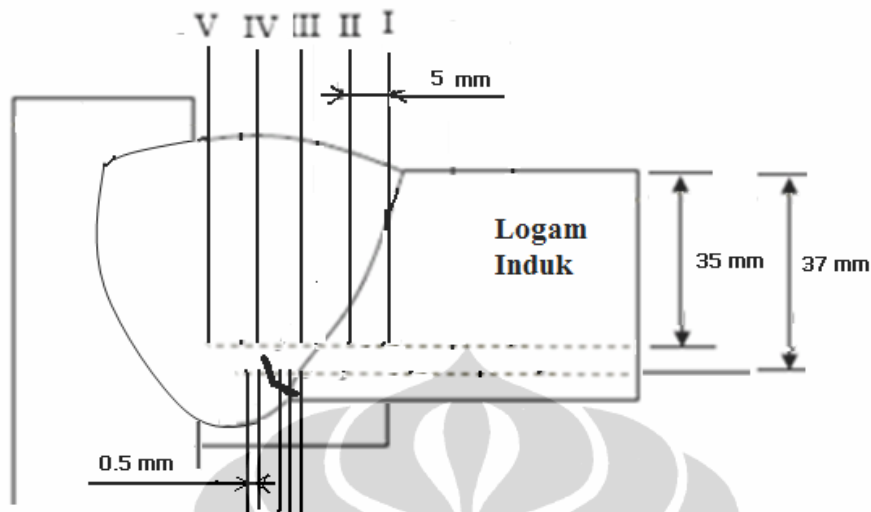
3.7 Pengujian

3.7.1. Pengujian Mekanis

Pengujian mekanis yang digunakan adalah uji kekerasan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin *Vickers Hardness* di Laboratorium di PT X , Jakarta sesuai dengan standar ASTM E-384-99.

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan pada spesimen uji hasil lasan bertujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui distribusi kekerasan di daerah yang tidak mengalami retakan (sekitar 35 mm dari permukaan pelat HSLA) pada lokasi logam dasar, daerah sekitar lasan *HAZ (Heat Affect Zone)* dan logam lasan. Untuk tujuan ini, pengujian dilakukan memanjang dari logam las hingga logam dasar dengan jarak 5 mm. Lokasi titik-titik tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.13.
2. Mengetahui distribusi kekerasan di daerah yang mengalami retakan. Untuk tujuan ini, pengujian dilakukan memanjang di sekitar daerah yang retak dengan jarak antar titik 0.5 mm.



Gambar 3.13. Skematis Gambar Daerah Distribusi Kekerasan yang Diuji

3.7.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terjadi di daerah logam dasar, HAZ dan logam las. Selain itu, untuk mengetahui struktur mikro di sekitar daerah retakan untuk spesimen uji dari hasil lasannya yang mengalami retak.

Pengamatan ini dilakukan di Laboratorium PT X Jakarta. Pengamatan struktur mikro dilakukan sesuai standar ASTM E-3-95 dengan proses sebagai berikut :

(1). Pemotongan Sampel

Pemotongan dilakukan dengan menggunakan gergaji mesin dengan pendinginan air.

(2). Pengampelasan

Pengampelasan dilakukan menggunakan ampelas silikon karbida. Pengampelasan dilakukan secara bertahap mulai dengan ampelas kasar hingga yang halus dengan grit berturut – turut 60, 80, 120, 240, 320, 400, 700, 1000, 1200 dan 1500 sehingga diperoleh permukaan yang rata dan halus. Sampel harus dibersihkan setiap pergantian kertas ampelas untuk mencegah terbawanya *abrasive* yang lebih kasar (*debris* dari sampel).

(3). Pemolesan

Pemolesan dilakukan dengan menggunakan pasta poles alumina untuk mendapatkan permukaan betul – betul rata dan bebas dari goresan. Kecepatan mesin poles sekitar 150 rpm dengan tekanan pada sampel yang sedang.

(4). Proses *Etsa*

Pengetesan dilakukan dengan menggunakan larutan etsa Nital 3%.

(5). Foto

Pengamatan dilakukan dengan pembesaran 50x ~ 200x menggunakan mikroskop optik.

3.7.3. Pengamatan Fraktografi dengan SEM

Pengamatan fraktografi dilakukan dengan SEM pada spesimen uji lasan yang mengalami retak. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui jenis retakan yang terjadi. Selain itu, dari hasil pengamatan ini dapat diketahui proses terjadinya retakan pada daerah lasan. Pengamatan ini akan dilakukan dengan menggunakan fasilitas mesin SEM milik BATAN-BPPT, Serpong.

BAB IV

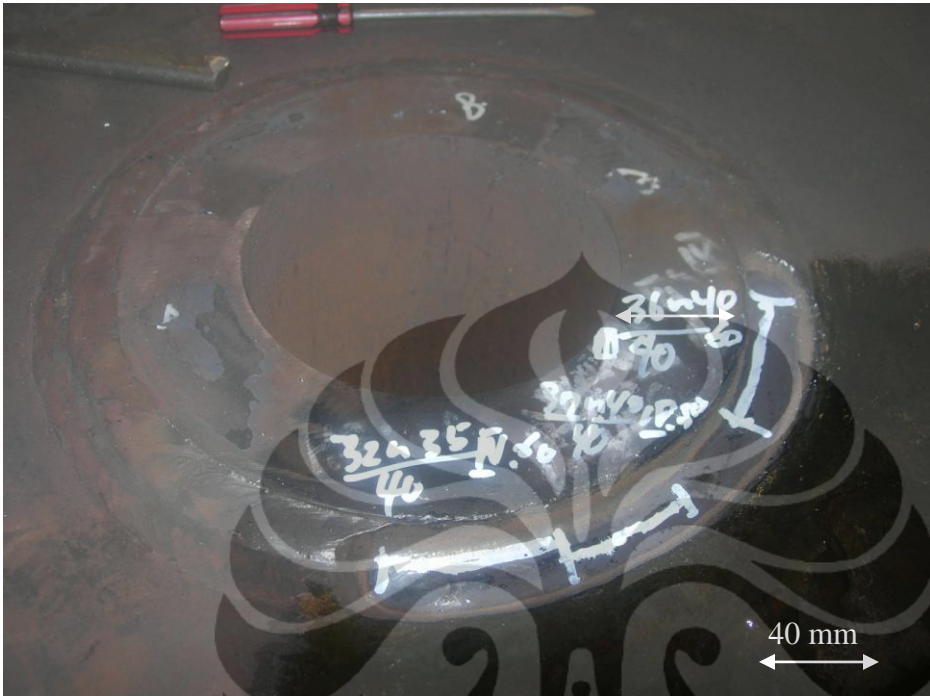
HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Pengukuran Temperatur Pendinginan

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Temperatur Pendinginan

Waktu Menit	Temperatur Pendinginan (°C)			Udara
	<i>Heater 2</i>	<i>Heater 1</i>	<i>Blanket</i>	
0	300	300	300	300
5	265	260	262	264
10	245	232	228	226,5
15	220	215	207,5	195
20	205	200	186,5	168
25	190	195	171,5	150
30	185	188	156	129
35	180	180	140,5	113
40	175	175	130	98
45	170	170	123	96
50	168	165	115	108
55	166	160	107	96
60	164	155	98,5	-
65	162	150	90	-
70	160	145	86,5	-
75	158	140	82,5	-
80	156	135	80	-
85	154	130	-	-
90	152	125	-	-
95	150	120	-	-
100	148	115	-	-
105	146	110	-	-
110	144	105	-	-
115	142	100	-	-
120	140	-	-	-
125	138	-	-	-
130	136	-	-	-
135	134	-	-	-
140	132	-	-	-
145	130	-	-	-
150	128	-	-	-
155	126	-	-	-
160	124	-	-	-
165	122	-	-	-
170	120	-	-	-
175	118	-	-	-
180	116	-	-	-
185	114	-	-	-
190	112	-	-	-
195	110	-	-	-
200	108	-	-	-
205	106	-	-	-
210	104	-	-	-
215	102	-	-	-
220	100	-	-	-

4.2 Hasil Pemeriksaan NDT Menggunakan Ultrasonik



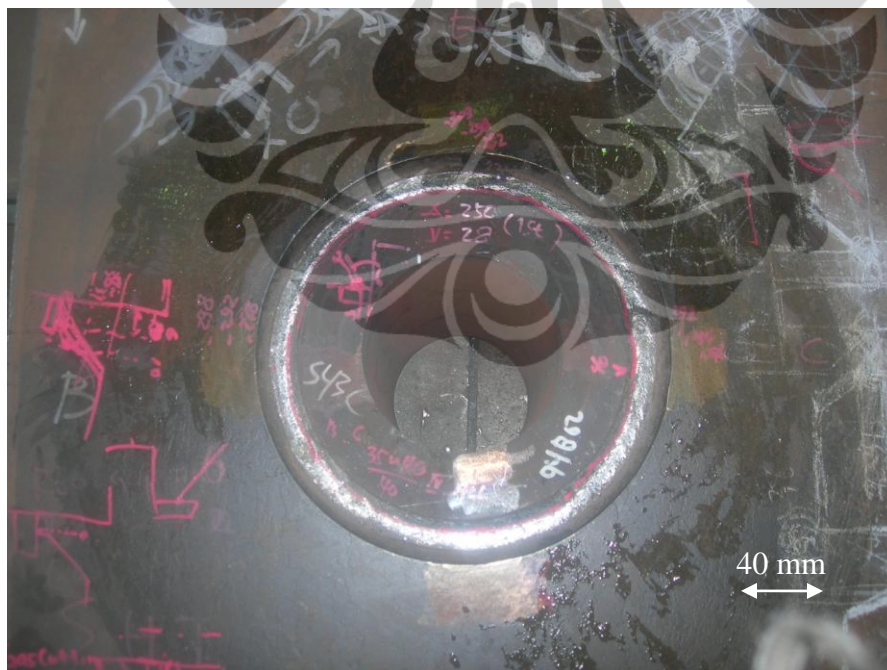
Gambar 4.1 Retak (Garis Putih) Terjadi Untuk Media Pendinginan Udara



Gambar 4.2 Retak (Garis Putih) Terjadi Untuk Media Pendinginan *Blanket*



Gambar 4.3 Tidak Ada Retakan Untuk Media Pendingina *Heater 1*



Gambar 4.4 Tidak Ada Retakan Untuk Media Pendinginan *Heater 2*

4.3 Hasil Pemeriksaan Kekerasan

Tabel 4.2 Kekerasan (Hv) pada Kedalaman 35 mm Pelat Induk

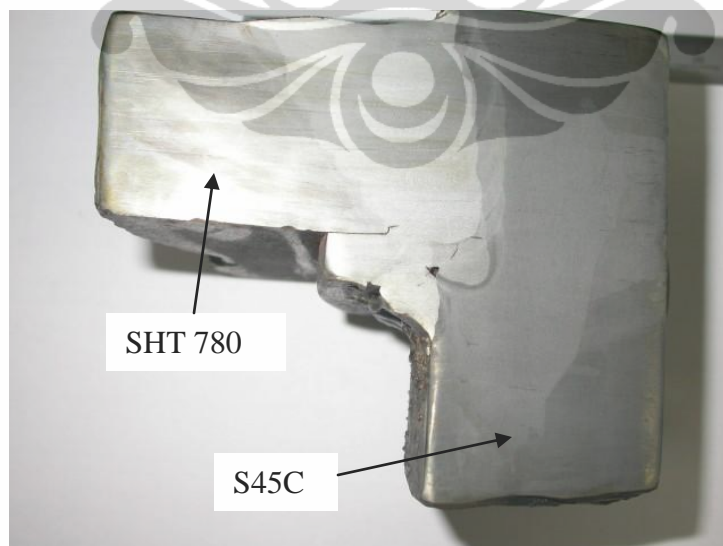
Kode	Media	Jarak dari ujung <i>back plate</i> (mm)				
		0	5	10	15	20
A	Udara	256	191	176	170	161
B	<i>Blanket</i>	250	187	175	166	160
C	<i>Heater 1</i>	252	183	172	164	158
D	<i>Heater 2</i>	250	175	168	160	156

Tabel 4.3 Kekerasan (Hv) pada Kedalaman 37 mm Pelat Induk

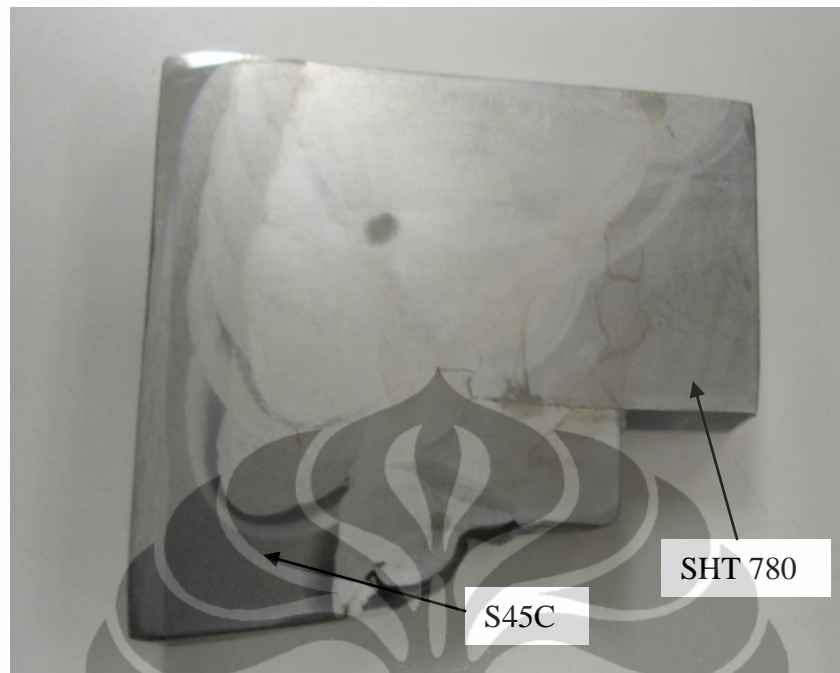
Kode	Media	Jarak dari ujung <i>Black Plate</i> (mm)								
		10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14
A	Udara	178	160	178	177	187	221	197	192	183
B	<i>Blanket</i>	190	214	197	191	184	172	168	164	159
C	<i>Heater 1</i>	162	179	176	172	176	171	164	163	160
D	<i>Heater 2</i>	163	177	171	170	175	171	162	160	158

4.4 Hasil Pengamatan Metalografi

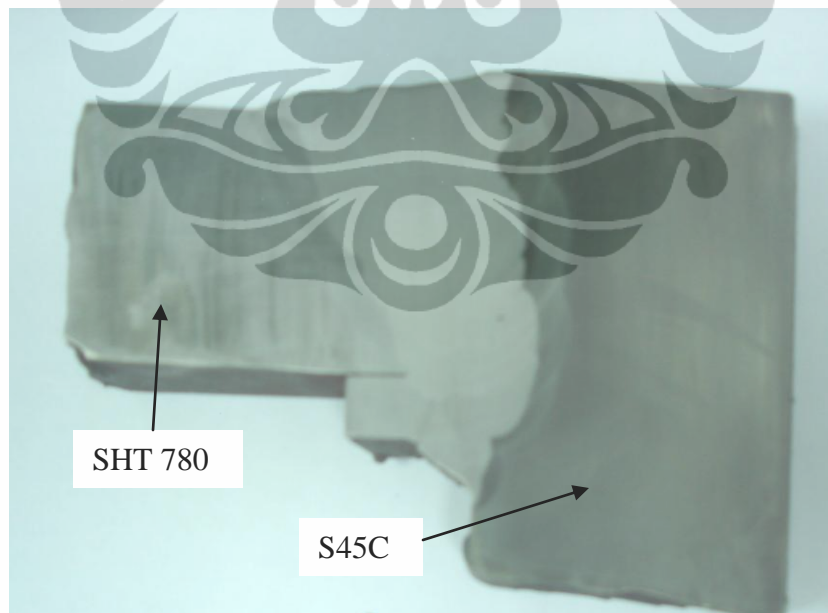
4.4.1 Pengamatan Secara Makro



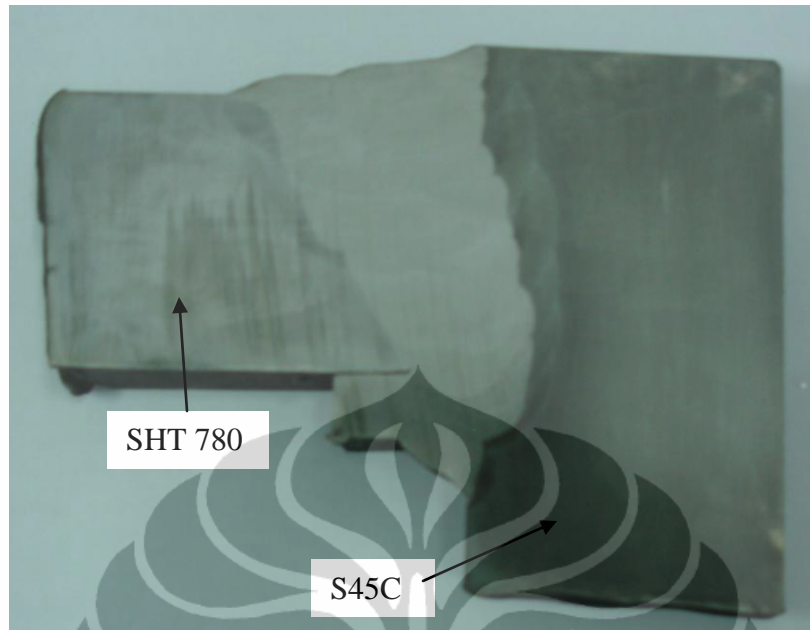
Gambar 4.5 Hasil Lasan Mengalami Retak pada Media Pendinginan Udara



Gambar 4.6 Hasil Lasan Mengalami Retak pada Media Pendinginan *Blanket*

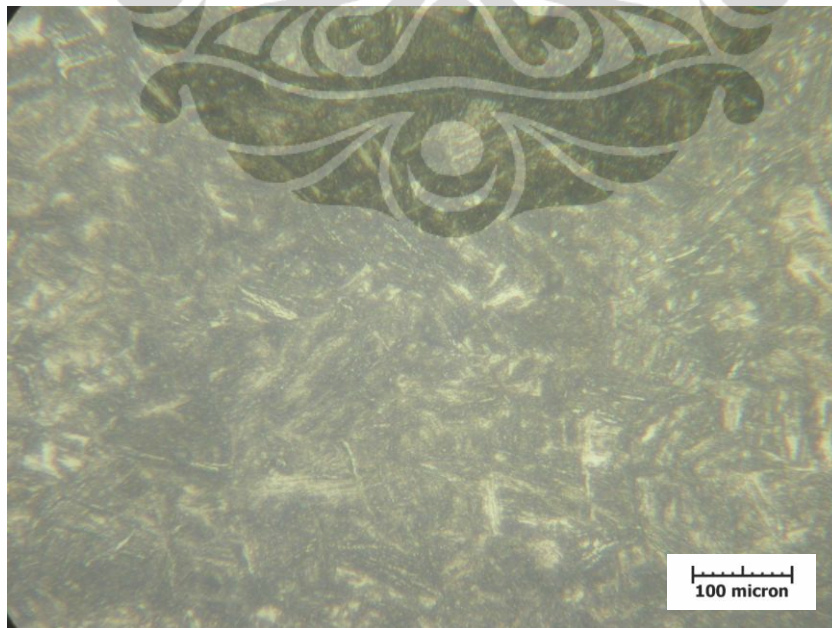


Gambar 4.7 Hasil Lasan Tidak Mengalami Retak pada Media Pendinginan *Heater 1*

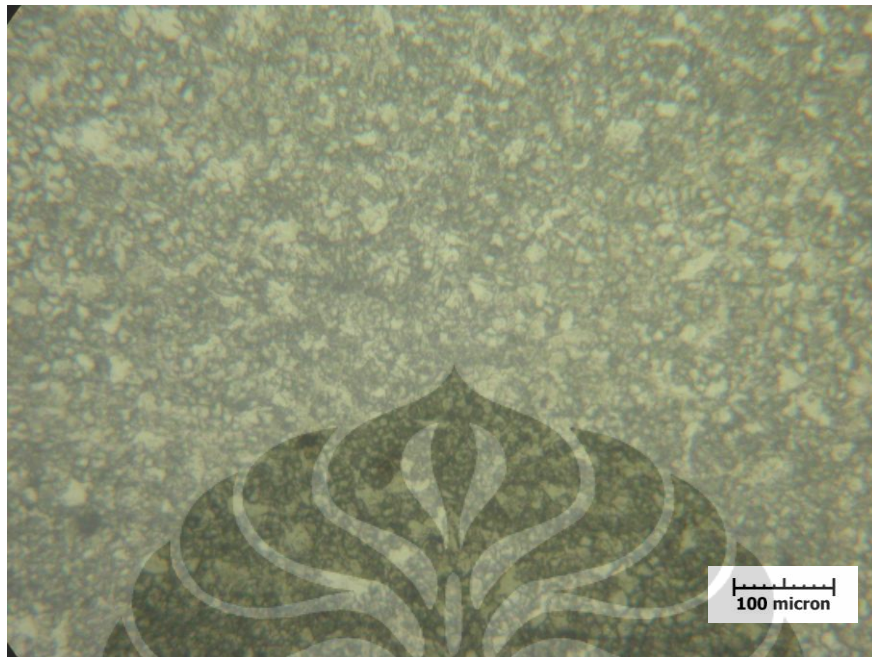


Gambar 4.8 Hasil Lasan Tidak Mengalami Retak pada Media Pendinginan *Heater 2*

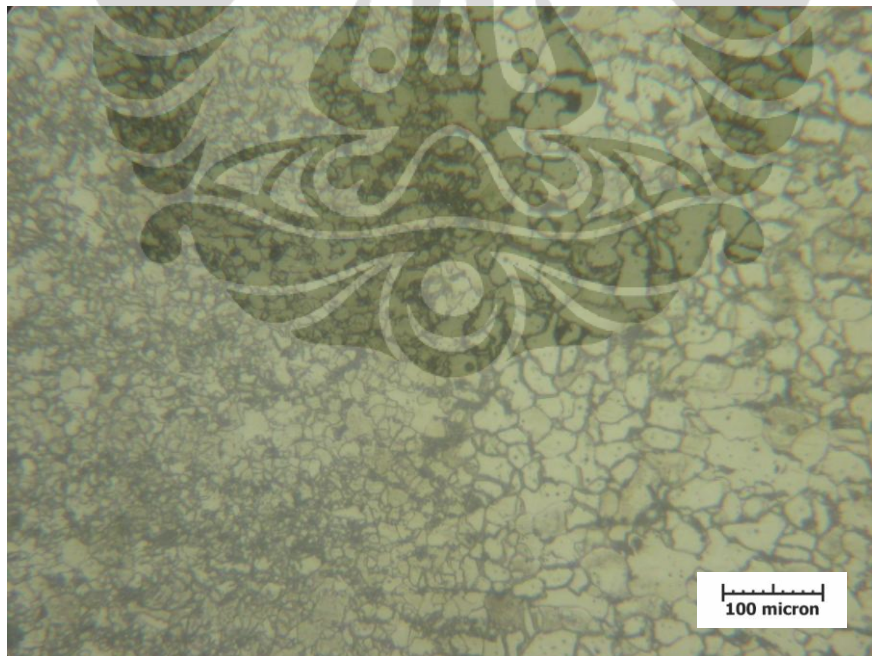
4.4.2 Pengamatan Secara Mikro



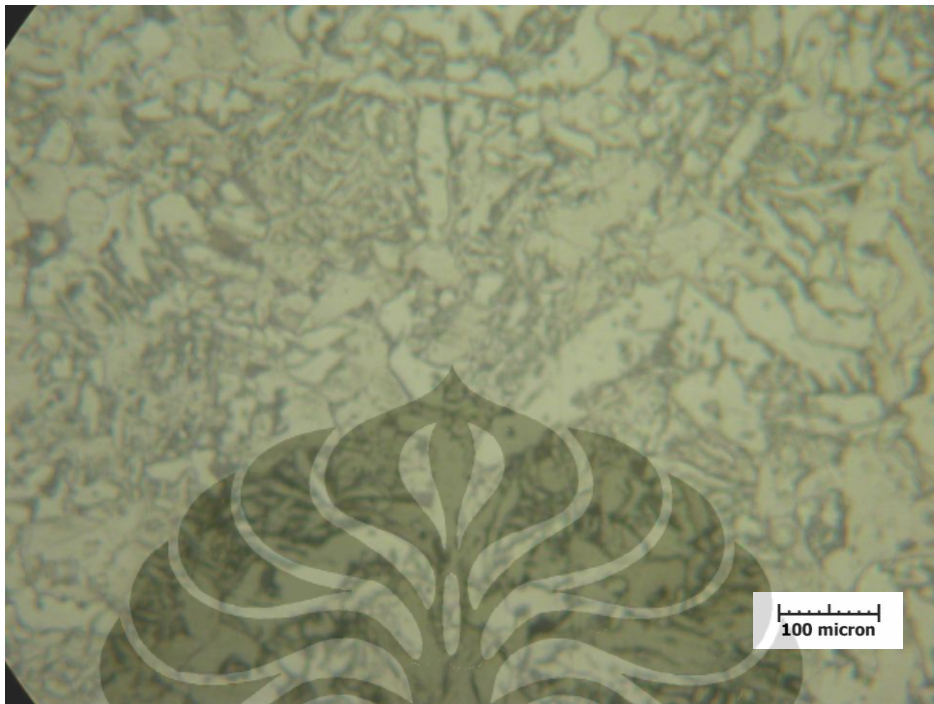
Gambar 4.9 Struktur Mikro Logam Induk, SHT 780
Perbesaran 200X



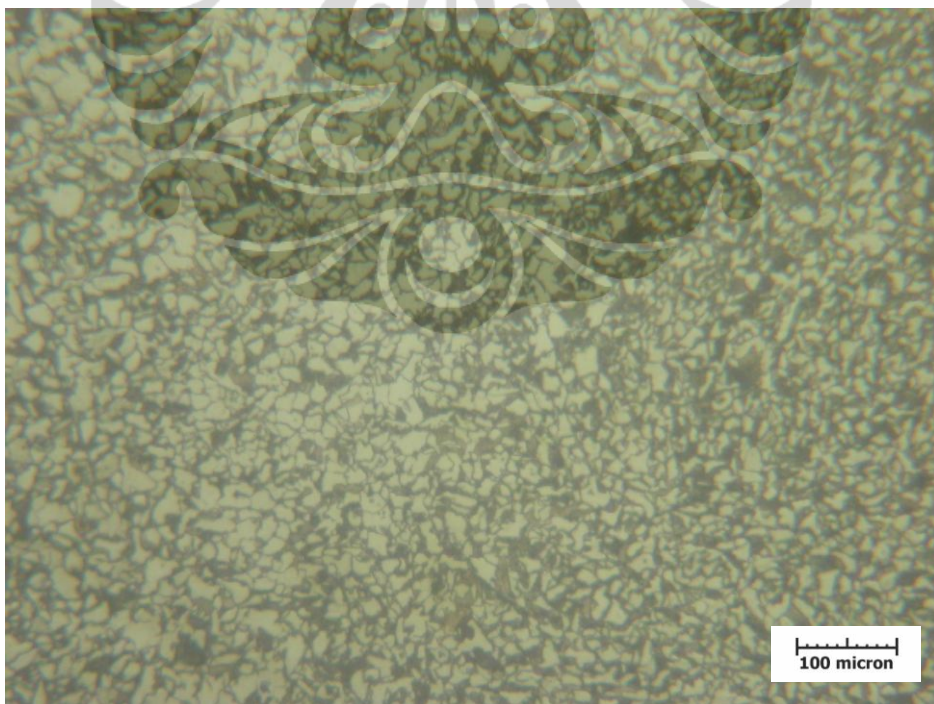
Gambar 4.10 Struktur Mikro Daerah HAZ, Perbesaran 200X



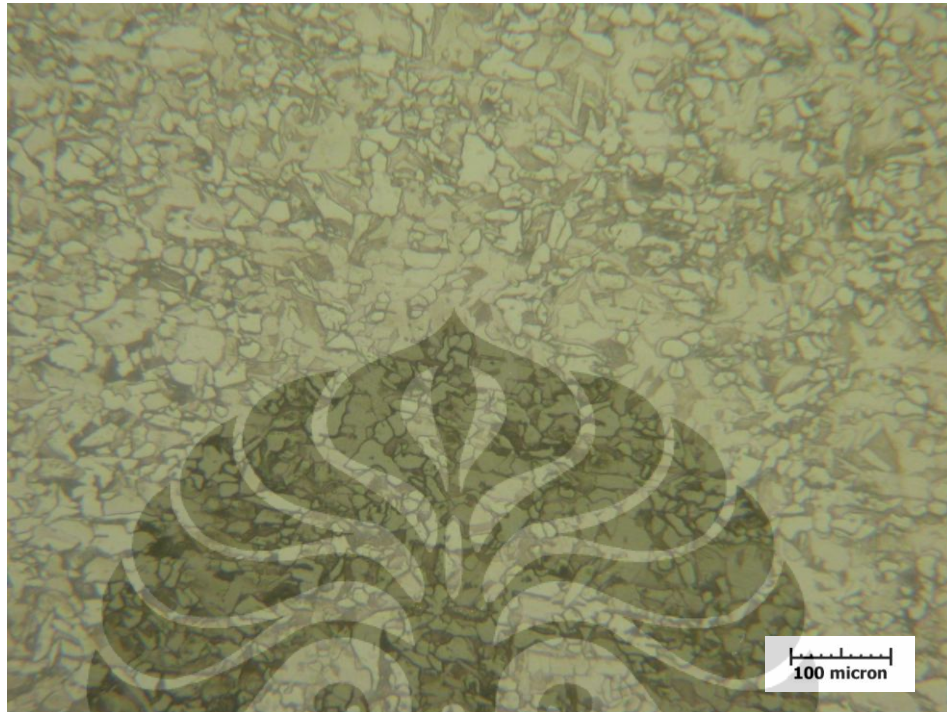
Gambar 4.11 Struktur Mikro Daerah *Fusion Line*, Perbesaran 200X



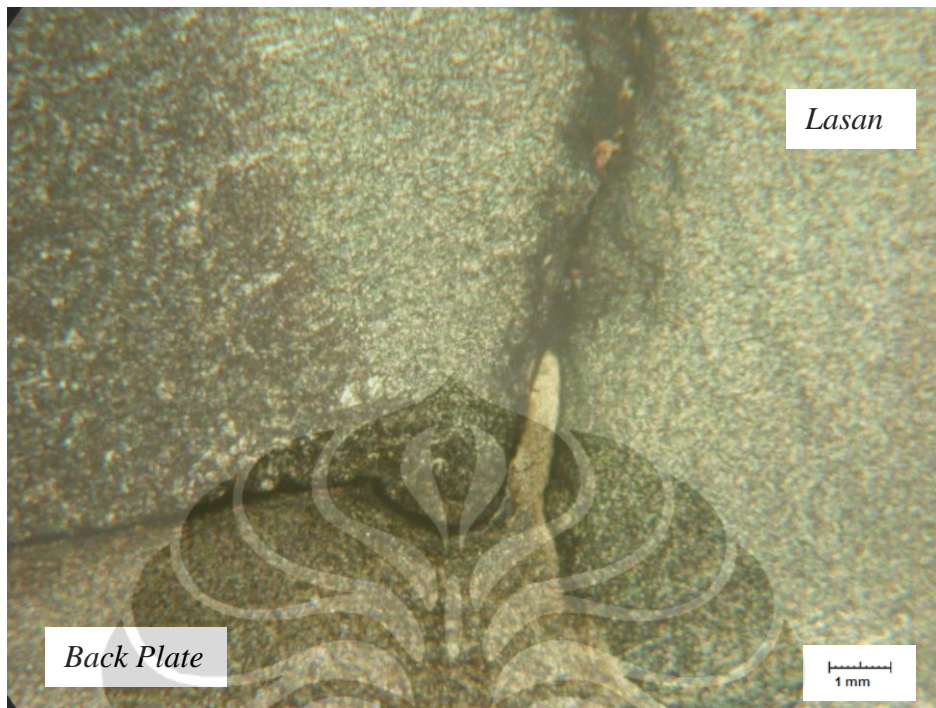
Gambar 4.12 Struktur Mikro Daerah Logam Las, Perbesaran 200X



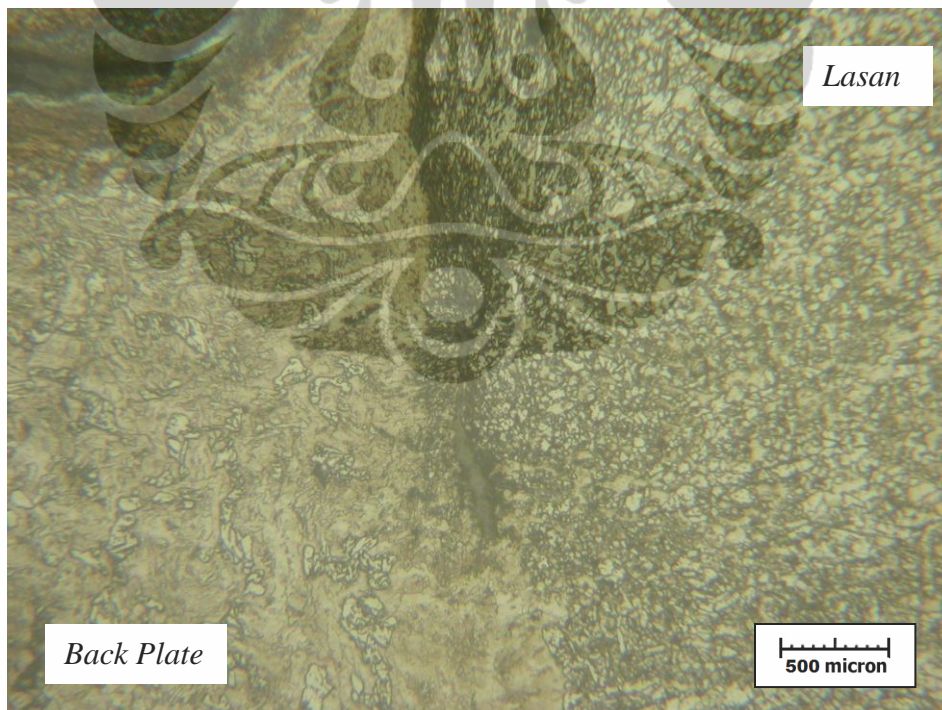
Gambar 4.13 Struktur Mikro Daerah Logam Induk, S45C
Perbesaran 200X



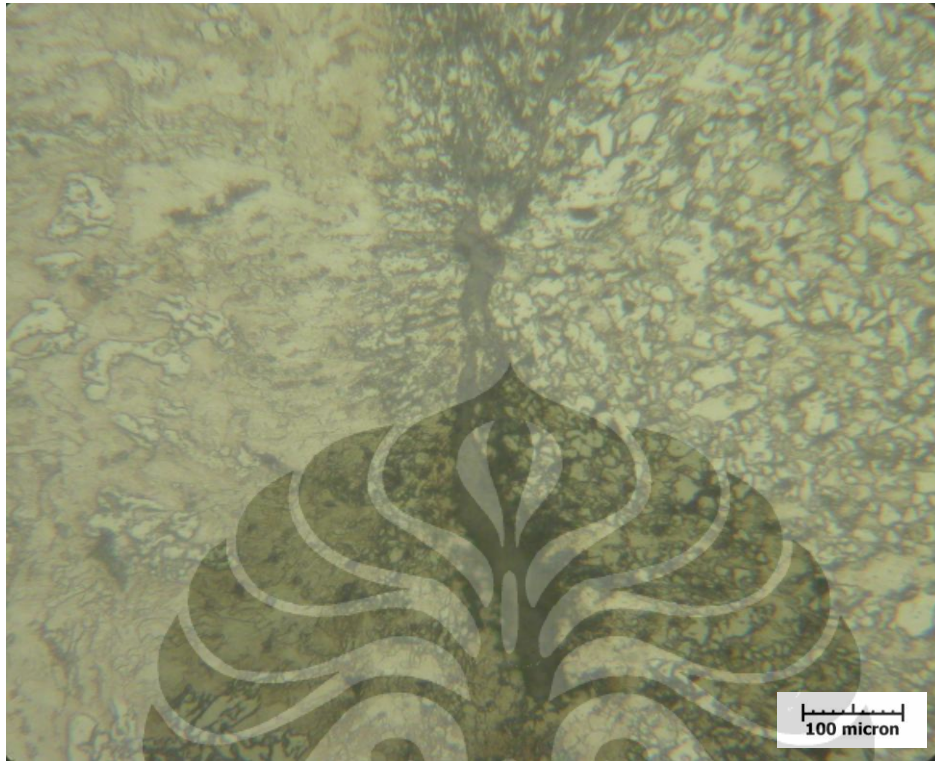
Gambar 4.13 Struktur Mikro Daerah *Back Plate*, SS400
Perbesaran 200X



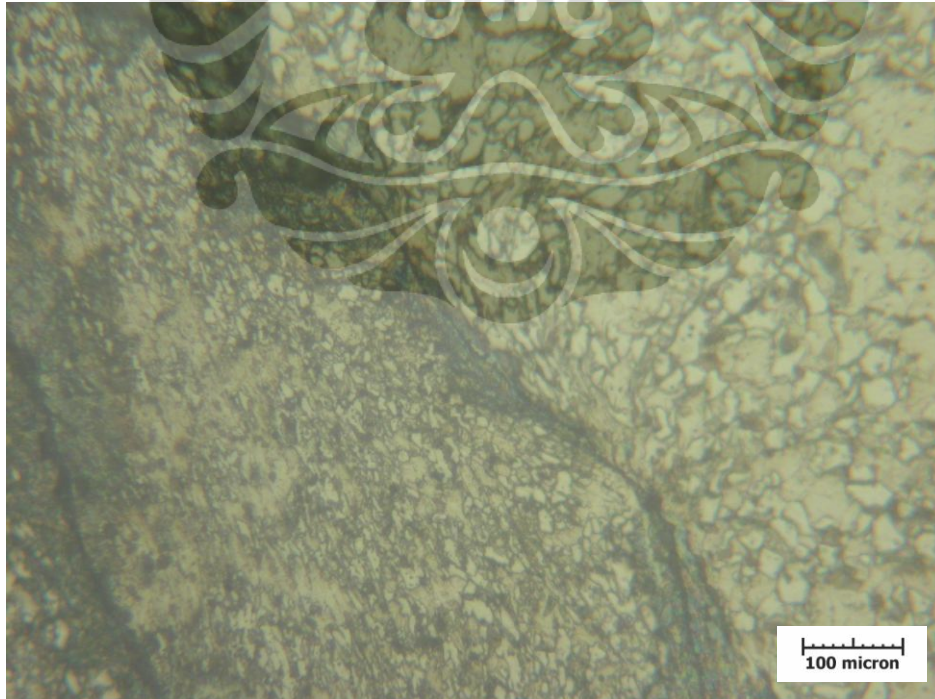
Gambar 4.14 Struktur Makro Retak di Daerah *Fusion Line*, Perbesaran 50 X



Gambar 4.15 Struktur Mikro Retak di Daerah *Fusion Line*, Perbesaran 100 X

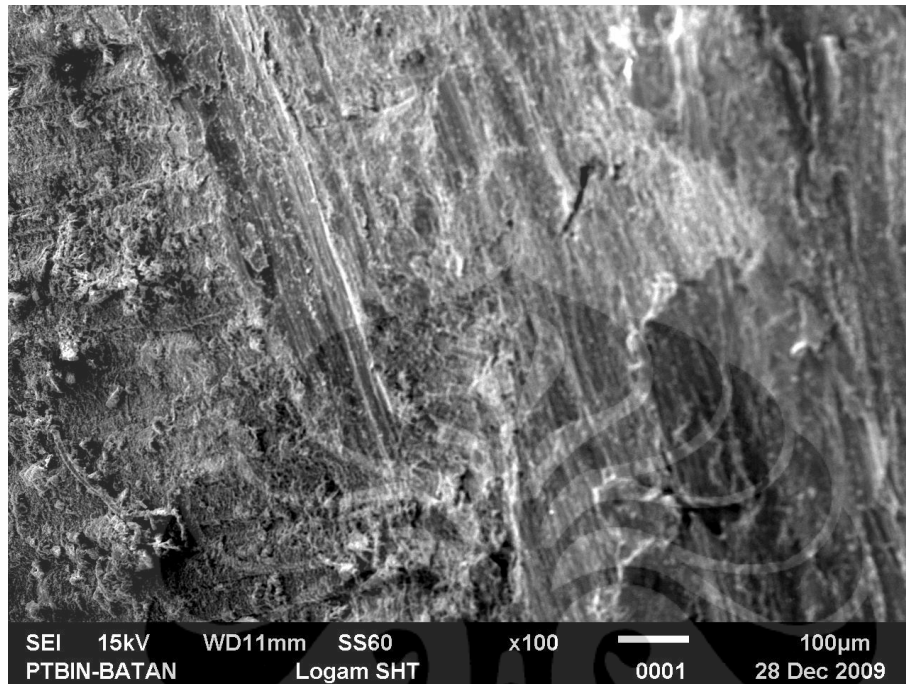


Gambar 4.16 Struktur Mikro Retak di Daerah *Fusion Line*, Perbesaran 200 X

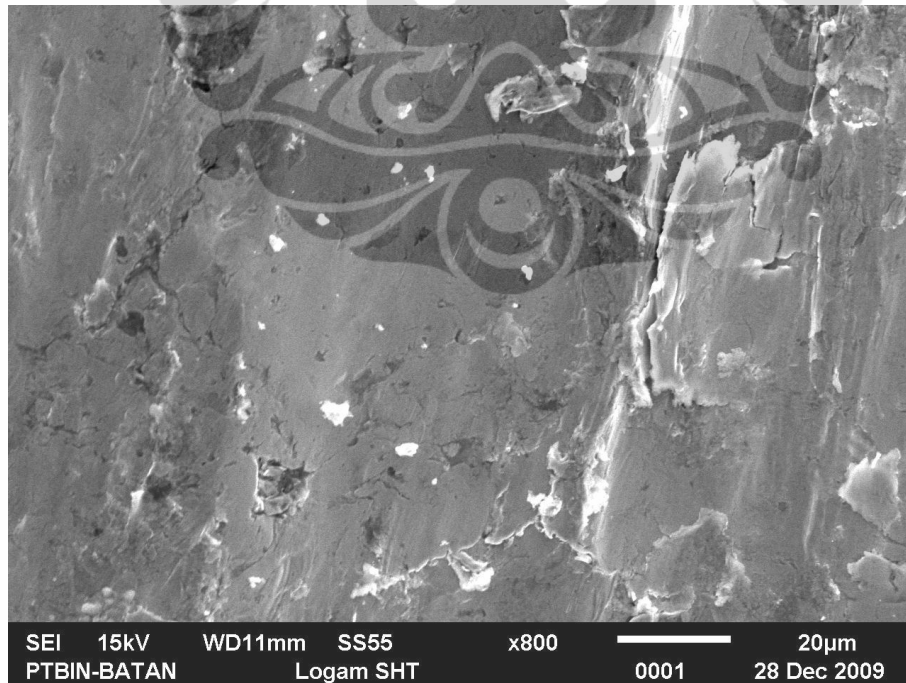


Gambar 4.17 Struktur Mikro Retak di Logam Las, Perbesaran 200 X

4.5 Hasil Pengamatan Fraktografi Menggunakan SEM



Gambar 4.18 Permukaan Patahan dari Daerah Retak, Menunjukkan *Brittle Fracture*



Gambar 4.19 Permukaan Patahan dari Daerah Retak, Menunjukkan *Brittle Fracture*