

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
INTISARI	xx
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB III	13
DASAR TEORI	13
3.1 Pengelasan	13
3.1.1 Pengertian Pengelasan	13
3.1.2 Jenis-jenis Pengelasan	13
3.1.3 Arus Pengelasan	18
3.1.4 Pemilihan Elektroda	18
3.1.5 Parameter Las	19

3.1.6	Hal-hal yang Mempengaruhi Hasil Lasan	20
3.1.7	Pemilihan Bahan.....	22
3.1.8	Prosedur Pengelasan	22
3.1.9	Biaya	23
3.1.10	Siklus Termal Daerah Las	24
3.1.11	Pembekuan dan Struktur Logam Las.....	24
3.1.12	Diagram Fe-Cr.....	25
3.1.13	Reaksi Metalurgi yang Terjadi Dalam Pembekuan.....	26
3.1.14	Struktur Mikro Pengelasan.....	29
3.1.15	Konsentrasi Tegangan.....	30
3.1.16	Tegangan Sisa.....	30
3.2	Pengelasan Baja <i>Chromium-Molybdenum</i> Pada Pipa dan <i>Tube</i>	32
3.2.1	Lingkup Pengelasan.....	32
3.2.2	Logam induk	32
3.2.3	Logam Pengisi	33
3.2.4	Cincin Pendukung dan Sisipan.....	35
3.2.5	Aplikasi Logam Pengisi	36
3.2.6	Bentuk Sambungan dan Persiapan	37
3.2.7	Pembersihan Sebelum Pengelasan.....	38
3.2.8	Pembersihan Selama Pengelasan.....	38
3.2.9	Paku Pengelasan	39
3.2.10	Pengelasan dengan GTAW Tanpa Sisipan	39
3.2.11	Pengelasan dengan SMAW.....	40
3.3	<i>Preheating, Interpass Heating dan Post Welding Heat Treatment</i>	41
3.3.1	Tujuan Perlakuan Panas	41
3.3.2	Pengertian Post Welding Heat Treatment (PWHT)	42
3.3.3	Prosedur Post Welding Heat Treatment (PWHT) Secara Umum	42
3.3.4	Pengukuran Suhu.....	47
3.3.5	Siklus Termal dan Lebar Pembalut	48
3.3.6	Pengontrolan Panas yang Hilang Selama PWHT	48
3.3.7	Penyangga Pipa Selama PWHT.	48

3.4	<i>Destructive Test</i>	49
3.4.1	Uji Tarik.....	49
3.4.2	Tegangan Tarik.....	50
3.4.3	Mengapa melakukan Uji Tarik?	50
3.4.4	Hukum Hooke	51
3.4.5	Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam.....	54
3.4.6	Tegangan Luluh Pada Data Tanpa Batas Jelas.....	57
3.4.7	Uji Kekerasan	58
3.4.8	Vickers	59
3.4.9	Struktur Mikro	61
BAB IV		63
METODOLOGI PENELITIAN		63
4.1	Alat dan Bahan Penelitian.....	63
4.2	Proses Penelitian.....	64
4.2.1	Tahap Penyediaan.....	64
4.2.2	Proses Pengelasan.....	64
4.2.3	Pembentukan dan Pembagian Spesimen.....	68
4.2.4	Proses PWHT	68
4.2.5	Pengujian Tarik	70
4.2.6	Tahap Pengujian Struktur Mikro	71
4.2.7	Tahap Pengujian Kekerasan.....	72
4.2.8	Tahap Pengolahan Data	74
BAB V		76
ANALISIS DATA		76
5.1	Uji Komposisi.....	76
5.2	Uji Tarik.....	76
5.2.1	Kontraksi	80
5.2.2	Regangan.....	83
5.2.3	Tegangan Luluh.....	86
5.2.4	Tegangan Maksimum	89
5.2.4	Modulus Elastisitas	92

5.3	Uji Kekerasan	95
5.4	Struktur Mikro	116
BAB VI		119
PEMBAHASAN		119
6.1	Uji Komposisi	119
6.2	Uji Tarik	120
6.3	Uji Kekerasan	125
6.4	Struktur Mikro	132
6.4.1	Logam Las	132
6.4.2	HAZ	134
6.4.3	Logam Induk	136
BAB VII		135
KESIMPULAN DAN SARAN		135
7.1	Kesimpulan	138
7.2	Saran	138
DAFTAR PUSTAKA		xxi
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Post heat applied immediately after last pass</i>	6
Gambar 2.2	<i>Criteria for hydrogen</i>	6
Gambar 2.3	12" NB Carbon Steel 1	9
Gambar 2.4	12" NB Carbon Steel 2	9
Gambar 2.5	<i>Phenix Aluminium Frame</i>	10
Gambar 2.6	SS. 316 Pipe	11
Gambar 2.7	Seal Disk.	12
Gambar 3.1	Diagram Fe-Cr	25
Gambar 3.2	Diagram Fe-Cr 2	26
Gambar 3.3	Diagram CCT pada pengelasan baja kekuatan BJ 55	28
Gambar 3.4	Bentuk alur akar	39
Gambar 3.5	Peralatan PWHT <i>Portable</i>	42
Gambar 3.6	Lebar pembalut yang dianjurkan untuk PWHT	43
Gambar 3.7	Pertambahan panjang	49
Gambar 3.8	Kurva uji tarik dan spesimennya	50
Gambar 3.9	Kurva tegangan-regangan	52
Gambar 3.10	Spesimen uji	54
Gambar 3.11	Profil data hasil uji tarik.	55
Gambar 3.12	Tegangan luluh (<i>yield stress</i>) untuk kurva tanpa daerah linier	57
Gambar 3.13	Uji kekerasan Vickers	60
Gambar 3.14	Indentasi setelah uji Vickers	61
Gambar 4.1	Alur V untuk Pengelasan Pipa	65
Gambar 4.2	Arah dan bentuk gerakan elektroda	66
Gambar 4.3	Logam A335 P9 setelah pengelasan 1	67
Gambar 4.4	Logam A335 P9 setelah pengelasan 2	68
Gambar 4.5	Pembagian spesimen	68
Gambar 4.6	Grafik <i>Post Welding Heat Treatment</i>	69
Gambar 4.7	Mesin Uji Tarik	70

Gambar 4.8	Spesimen Uji Tarik	70
Gambar 4.9	Spesimen uji tarik A dan B	71
Gambar 4.10	Spesimen struktur mikro dan uji kekerasan	72
Gambar 4.11	Alat uji kekerasan.	73
Gambar 5.1	Bentuk patahan spesimen A	78
Gambar 5.2	Grafik hasil uji tarik tanpa PWHT	78
Gambar 5.3	Bentuk patahan spesimen B	79
Gambar 5.4	Grafik hasil uji tarik setelah PWHT	79
Gambar 5.5	Bagian pada spesimen	95
Gambar 5.6	Pembagian spesimen	95
Gambar 5.7	Penentuan d1 dan d2.	96
Gambar 5.8	Struktur mikro spesimen A	117
Gambar 5.9	Struktur mikro spesimen B	118
Gambar 6.1	Daerah pengujian komposisi	119
Gambar 6.2	Grafik Tegangan luluh spesimen A dan B	122
Gambar 6.3	Grafik tegangan maksimum spesimen A dan B.....	122
Gambar 6.4	Grafik regangan spesimen A dan B	123
Gambar 6.5	Perbandingan angka kekerasan spesimen 0° A dan B	125
Gambar 6.6	Grafik nilai kekerasan spesimen 0° A dan B	125
Gambar 6.7	Perbandingan angka kekerasan spesimen 90° A dan B	126
Gambar 6.8	Grafik nilai kekerasan spesimen 90° A dan B	126
Gambar 6.9	Perbandingan angka kekerasan spesimen 180° A dan B	127
Gambar 6.10	Grafik nilai kekerasan spesimen 180° A dan B	127
Gambar 6.11	Perbandingan angka kekerasan spesimen 270° A dan B	128
Gambar 6.12	Grafik nilai kekerasan spesimen 270° A dan B	128
Gambar 6.13	Perbandingan angka kekerasan spesimen A dan B	129
Gambar 6.14	Grafik kekerasan spesimen A dan B	130
Gambar 6.15	Struktur mikro logam las spesimen A	132
Gambar 6.16	Struktur mikro logam las spesimen B	132
Gambar 6.17	Struktur mikro daerah HAZ spesimen A	134
Gambar 6.18	Struktur mikro daerah HAZ spesimen B.....	134

Gambar 6.19	Struktur mikro logam induk spesimen A	136
Gambar 6.20	Struktur mikro logam induk spesimen B	136

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Beberapa jenis baja Cr-Mo, kelas dan singkatannya	33
Tabel 3.2	Beberapa jenis logam pengisi untuk baja Cr-Mo	34
Tabel 3.3	<i>Minimum band width for local PWHT</i>	43
Tabel 3.4	Perlakuan panas mula jenis baja Cr-Mo	44
Tabel 3.5	Perlakuan panas akhir jenis baja Cr-Mo	45
Tabel 3.6	Jenis-jenis <i>thermocouple</i>	47
Tabel 4.1	Komposisi kimia baja ASTM A335 P9.....	64
Tabel 4.2	Komposisi kimia logam las E-550..	66
Tabel 5.1	Tabel komposisi kimia sebelum PWHT	76
Tabel 5.2	Tabel komposisi kimia sesudah PWHT	76
Tabel 5.3	Data awal spesimen A sebelum pengujian	76
Tabel 5.4	Data awal spesimen B sebelum pengujian	77
Tabel 5.5	Data spesimen A setelah pengujian	77
Tabel 5.6	Data spesimen B setelah pengujian	77
Tabel 5.7	Nilai % kontraksi spesimen A	82
Tabel 5.8	Nilai % kontraksi spesimen B	83
Tabel 5.9	Nilai regangan spesimen A.	85
Tabel 5.10	Nilai regangan spesimen B	86
Tabel 5.11	Nilai tegangan luluh spesimen A.....	88
Tabel 5.12	Nilai tegangan luluh spesimen B.....	89
Tabel 5.13	Nilai tegangan maksimum spesimen A	91
Tabel 5.14	Nilai tegangan maksimum spesimen B.....	92
Tabel 5.15	Nilai modulus elastisitas spesimen A	94
Tabel 5.16	Nilai modulus elastisitas spesimen B	95
Tabel 5.17	Diameter penginjakan penetrator spesimen A 0°	96
Tabel 5.18	Angka kekerasan spesimen A 0°	98
Tabel 5.19	Diameter penginjakan penetrator spesimen B 0°	99
Tabel 5.20	Angka kekerasan spesimen B 0°	101

Tabel 5.21	Diameter penginjakan penetrator spesimen A 90°	101
Tabel 5.22	Angka kekerasan spesimen A 90°	103
Tabel 5.23	Diameter penginjakan penetrator spesimen B 90°	104
Tabel 5.24	Angka kekerasan spesimen B 90°	106
Tabel 5.25	Diameter penginjakan penetrator spesimen A 180°	106
Tabel 5.26	Angka kekerasan spesimen A 180°	108
Tabel 5.27	Diameter penginjakan penetrator spesimen B 180°	109
Tabel 5.28	Angka kekerasan spesimen B 180°	111
Tabel 5.29	Diameter penginjakan penetrator spesimen A 270°	111
Tabel 5.30	Angka kekerasan spesimen A 270°	113
Tabel 5.31	Diameter penginjakan penetrator spesimen B 270°	114
Tabel 5.32	Angka kekerasan spesimen B 270°	116
Tabel 6.1	Tabel komposisi kimia sebelum PWHT	119
Tabel 6.2	Tabel komposisi kimia sesudah PWHT	119
Tabel 6.3	Komposisi kimia baja ASTM A335 P9	120
Tabel 6.4	Komposisi kimia logam las E-550	120
Tabel 6.5	Nilai tegangan-regangan spesimen A	121
Tabel 6.6	Nilai tegangan-regangan spesimen B	121
Tabel 6.7	Angka kekerasan rata-rata	129

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service</i>	140
Lampiran 2	<i>Joining of Carbon, Low Alloy and Stainless Steel</i>	141
Lampiran 3	Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Beberapa Elektroda 1	142
Lampiran 4	Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Beberapa Elektroda 2	143
Lampiran 5	Komposisi Spesimen A	144
Lampiran 6	Komposisi Spesimen B	145
Lampiran 7	Data Spesimen Hasil Uji Tarik	146
Lampiran 8	Grafik Uji Tarik Spesimen A	147
Lampiran 9	Grafik Uji Tarik Spesimen B	148
Lampiran 10	Hasil Pengujian Tarik	149
Lampiran 11	Harga Kekerasan Vickers 0°	150
Lampiran 12	Harga Kekerasan Vickers 90°	151
Lampiran 13	Harga Kekerasan Vickers 180°	152
Lampiran 14	Harga Kekerasan Vickers 270°	153

Notasi

Q	=	Kalor yang dihasilkan
CE	=	<i>Carbon equivalen</i>
F	=	Gaya tarikan
A	=	Luas penampang (mm^2)
A_o	=	Luas penampang mula-mula (mm^2)
A_i	=	Luas setelah pengujian (mm^2)
ΔL	=	Pertambahan panjang (mm)
L_{f_o}	=	Panjang awal (mm)
L_{f_i}	=	Panjang setelah patah (mm)
ε	=	Regangan (%)
ε_y	=	Regangan luluh
ε_e	=	Regangan elastic
ε_p	=	Regangan plastis
ε_T	=	Regangan total
σ	=	Tegangan (Mpa atau 10^6 N/m^2 atau kg/mm^2)
σ_y	=	Tegangan luluh (MPa)
σ_u	=	Tegangan Maksimal
E	=	Modulus elastisitas
P	=	Gaya atau beban (N atau Kg)
E	=	Modulus Elastisitas (GPa)
VHN	=	Nilai kekerasan Vickers (kg/mm^2)
d	=	Panjang diagonal indentasi (mm)
θ	=	Besar sudut puncak indenter (136°)
K	=	Kontraksi (%)
Kode A	=	Spesimen tanpa PWHT 0°
Kode B	=	Spesimen dengan PWHT 0°