

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
INTISARI	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Klasifikasi cacat pada pipa	12
3.1.1 Cacat <i>metal loss</i>	13
3.2 <i>Weld-deposition</i>	15
3.3 <i>Burn-through</i>	18
3.4 Perambatan panas pada pengelasan	19
3.4.1 Konduksi	19
3.4.2 Difusivitas	20
3.4.3 Konveksi	21
3.4.4 Radiasi`	22
3.5 Sumber panas pengelasan	23
3.5.1 Jenis sumber panas pengelasan	23

3.5.2	Busur elektrik sebagai sumber panas pengelasan	25
3.5.3	Pelelehan elektroda	29
3.5.4	Fusi pada material induk	29
3.5.5	Pergerakan sumber panas pengelasan	32
3.6	Mikrostruktur baja	37
3.6.1	Daerah pengelasan	37
3.6.2	Siklus termal	38
3.6.3	Kecepatan pendinginan (<i>cooling rate</i>)	40
3.6.4	Perubahan struktur mikro pada las	43
3.7	Hubungan antara $\Delta t_{8/5}$ dengan tingkat kekerasan material	46
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		48
4.1	Metode dan Alur Penelitian	48
4.1.1	Perancangan konfigurasi spesimen pengujian`	50
4.1.2	Uji tarik dan uji komposisi material pipa	50
4.1.2.1	Uji tarik pipa	51
4.1.2.2	Uji komposisi pipa	52
4.1.3	Pengamatan struktur mikro material pipa	52
4.1.4	Persiapan alat dan bahan	54
4.1.5	Pengujian pengelasan spesimen uji	55
4.1.6	Uji kekerasan hasil pengelasan	57
4.1.7	Pengambilan data dan pengolahan data	57
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		58
5.1	Spesifikasi Logam Induk	58
5.1.1	Uji tarik logam induk `	58
5.1.2	Uji komposisi logam induk	59
5.1.3	Komposisi kawat las	59
5.2	Distribusi Temperatur	60
5.2.1	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 5 lpm `	60
5.2.2	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 20 lpm	63
5.3	Struktur Makro ,Struktur Mikro dan Uji Kekerasan	66
5.3.1	Struktur makro dan mikro kecepatan pengelasan 10 mm/s `	66

5.3.2	Struktur makro dan mikro kecepatan pengelasan 6 mm/s	71
5.3.3	Struktur makro dan mikro kecepatan pengelasan 0,5 mm/s	76
5.3.4	Kekerasan hasil pengelasan	81
5.4	Batas <i>Heat input</i> Maksimal dan Minimal	82
BAB VI PENUTUP		83
6.1	Kesimpulan	83
6.2	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA		85
LAMPIRAN		88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Berbagai macam cacat pada pipa	13
Gambar 3.2.	Ilustrasi tipikal tahapan <i>weld-deposition</i>	17
Gambar 3.3.	Ilustrasi Skematik <i>burn-through</i> yang disebabkan karena pemanasan lokal dan tekanan dalam pipa	18
Gambar 3.4.	Perbandingan densitas q^* sumber panas pengelasan busur dan <i>torch</i> pada permukaan plat selama proses pengelasan dengan <i>net output</i> panas yang sama q	25
Gambar 3.5.	Disipasi panas pada pengelasan busur dengan beragam elektoda	27
Gambar 3.6.	Densitas sumber panas q^* pada busur yang bergerak yang dipengaruhi oleh kuat arus I dan voltase U	28
Gambar 3.7.	Densitas sumber panas q^* pada beragam penggunaan elektroda	28
Gambar 3.8.	Bentuk <i>weld-pool</i> pada pengelasan busur	30
Gambar 3.9.	Bentuk <i>weld-pool</i> pada (a) kecepatan rendah (b) kecepatan tinggi	32
Gambar 3.10.	Distribusi temperatur pada sumber panas yang bergerak	36
Gambar 3.11.	Daerah pengelasan	38
Gambar 3.12.	Siklus termal las pada beberapa jarak terhadap pusat las	39
Gambar 3.13.	Zona struktur mikro daerah lasan	40
Gambar 3.14.	Diagram <i>Continuous Cooling Transformation</i> (CCT) baja karbon rendah	42
Gambar 3.15.	Diagram <i>Time – Temperature Transformation</i>	44
Gambar 3.16.	Jenis Struktur mikro pada logam las baja karbon rendah	45
Gambar 4.1.	Diagram alir metode dan alur penelitian	49
Gambar 4.2.	Konfigurasi spesimen pengujian	50
Gambar 4.3.	Bentuk spesimen uji tarik	51
Gambar 4.4.	Ilustrasi pengkondisian ketebalan material pipa	54
Gambar 4.5.	Ilustrasi penempatan indikator suhu	55
Gambar 4.6.	Titik pengambilan uji kekerasan	57

Gambar 5.1.	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 5 lpm dan kecepatan pengelasan 10 mm/s	61
Gambar 5.2.	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 5 lpm dan kecepatan pengelasan 6 mm/s	61
Gambar 5.3.	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 5 lpm dan kecepatan pengelasan 0,5 mm/s	62
Gambar 5.4.	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 20 lpm dan kecepatan pengelasan 10 mm/s	64
Gambar 5.5.	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 20 lpm dan kecepatan pengelasan 6 mm/s	64
Gambar 5.6.	Distribusi temperatur pada laju volume aliran 20 lpm dan kecepatan pengelasan 0,5 mm/s	65
Gambar 5.7.	Foto hasil pengelasan dengan kecepatan 10 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm	67
Gambar 5.8.	Foto makro hasil pengelasan dengan kecepatan 10 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm	69
Gambar 5.9.	Struktur mikro logam las hasil pengelasan dengan kecepatan 10 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	70
Gambar 5.10.	Struktur mikro HAZ hasil pengelasan dengan kecepatan 10 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	70
Gambar 5.11.	Struktur mikro material induk hasil pengelasan dengan kecepatan 10 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	71
Gambar 5.12.	Foto hasil pengelasan dengan kecepatan 6 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm	72
Gambar 5.13.	Foto makro hasil pengelasan dengan kecepatan 6 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm	74
Gambar 5.14.	Struktur mikro logam las hasil pengelasan dengan kecepatan 6 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	75
Gambar 5.15.	Struktur mikro HAZ hasil pengelasan dengan kecepatan 6 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	75
Gambar 5.16.	Struktur mikro material induk hasil pengelasan dengan kecepatan 6 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	76

Gambar 5.17.	Foto hasil pengelasan dengan kecepatan 0,5 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm	77
Gambar 5.18.	Foto makro hasil pengelasan dengan kecepatan 0,5 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm	79
Gambar 5.19.	Struktur mikro logam las hasil pengelasan dengan kecepatan 0,5 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	79
Gambar 5.20.	Struktur mikro HAZ hasil pengelasan dengan kecepatan 0,5 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	80
Gambar 5.21.	Struktur mikro material induk hasil pengelasan dengan kecepatan 0,5 mm/s pada laju volume aliran fluida 5 lpm (perbesaran 200x)	80
Gambar 5.22.	Hasil uji kekerasan pada variasi <i>heat input</i> 0,192 kJ/mm, 0,32 kJ/mm, dan 3,84 kJ/mm	81

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Dimensi Spesimen Uji Tarik	51
Tabel 4.2. Dimensi Spesimen Uji	55
Tabel 4.3. Parameter Pengujian	56
Tabel 5.1. Perhitungan Kekuatan Luluh dan Patah Material	58
Tabel 5.2. Hasil Pengujian Komposisi Material Logam Induk	59
Tabel 5.3. Komposisi Elektroda E71T-11	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Dokumentasi Uji Tarik	88
Lampiran 2: API 5L Grade B (API, 2004)	89
Lampiran 3: Dimensi Pipa (American Petroleum Industry, 2007)	90

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CE	= <i>carbon equivalent</i> (%)
c_p	= panas spesifik (J/kg.K)
D	= diameter pipa (m)
dT/dt	= laju pendinginan/cooling rate ($^{\circ}\text{C/s}$)
e	= bilangan natural/ bilangan Euler (2,71828)
f	= faktor gesekan (<i>friction factor</i>)
h_c	= perpindahan panas konveksi (J/mm ² .s.K)
H_v	= <i>Vickers Hardness Number</i> (VHN)
I	= kuat arus listrik (ampere/A)
k	= konduktivitas termal (J/mm.s.K)
kJ	= kilo Joule (satuan energi)
lpm	= liter per menit
\dot{m}	= laju alir massa (kg/s)
Nu	= bilangan Nusselt
P	= <i>Pressure</i> /tekanan (Pa)
Pr	= bilangan Prandtl
q	= <i>heat input</i> per satuan waktu (J/s)
Q	= debit alir fluida (liter per menit)
\dot{Q}	= laju perpindahan panas fluida (J/s)
q_w	= <i>heat input</i> per satuan panjang lasan (J/mm)
R	= tahanan listrik (ohm)

Re	= bilangan Reynolds
s	= detik (satuan waktu)
t	= waktu (s)
T	= temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
V	= tegangan listrik/voltase (volt/V)
v	= kecepatan pengelasan (mm/s)
VHN	= <i>Vickers Hardness Number</i>
α	= difusivitas termal (mm^2/s)
$\Delta t_{8/5}$	= penurunan temperatur dari suhu 800°C menjadi 500°C (s)
ε	= koefisien radiasi, $5,67 \times 10^{-14} \text{ (J/mm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4)$
ε	= kekasaran (mm)
η	= efisiensi panas (%)
μ	= viskositas dinamis fluida ($\text{N} \cdot \text{s/m}^2$)
ρ	= massa jenis (kg/mm^3)
ϑ	= viskositas kinematis fluida (m^2/s)