Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SKRIPSI

No Persoalan : TKM 558T/277/2003/EKST 1952

"PENGARUH WAKTU PROSES *ANNEALING* TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA *POST WELD HEAT TREATMENT* BAJA THYRODUR 1730"

Disusun oleh :

YOHANES TONI YULIANTO

02 / 158466 / ET / 02755

TGA01395

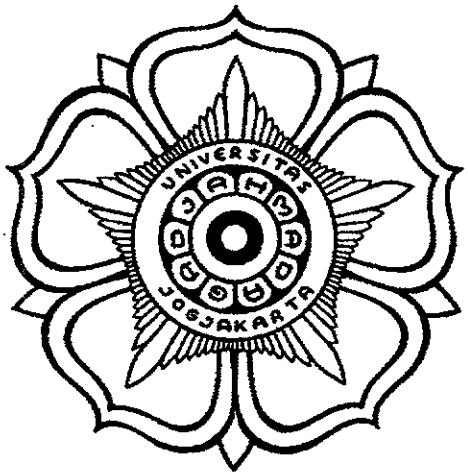
JURUSAN TEKNIK MESIN, FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2003

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SKRIPSI

No Persoalan : TKM 558T/277/2003/EKST

"PENGARUH WAKTU PROSES *ANNEALING* TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA *POST WELD HEAT TREATMENT* BAJA THYRODUR 1730"



Disusun oleh :

YOHANES TONI YULIANTO

02 / 158466 / ET / 02755

JURUSAN TEKNIK MESIN, FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2003

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Diajukan untuk memenuhi syarat
guna memperoleh gelar SARJANA TEKNIK
pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Disusun oleh:

Yohanes Toni Yulianto
02/158466/ET/02755

Telah disetujui untuk diuji
Dosen Pembimbing

Acc
28/10/03

Ir.M.Waziz Wildan, M.Sc.,Ph.D
NIP 132 096 076

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Orang bodoh tertawa terbahak-bahak, sedangkan orang pintar dia akan tersenyum ***(Sirakh 21:20)***

Banyak rancangan di hati manusia , tetapi keputusan Tuhan yang terlaksana ***(Amsal 19:21)***

Saya percaya bukan pada apa yang yang saya pikir, tetapi apa yang saya tahu ***(Sir Arthur Conan Doyle)***

Skripsi ini kupersembahkan untuk :

Ibuku, Chatarina Wiryanti, S.Pd
Bapakku Drs.R.Soekardjo
Alm. Mama Angkatku,Ny. Ratna Hadi Sutanto
Kakakku Merkuria Karyantina,SP,MP dan Setyani,SH
Yoana Widi Rahayu,SE tersayang
Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi Indonesia.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan atas berkat dan rahmatNya sehingga penelitian dan penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun guna memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Dalam proses penelitian maupun penyusunan skripsi ini penulis banyak menerima bantuan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Sutrisno, MSME, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
2. Bapak Ir.M.Waziz Wildan, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. H. R. Soekrisno, MSME, Ph.D selaku Kepala Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
4. Bapak Ir. Samsudin selaku staf Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
5. Bapak Aji dan Bapak Heru selaku Laboran di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
6. Segenap pengurus, staf pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
7. Segenap keluargaku di Yogyakarta dan Yoana Widi Rahayu terkasih yang telah memberikan bantuan dan dorongan baik secara moril maupun materiil.
8. Rekan-rekan PUGERAN 8 (Bram, Hagung, Ronny, Erra, Yoga, Donny May, dan Sulist), Rekan-rekan Ekstensi (Agus Tri, Andi, Agus Aminudin, Danny, Fenny, Eko, dan Freddy) atas kerjasamanya.
9. Rekan-rekan ATMI dan UGM, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu.

Semoga Tuhan membalas segala kebaikan hati kalian.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna dan masih banyak kekurangannya, karena itu penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dan berguna bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi

Surakarta, 16 Oktober 2003

Penyusun,

Yohanes Toni Yulianto

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
Jl.Grafika No 2 Telepon. (0274) 902181, 2183, 2184 Fax (0274) 521673 Yogyakarta 55281
E-mail : tk-mesin@ugm.ac.id

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR

Mata Kuliah	**: TEKNIK PENGELASAN**
Nama Mahasiswa	**: YOHANES TONI YULIANTO**
Nomor Mahasiswa	**: 02/158466/ET/02755**
Nomor Persoalan	**: TKM 558T/277/2003/EKST**

Analisalah Pengaruh Waktu Proses *Annealing* terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada *Post Weld Heat Treatment* Baja THYRODUR 1730.

Variasi Waktu Penahanan Proses *Annealing (t)* :

- **t_1 = 0 menit**
- **t_2 = 30 menit**
- **t_3 = 60 menit**
- **t_4 = 300 menit**

Yogyakarta, 30 Juli 2003
Dosen Pembimbing,

Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

"Pengaruh waktu proses *annealing* terhadap sifat fisis dan mekanis pada *Post Weld Heat Treatment* Baja THYRODUR 1730"

Baja THYRODUR 1730 termasuk dalam kategori baja karbon sedang dimana kandungan unsur karbonnya 0,545 %. Baja ini sering digunakan dalam konstruksi las karena sifat mampu lasnya cukup baik. Kekuatan tarik maksimum material tanpa las rata-rata 89,07 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 18,41%, dan kekerasan rata-ratanya 334 *VHN*.

Pada saat pengelasan, adanya siklus termal yang sangat cepat di daerah sekitar las akan mengakibatkan perubahan sifat fisis dan mekanis dari logam. Perubahan yang terjadi mempunyai kecenderungan sifat fisis dan mekanis bahan hasil pengelasan lebih rendah daripada material awalnya. Kekuatan tarik maksimum material las tanpa *Post Weld Heat Treatment Annealing* rata-rata 58,82 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 8,8%, dan kekerasan rata-ratanya 340 *VHN*. Salah satu usaha untuk memperbaiki sifat bahan akibat proses pengelasan adalah dengan *Post Weld Heat Treatment*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari proses *Post Weld Heat Treatment Annealing*, dan juga mengetahui pengaruh dari waktu penahanan proses annealing terhadap sifat fisis dan mekanis dari pengelasan baja THYRODUR 1730 dengan las busur listrik. Penelitian ini membandingkan antara sifat fisis dan mekanis dari sambungan las tanpa *Post Weld Heat Treatment*, dan sambungan las dengan *Post Weld Heat Treatment Annealing* yang dilakukan pada suhu 800°C dan variasi waktu menahan 0, 30, 60, dan 300 menit. Proses pendinginan dilakukan dengan sangat lambat yaitu *furnace cooled*.

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengamatan struktur mikro. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa *Post Weld Heat Treatment Annealing* pada suhu 800°C dan variasi waktu penahanan 30 menit memberikan hasil optimal, dimana sifat fisis dan mekanis sambungan las hampir mendekati sifat fisis dan mekanis material tanpa las, yaitu kekuatan tarik maksimum rata-rata 89,69 kg/mm^2, dan pertambahan panjang rata-rata 11,59%, tetapi kekerasannya lebih rendah yaitu 200 *VHN*.

Waktu penahanan proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* yang lebih cepat dari 30 menit akan mengakibatkan sifat fisis dan mekanisnya menurun, terlihat dari hasil pada variasi waktu penahanan 0 menit dimana kekuatan tarik maksimum rata-rata 70,60 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 9,47%, dan kekerasan rata-ratanya 212 *VHN*. Sedangkan waktu penahanan proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* yang lebih lama dari 30 menit akan mengakibatkan sifat fisis dan mekanisnya menurun juga, terlihat dari hasil pada variasi waktu penahanan 60 menit dimana kekuatan tarik maksimum rata-rata 70,56 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 8,45%, dan kekerasan rata-ratanya 205 *VHN* dan pada variasi waktu penahanan 300 menit dimana kekuatan tarik maksimum rata-rata 68,43 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 6,94%, dan kekerasan rata-ratanya 198 *VHN*.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN iii
HALAMAN KATA PENGANTAR iv
HALAMAN NASKAH SOAL vi
HALAMAN INTISARI vii
HALAMAN DAFTAR ISI viii
HALAMAN DAFTAR GAMBAR xii
HALAMAN DAFTAR TABEL xiv
HALAMAN DAFTAR NOTASI xvi
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH 1
1.2. BATASAN MASALAH 1
1.3. TUJUAN PENELITIAN 2
1.4. METODOLOGI PENELITIAN 2
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN 3
BAB II DASAR TEORI **5**
2.1. BAJA KARBON DAN SIFATNYA 5
2.1.1. Baja Karbon Rendah *(Low Carbon Steel)* 5
2.1.2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel)* 5
2.1.3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel)* 6
2.2.UNSUR PENYUSUN BAHAN THYRODUR 1730 6
2.2.1. Unsur *Carbon* (C) 6
2.2.2. Unsur *Silicon* (Si) 7
2.2.3. Unsur *Mangan* (Mn) 7

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3. STRUKTUR METALOGRAFI BAJA DAN TRANSFORMASI FASA PADA BAJA 7
2.3.1. Diagram fasa besi-karbon (Fe – C)..... 7
2.3.1.1. Baja eutektoid 10
2.3.1.2. Baja hipoeutektoid..... 10
2.3.1.3. Baja hipereutektoid 10
2.3.2. Transformasi fasa pada baja. 10
2.3.2.1. Austenit..... 10
2.3.2.2. Martensite 10
2.3.2.3. Sementit (karbid Fe_3C)..... 11
2.3.2.4. Ledeburite..... 11
2.3.2.5. Ferit..... 11
2.3.2.6. Perlit..... 11
2.4. PENGELASAN LOGAM 11
2.4.1. Klasifikasi Cara Pengelasan 11
2.4.2. Pengelasan Baja Karbon Sedang THYRODUR 1730 12
2.4.3. SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)..... 13
2.4.3.1. Prinsip pengelasan SMAW..... 13
2.4.3.2. Keuntungan dan kerugian SMAW..... 15
2.4.3.3. Mesin Las SMAW..... 16
2.4.3.4. Elektroda Las 17
2.4.3.5. Fluks Elektroda Las 20
2.4.4. Metalurgi Las..... 21
2.4.4.1. Daerah Termal Lasan 21
2.4.4.2. Pembekuan Daerah Lasan 22
2.4.4.3. Siklus Termal Las.....23
2.4.4.4. Siklus Termal daerah HAZ..... 24
2.4.4.5. Ketangguhan daerah las 24
2.5. PERLAKUAN PANAS (*HEAT TREATMENT*) PADA PENGELASAN.....26
2.5.1. *Pre Weld Heat Treatment*.....27

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.5.2. *Post Weld Heat Treatment*..... 27
2.5.2.1. *Stress Relieving*..... 28
2.5.2.2. *Annealing*..... 28
2.5.2.3. *Normalizing*..... 31
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN..... 33
3.1. BAHAN PENELITIAN..... 33
3.1.1. Logam Dasar..... 33
3.1.2. Elektroda Las 33
3.2. METODE PENELITIAN..... 34
3.3. PROSES PEMBUATAN BENDA UJI..... 35
3.3.1. Persiapan permukaan sebelum pengelasan..... 35
3.3.2. Pemotongan awal material dan pembuatan *chamfer*..... 35
3.3.3. Proses pengelasan..... 35
3.3.4. Proses mesin pembuatan dimensi benda uji..... 36
3.3.5. Proses Perlakuan panas (*PWHT*) *Annealing*..... 37
3.4. PELAKSANAAN PENGAMBILAN DATA.....38
3.4.1. Pengambilan data pengujian tarik..... 38
3.4.2. Pengambilan data struktur mikro..... 39
3.4.3. Pengambilan data kekerasan..... 39
BAB IV **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 41**
5.1. PENGUJIAN TARIK..... 41
5.1.1. Data Hasil Pengujian Tarik..... 41
5.1.2. Pembahasan dari data hasil pengujian tarik.....45
5.2. PENGUJIAN KEKERASAN 48
5.2.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan..... 48
5.2.2. Pembahasan dari data hasil pengujian kekerasan..... 53
5.3. PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO.....53
5.3.1. Gambar hasil pengamatan.....53
5.3.2. Pembahasan Hasil pengambilan gambar struktur mikro..... 63
5.3.2.1. Struktur mikro daerah las..... 63

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.3.2.2. Struktur mikro daerah HAZ..... 63
5.3.2.3. Struktur mikro logam induk..... 62
5.3.3. Pengaruh struktur mikro pada sifat mekanis..... 64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 65
5.1. KESIMPULAN..... 65
5.2. SARAN 66
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram fasa besi – karbon
Gambar 2.2. Hubungan antara kekerasan maksimum yang dapat dicapai dan kadar karbon.
Gambar 2.3. Las busur dengan elektroda terbungkus
Gambar 2.4. Pemindahan logam cair
Gambar 2.5. Mesin listrik AC jenis inti bergerak
Gambar 2.6. Mesin listrik AC jenis kumparan bergerak
Gambar 2.7. Mesin listrik AC jenis reaktor jenuh
Gambar 2.8. Mesin listrik AC jenis saklar
Gambar 2.9. Daerah termal lasan
Gambar 2.10. Arah pembekuan dari logam las
Gambar 2.11. Diagram *Continuous Cooling Transformation* untuk baja 1045
Gambar 2.12. Tipe proses *annealing* berdasarkan temperatur *annealing*
Gambar 2.13. Daerah temperatur untuk beberapa perlakuan panas

Gambar 3.1. Diagram alir penelitian
Gambar 3.2. Kampuh V untuk proses pengelasan
Gambar 3.3. Cara pengelasan dan hasil pengelasan
Gambar 3.4. Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik
Gambar 3.5. Bentuk dan dimensi spesimen uji Struktur mikro dan kekerasan
Gambar 3.5. Bentuk jadi spesimen
Gambar 3.6. Titik pengujian pada benda uji kekerasan

Gambar 4.1. Posisi titik pengujian kekerasan *Vickers*
Gambar 4.2. Struktur mikro material awal
Gambar 4.3. Struktur makro benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment*

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.4. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 0 menit

Gambar 4.5. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 30 menit

Gambar 4.6. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 60 menit

Gambar 4.7. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 300 menit

Gambar 4.8. Struktur mikro benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment*

Gambar 4.9. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 0 menit

Gambar 4.10. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 30 menit

Gambar 4.11. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 60 menit

Gambar 4.12. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 300 menit

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi cara pengelasan

Tabel 2.2. Kode elektroda las menurut AWS atau ASTM

Tabel 2.3. Arti angka-angka pada kode elektroda las menurut AWS atau ASTM

Tabel 2.4. Arti angka kedua dari dua angka terakhir pada kode elektroda las menurut AWS atau ASTM

Tabel 2.5. Arti kode unsur logam paduan pada kode elektroda las menurut AWS atau ASTM

Tabel 2.6. Fluks yang sering digunakan dan sifat utamanya

Tabel 2.7. Temperatur pemanasan awal pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi

Tabel 2.8. *Soaking period* untuk baja pada proses *Hardening* dan *Annealing*

Tabel 4.1. Data hasil pengujian tarik untuk material awal (tanpa las)

Tabel 4.2. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas tanpa *Post Weld Heat Treatment*

Tabel 4.3. Data Hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 0 menit

Tabel 4.4. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 30 menit

Tabel 4.5. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 60 menit

Tabel 4.6. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 300 menit

Tabel 4.7. Perbandingan dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji.

Tabel 4.8. Perbandingan tegangan tarik maksimum (σ_{max}) dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.9. Perbandingan tegangan luluh (σ_{luluh}) dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji.

Tabel 4.10. Perbandingan pertambahan panjang (ε) dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji.

Tabel 4.11. Data hasil pengujian kekerasan

Tabel 4.12. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas tanpa *Post Weld Heat Treatment*

Tabel 4.13. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 0 menit

Tabel 4.14. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 30 menit

Tabel 4.15. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 60 menit

Tabel 4.16. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C dan t = 300 menit

Tabel 4.17. Perbandingan data hasil pengujian kekerasan benda uji

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI

P_{max} : Gaya / beban maksimum (kg)

P_{luluh} : Gaya / beban luluh (kg)

L_0 : Panjang sebelum uji tarik (mm)

L_1 : Panjang sesudah uji tarik (mm)

A_o : Luas penampang uji tarik (mm^2)

σ_{max} : Tegangan tarik maksimum / *ultimate stress* (kg/mm^2)

σ_{luluh} : Tegangan luluh / *yield stress* (kg/mm^2)

ε : Pertambahan panjang benda uji / *Elongasi* / *Strain* (%)

d1 : Diameter horizontal pengujian *Vickers* (mm)

d2 : Diameter vertikal pengujian *Vickers* (mm)

d : Diameter rata –rata (mm)

HV : *Hardness Vickers* (Kekerasan Vickers)

T : Temperatur (°C)

t : Waktu menahan proses *Annealing* (menit)

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Dalam suatu konstruksi, untuk mendapatkan suatu bentuk yang diharapkan sering tidak dapat dihindarkan adanya sambungan, dimana salah satu cara penyambungan paling efisien adalah dengan sambungan las.

Pengaruh adanya sambungan dengan las terhadap bahan adalah menyebabkan perubahan struktur logam, yang mengakibatkan terjadinya perubahan kekerasan dan tegangan tarik pada bahan. Perubahan itu disebabkan oleh suhu tinggi yang terjadi pada saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan, hal ini terjadi pada daerah di sekitar pengelasan yang disebut dengan *Heat Affected Zone (HAZ)*.

Pada daerah logam las apabila proses pengelasan memenuhi standard, maka logam lasan adalah bagian yang paling baik kekerasan dan tegangan tariknya dibandingkan daerah di sekitar lasan.

Proses pengelasan menyebabkan konstruksi tidak efisien dari pembebanan, dimana pada beban statis tegangan yang aman pada suatu bahan adalah pada daerah elastisitasnya. Bahan yang tanpa las lebih tahan terhadap beban dibandingkan dengan bahan yang ada sambungan lasnya, hal ini dibuktikan dengan pengujian tarik dimana putusnya benda uji cenderung pada *HAZ*, untuk meningkatkan kemampuan bahan akibat adanya pengaruh pengelasan, diperlukan peningkatan kekerasan, keuletan, dan tegangan tarik pada daerah *HAZ* tersebut.

Proses untuk meningkatkan sifat mekanis di daerah *HAZ* tersebut adalah dengan proses *Heat Treatment* atau sering disebut dengan *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*.

1.2. BATASAN MASALAH

Bahan penelitian terbatas pada baja THYRODUR 1730 (Standard : DIN C45W / AISI 1045 / JIS S45C) dengan tebal 10 mm, dan *HAZ* yang terjadi akibat proses las listrik dengan busur elektroda terbungkus (*SMAW = Shielded*

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Heri Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Metal Arc Welding) dengan elektroda yang digunakan GOLDWELD 325 (Standard AWS E11018-M). Perlakuan panas *(Post Weld Heat Treatment)* yang dilakukan adalah proses *annealing* pada suhu 800°C dengan variasi waktu penahanan 0, 30, 60,dan 300 menit.

Pengamatan, pengukuran dan pengujian yang dilakukan hanya terbatas pada pengujian komposisi bahan, pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengamatan struktur mikronya saja.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisis (pengamatan struktur mikro) dan sifat mekanis bahan (kekerasan dan tegangan tarik) akibat variasi waktu proses *Post Weld Heat Treatment annealing* terhadap pengelasan baja karbon sedang THYRODUR 1730.

1.4. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium baik secara pengamatan metalografi, pengukuran kekerasan maupun pengujian tarik. Pemecahan masalah sehingga diperoleh hasil akhir seperti yang diharapkan digunakan metode sebagai berikut:

a. Metode studi literatur

Dari hasil percobaan diperoleh data-data yang kemudian dianalisa berdasarkan atas sumber literatur yang sudah ada.

b. Metode eksperimen

Pengujian komposisi bahan dilakukan oleh PT. ITOKOH CEPERINDO, Klaten. Proses pengelasan dilakukan langsung di bagian pengelasan dan pengerjaan logam di Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI) Surakarta, kemudian dilakukan pengujian di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada yaitu pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik, uji kekerasan dengan makro *Vickers Hardness Number (VHN),* dan pengujian tarik.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh : Ahmad Tami Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

1. Benda kerja hasil pengelasan diperiksa secara visual, jika terjadi cacat maka dilakukan proses pengelasan ulang, setelah baik dilakukan:
   - Pembuatan benda uji untuk uji metalografi dan uji kekerasan serta uji tarik
   - Proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan variasi waktu penahanan pemanasan
   - Pengambilan gambar metalografi
   - Pengukuran kekerasan di sepanjang benda uji kekerasan
   - Pengujian tarik
2. Hasil pengujian yang diperoleh dilakukan analisa dan rekapitulasi

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Laporan tugas akhir ini terbagi menjadi 5 bab, yaitu:

BAB I : Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : Dasar Teori

Dasar teori yang terdiri dari baja karbon dan sifatnya, unsur penyusun bahan THYRODUR 1730, struktur metalografi baja dan transformasi fasa pada baja, pengelasan logam, dan perlakuan panas pada pengelasan.

BAB III : Pelaksanaan Penelitian

Bab ini terdiri dari tinjauan bahan penelitian, alat yang digunakan, metode penelitian, proses pembuatan spesimen, dan pelaksanaan pengambilan data.

BAB IV : Hasil Penelitian dan Pembahasan

Terdiri dari pengolahan data dan membahas analisa data hasil pengujian tarik, analisa data pengujian kekerasan, dan analisa struktur mikro.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Johanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Terdiri kesimpulan dan saran dari data hasil penelitian dan pembahasannya.

Lampiran-lampiran yang terdiri dari brosur penawaran bahan THYRODUR 1730, spesifikasi elektroda las, spesifikasi mesin las yang digunakan, tabel ekuivalen logam, sertifikat pengelasan juru las, dan grafik hasil pengujian tarik.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Bab II Dasar Teori
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II

DASAR TEORI

Sambungan dengan menggunakan las sering ditemui dalam suatu konstruksi karena sangat mempermudah mencapai bentuk yang diinginkan dan hampir tidak ada logam yang tidak bisa disambung dengan menggunakan las. Dalam mencapai hasil yang maksimal pada proses pengelasan, diperlukan pengetahuan tentang pengelasan yang baik, hal ini juga mencakup tentang pengetahuan bahan dan juga pengaruh akibat panas dan pendinginan yang terjadi. Proses lain yang dapat dilakukan pada sambungan las adalah perlakuan panas, dimana bertujuan memperbaiki sifat mekanis dan struktur mikro logam. Proses perlakuan panas *(Heat Treatment)* dapat dilakukan sebelum pengelasan *(Pre Weld Heat Treatment)* dan juga sesudah pengelasan *(Post Weld Heat Treatment)* untuk mengurangi tegangan dan mencegah *crack*.

2.1. BAJA KARBON DAN SIFATNYA

Baja karbon adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat dari baja karbon sangat tergantung dari kadar karbonnya, sehingga dapat dikelompokkan menjadi 3 (Gupta, 1998, hal 578) yaitu

2.1.1. Baja Karbon Rendah *(Low Carbon Steel)*

Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon 0,15 sampai 0,30%. Baja ini juga sering disebut dengan baja lunak, dan baja ini tidak dapat dikeraskan. Baja karbon rendah dapat dituang, mudah dilas dan ditempa, serta dapat dikeraskan permukaannya *(Case Hardening)*

Karena sifat mampu las baik maka sering digunakan untuk konstruksi umum, misalnya konstruksi jembatan, bangunan, dan lain-lain.

2.1.2. Baja Karbon Sedang *(Medium Carbon Steel)*

Baja karbon sedang mempunyai kadar karbon berkisar 0,30 sampai 0,80% oleh karena itu baja ini lebih keras dari baja karbon rendah. Baja ini mempunyai sifat mampu las baik dan dapat dikerjakan mesin, serta dapat dilakukan perlakuan panas.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Oleh : Ani Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Baja karbon sedang banyak digunakan untuk bagian mesin, misalnya poros, poros engkol, dan lain-lain.

2.1.3. Baja Karbon Tinggi *(High Carbon Steel)*

Baja karbon tinggi memiliki kadar karbon berkisar 0,80 sampai 1,50%. Baja jenis ini lebih mudah dikeraskan karena kadar karbonnya tinggi, sifat mampu lasnya jelek, sifat mampu dikerjakan jelek, dan sukar dibentuk. Baja karbon tinggi mempunyai sifat keras, kekuatan tarik tinggi tapi kurang ulet, maka sebelum dipakai biasanya diperkeras dan ditemper sehingga dihasilkan baja tahan aus. Karena sifat-sifat maka penggunaanya sangat terbatas, biasanya untuk pegas atau per, alat pertanian, alat iris, dan lain-lain.

Dibandingkan baja karbon rendah, untuk baja karbon sedang dan tinggi mempunyai kepekaan terhadap retak las tinggi, karena sifatnya yang mudah keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi.

Untuk menghindari retak las maka dilakukan dengan pemanasan awal *(preheating)* dengan suhu yang sangat tergantung dari kadar karbonnya, dan untuk mengurangi hidrogen difusi digunakan elektroda dengan kandungan hidrogen rendah.

2.2. UNSUR PENYUSUN BAHAN THYRODUR 1730

Unsur utama penyusun baja karbon THYRODUR 1730 (Standard : DIN C45W / AISI 1045 / JIS S45C), yang termasuk baja karbon sedang sebagai berikut :

Carbon (C)	= 0,545 %
Silicon (Si)	= 0,339%
Mangan (Mn)	= 0,644 %

Sifat dari unsur-unsur penyusun baja THYRODUR 1730 ini adalah :

2.2.1. Unsur *Carbon* (C)

Unsur karbon pada baja karbon memberikan sifat kekerasan dan tegangan tarik yang tinggi, semakin besar kadar karbon maka kekerasan dan tegangan tarik meningkat, tapi jika terlalu tinggi sifat mampu las dan

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

keuletannya turun. Unsur karbon mempengaruhi perubahan struktur kristal logam pada proses pemanasan dan pendinginan.

2.2.2. Unsur *Silicon* (Si)

Unsur ini merupakan deoksidasi yang ditambahkan selama pembuatan baja agar mendapat sifat kemurnian, sehingga kekerasan dan kekuatannya sedikit lebih baik. Penambahan unsur silikon untuk menambah kekerasan dan kekuatan masih lebih rendah dibanding unsur mangan (Mn).

2.2.3. Unsur *Mangan* (Mn)

Dalam baja karbon kadar mangan berkisar antara 0,63 samapai 1,0 %. Unsur ini menaikkan kemampuan untuk dikeraskan dan kekuatan baja. Semakin tinggi kadar mangan (Mn) maka sifat tahan aus baja baik tetapi semakin susah dikerjakan.

Pengaruh unsur Silikon (Si) dan Mangan (Mn) terhadap kekerasan dan kekuatan baja lebih rendah dibandingkan penambahan unsur karbon (C) pada baja karbon.

2.3. STRUKTUR METALOGRAFI BAJA DAN TRANSFORMASI FASA PADA BAJA

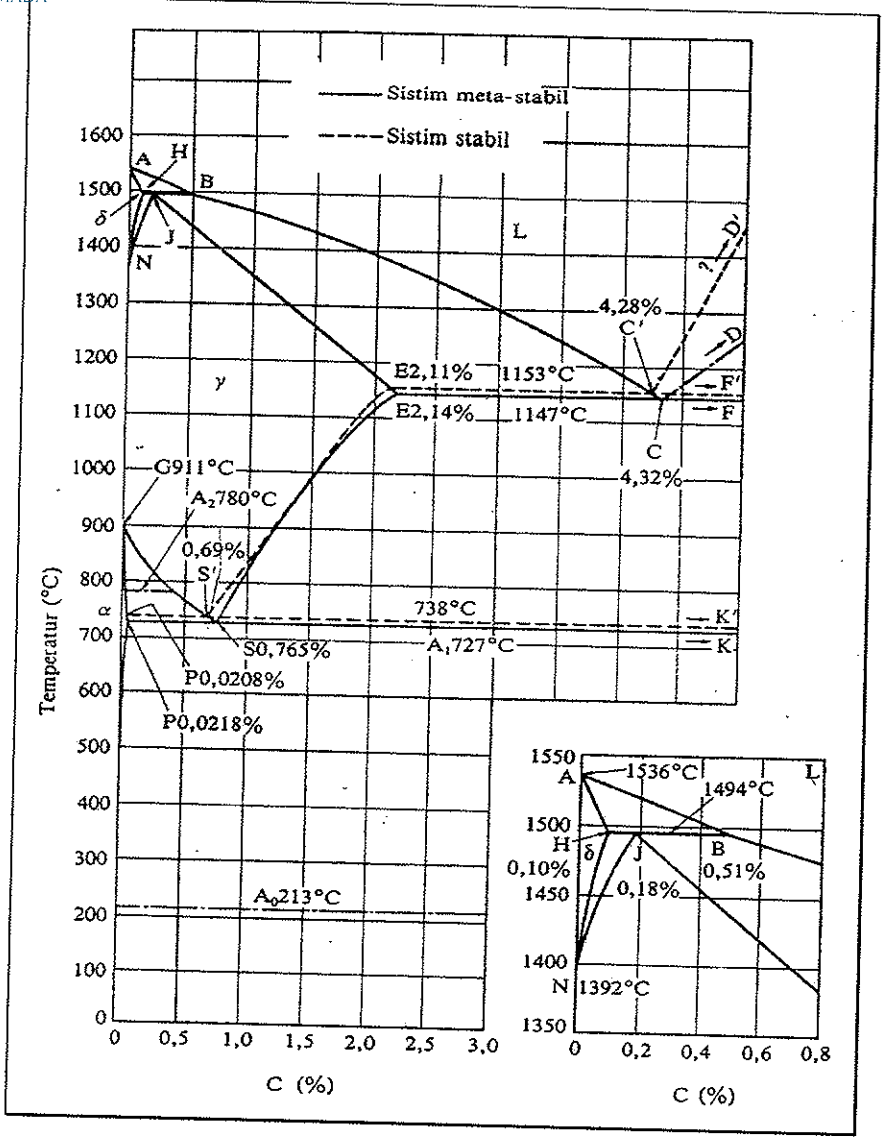
Untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan dari baja maka sangat diperlukan pengetahuan tentang struktur dan transformasi yang terjadi pada baja.

2.3.1. Diagram fasa besi-karbon (Fe – C)

Dasar mempelajari besi dan baja adalah Diagram Fasa Fe-C. Dalam besi dan baja selain mengandung karbon, didalamnya mengandung juga unsur 0.25%Si, 0.3-1.5%Mn, dan unsur pengotor yang lain seperti S, P, Cr, dan sebagainya.Unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama pada diagram fasa, maka diagram fasa tersebut dapat digunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Pada paduan baja karbon terdapat fasa karbida yang disebut sementit (Fe_3C) dan grafit, dimana grafit lebih stabil daripada sementit.

Pembahasan dilakukan hanya pada diagram Fe-Fe_3C (sementit mempunyai kadar C =6,67%)

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Bab II Dasar Teori
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.1. Diagram fasa besi – karbon
(Surdia, 1991,hal 70)

Titik-titik penting pada diagram fasa ini :

A: Titik cair besi

B: Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik

H: Larutan padat δ yang ada hubungan dengan reaksi peritektik.Kelarutan karbon maksimum adalah 0,10%

J : Titik peritektik. Selama pendinginan austenit pada komposisi J, fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B

Bab II D
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Tony Yulianto, Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Reaksi Peritektik (terjadi pada suhu 1493°C)

$L + \delta \leftrightarrows \gamma$ → : *Cooling*
← : *Heating*

N: Titik transformasi dari besi $\delta \leftrightarrows$ besi γ, titik transformasi A_4 dari besi murni

C: Titik eutektik. Selama pendinginan fasa γ dengan komposisi E dan sementit pada komposisi F (6,67%C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa eutektik ini disebut ledeburit.

E: Titik yang menyatakan fasa γ, ada hubungan dengan reaksi. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja

Reaksi eutektik (terjadi pada suhu 1147°C dan C = 4,3%)

$L \leftrightarrows \gamma + Fe_3C$ → : *Cooling*
← : *Heating*

G: Titik transformasi besi $\gamma \leftrightarrows$ besi α . Transformasi A_3 untuk besi.

P: Titik yang menyatakan ferit, fasa α, ada hubungan dengan reaksi eutektoid. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%.

S: Titik eutektoid. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi A_1, dan fasa eutektoid ini dinamakan perlit.

Reaksi eutektoid (terjadi pada suhu 727°C dan C = 0,76%)

$\gamma \leftrightarrows \alpha + Fe_3C$ → : *Cooling*
← : *Heating*

GS: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari austenit. Garis ini disebut A_3.

ES: Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk sementit dari austenit. Garis ini disebut A_{cm}.

A_2 : Titik transformasi magnetik untuk besi atau ferit.

A_0 : Titik transformasi magnetik untuk sementit.

Keterangan :

Fe_3C : Senyawa besi karbida *(iron carbide)* dengan kadar C=6,67% disebut sementit

L : Logam / besi cair

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Sanhäes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

α : Fe dengan struktur *bcc/ body centre cubic* (Ferrite)

γ : Fe dengan struktur *fcc/ face center cubic* (Austenite)

α' : Fe dengan struktur *bcc*

Baja menurut perbandingan kadar karbon dan komposisi eutektoidnya dibagi :

2.3.1.1. Baja eutektoid

Baja eutektoid adalah baja dengan kadar karbon sama dengan komposisi eutektoid. Pada baja ini transformasi terjadi pada titik tetap S, menjadi struktur yang disebut perlit.

2.3.1.2. Baja hipoeutektoid

Baja hipoeutektoid adalah baja yang kadar karbonnya kurang dari komposisi eutektoid. Pada baja ini terbentuk fasa ferit mendekati besi murni yang komposisinya sama dengan P dan perlit.

2.3.1.3. Baja hipereutektoid

Baja hipereutektoid adalah baja yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutektoid. Pada baja ini terbentuk perlit dan sementit pada batas butir.

2.3.2. Transformasi fasa pada baja.

Pada proses pengolahan logam dan perlakuan panas sangat diperlukan pengetahuan tentang transformasi fasa, sehingga memungkinkan memperoleh sifat-sifat mekanik bahan dengan mengubah struktur mikro bahan.

Struktur yang terdapat pada baja :

2.3.2.1. Austenit

Austenit mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau *face centered cubic(fcc),* menunjukkan titik mulur yang jelas tanpa kegetasan pada keadaan dingin

2.3.2.2. Martensite

Martensit merupakan fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau *body centered tetragonal(bct).* Makin tinggi kejenuhan karbon maka semakin keras dan getas.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Chandra Boni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3.2.3. Sementit (karbid Fe_3C)

Sementit merupakan struktur bercelah yang keras dan getas, kekuatan tarik rendah, tetapi kekuatan tekan tinggi. Struktur ini merupakan struktur paling keras pada baja.

2.3.2.4. Ledeburite

Ledeburite merupakan campuran eutektik antara austenit dan sementit, mengandung 4,3% C dan terbentuk pada suhu 1130°C

2.3.2.5. Ferit

Ferit mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau *body centered cubic(bcc)*. Ferit menjadi getas pada temperatur rendah, dan merupakan struktur terlunak pada baja.

2.3.2.6. Perlit

Perlit adalah campuran yang sangat tidak stabil dari ferit dan sementit

2.4. PENGELASAN LOGAM

Salah satu bagian yang penting dalam pengerjaan logam adalah pengelasan, karena dengan pengelasan hampir tidak ada logam yang tidak dapat dikerjakan dengan las, apalagi banyak ditemukannya teknologi-teknologi baru yang semakin modern.

2.4.1. Klasifikasi Cara Pengelasan

Berdasar cara kerjanya, pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu :

1. Pengelasan cair

   Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan menggunakan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan tekan

   Pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan menjadi satu.

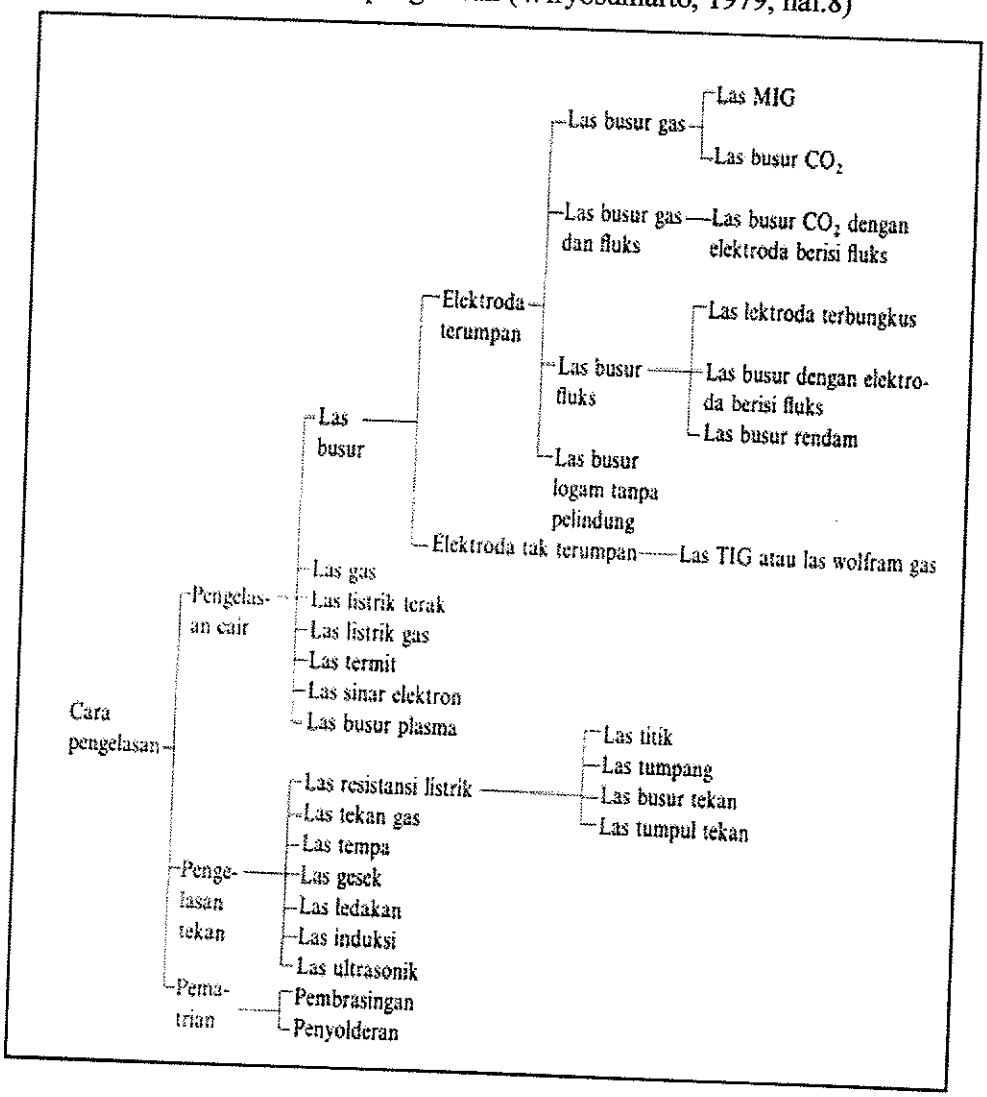
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Yohi Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. Pematrian

Pematrian adalah pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, dimana pada proses ini logam induk tidak mencair.

Klasifikasi cara pengelasan yang banyak dilakukan dewasa ini dapat dilihat pada tabel berikut:

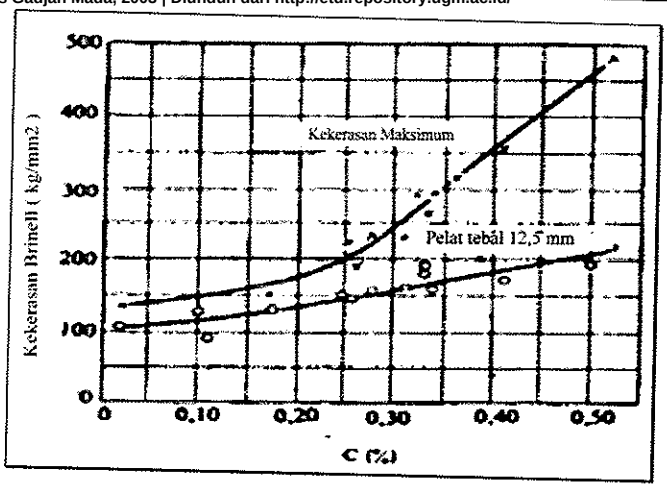
Tabel 2.1. Klasifikasi cara pengelasan (Wiryosumarto, 1979, hal.8)



2.4.2. Pengelasan Baja Karbon Sedang THYRODUR 1730

Baja karbon THYRODUR 1730 termasuk dalam baja karbon sedang dimana banyak mengandung karbon dan unsur lainnya yang dapat memperkeras baja, oleh karena itu daerah *HAZ (Heat Affected Zone)* pada baja ini mudah menjadi keras.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Ananto Tri Antoni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.2. Hubungan antara kekerasan maksimum yang dapat dicapai dan kadar karbon.
(Wiryosumarto, 1979, hal.93)

Sifat dari baja karbon sedang yang mudah keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las, selain itu pengelasan dengan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah.

Terjadinya retak las dapat dihindari dengan *preheating* (pemanasan awal) yang temperatur pemanasannya sangat tergantung pada kadar karbon baja tersebut. Untuk mengurangi hidrogen difusi yang juga menyebabkan terjadinya retak las maka digunakan elektroda hidrogen rendah.

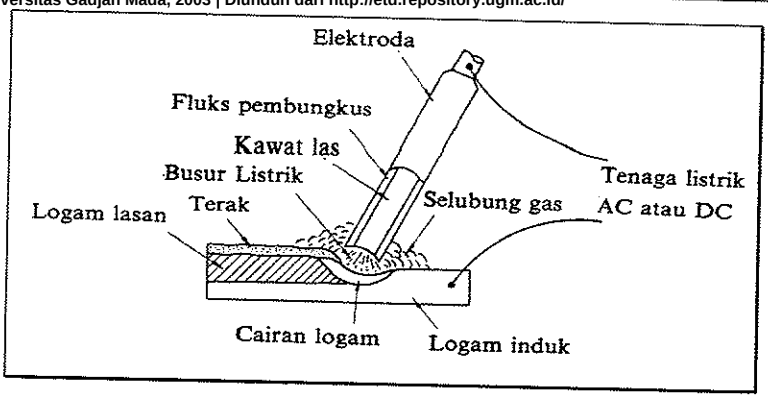
2.4.3. *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*

Dalam pengelasan baja karbon sedang THYRODUR 1730 digunakan metode *SMAW* atau pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus dimana menggunakan elektroda yang terbungkus dengan fluks

2.4.3.1. Prinsip pengelasan *SMAW*

Penyalaan busur dilakukan dengn menyentuhkan elektroda sebentar ke logam dasar, panas dari nyala busur mencairkan logam dasar dan elektroda sehingga membentuk deposit logam lasan, yang tertutup terak dari fluks elektroda. Selubung gas pelindung yang terjadi juga dihasilkan dari pemisahan fluks elektroda.

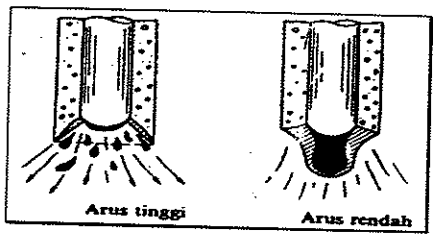
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Sarah Septoni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.3. Las busur dengan elektroda terbungkus
(Wiryosumarto, 1979, hal.9)

Tampak pada gambar dimana busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda, dan karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan membeku bersama.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, dan bila arus yang digunakan kecil maka butirannya menjadi besar.



Gambar 2.4. Pemindahan logam cair.
(Wiryosumarto, 1979, hal.9)

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam, secara umum logam dikatakan mempunyai sifat mampu las tinggi jika pemindahan logam cair terjadi dengan butiran halus. Pola pemindahan logam cair dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi fluks yang digunakan.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Antonius Antoni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.4.3.2. Keuntungan dan kerugian *SMAW*

SMAW merupakan proses pengelasan yang sering dipakai, keuntungan pengelasan *SMAW* :

- Sangat fleksibel dan dapat untuk mengelas semua logam *ferrous* maupun *non ferrous* dan peralatan *SMAW* lebih murah dibanding alat las lain.
- Sumber arus untuk *SMAW* bisa dengan listrik AC maupun DC.
- Pengelasan dapat dilakukan dengan setiap posisi, mulai horizontal, vertikal muapun *over head.*
- Mudah dioperasikan, khusus untuk *SMAW* dengan elektroda dengan pembungkus hidrogen rendah diperlukan pengalaman karena jarak elektroda dan logam dasar harus diperhatikan.
- *SMAW* dapat digunakan untuk plat tipis maupun tebal, dan biasanya untuk ketebalan 3,2 sampai dengan 19 mm. Untuk kurang dari 3,2 mm dianjurkan *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* untuk mengurangi distorsi dan penembusan nyala, dan untuk ketebalan lebih dari 19mm dianjurkan dengan *SAW (Submerged Arc Welding)* agar tidak boros dan lama menggunakan elektroda .
- Tipe arus yang digunakan 50 sampai 500 A maka hampir sama dengan kebanyakan mesin, mudah digunakan dan seting mesinnya.

Kekurangan dari *SMAW* antara lain:

- Operator harus mengganti elektroda beberapa kali setiap pengelasan panjang maupun lebar.
- Terjadi terak/*slag* yang mengganggu proses dan harus dihilangkan
- Pemborosan elektroda karena hanya 60 % yang mejadi logam lasan selebihnya menjadi terak dan gas

2.4.3.3. Mesin Las *SMAW*

Dalam pengelasan dengan *SMAW* busur listrik ditimbulkan dengan menggunakan listrik arus bolak- balik (AC) atau dengan arus searah (DC).

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Sarwanto Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penggunaan arus DC mempunyai keunggulan

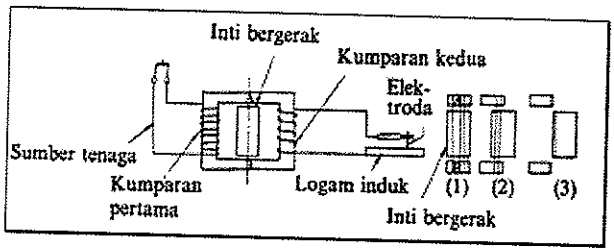
- busur listrik yang ditimbulkan mantap sehingga sesuai untuk pengelasan plat tipis.
- Generator DC dapat digunakan dengan motor bakar, sehingga sangat fleksibel digunakan.

Sedangkan mesin arus AC mempunyai keunggulan :

- pertimbangan harga lebih ekonomis
- mudah penggunaan dan seting mesin
- perawatan sederhana.

Mesin listrik AC lebih banyak digunakan, dan berdasarkan sistem pengaturan arus yang digunakan dibagi mejadi :

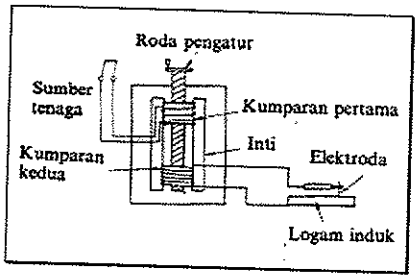
- Jenis inti bergerak



Gambar 2.5. Mesin listrik AC jenis inti bergerak
(Wiryosumarto, 1979, hal.12)

Inti pada kedudukan (1) akan memperbesar kebocoran fluks magnet sehingga besar arus menurun, hal ini kebalikan jika inti pada kedudukan (3) yaitu kebocoran fluks magnet kecil maka arus menjadi besar.

- Jenis kumparan bergerak

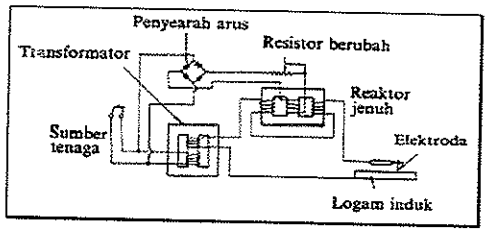


Gambar 2.6. Mesin listrik AC jenis kumparan bergerak
(Wiryosumarto, 1979, hal.12)

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh: Anas Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pengaturan dilakukan dengan menggeserkan kedudukan kumparan pertama terhadap kumparan kedua.

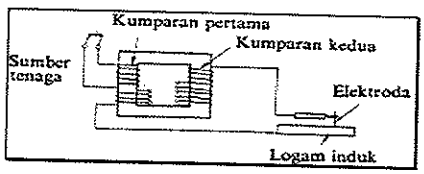
- Jenis reaktor jenuh



Gambar 2.7. Mesin listrik AC jenis reactor jenuh
(Wiryosumarto, 1979, hal.12)

Pengaturan arus dilakukan dengan mengubah besarnya reaktansi yang dalam hal ini dihubungkan searah dengan rangkaian kedua dan mempunyai sumber listrik terpisah. Jenis ini banyak digunakan karena pengaturan lebih mudah dan lebih teliti, dan dapat diatur dari jarak jauh.

- Jenis saklar



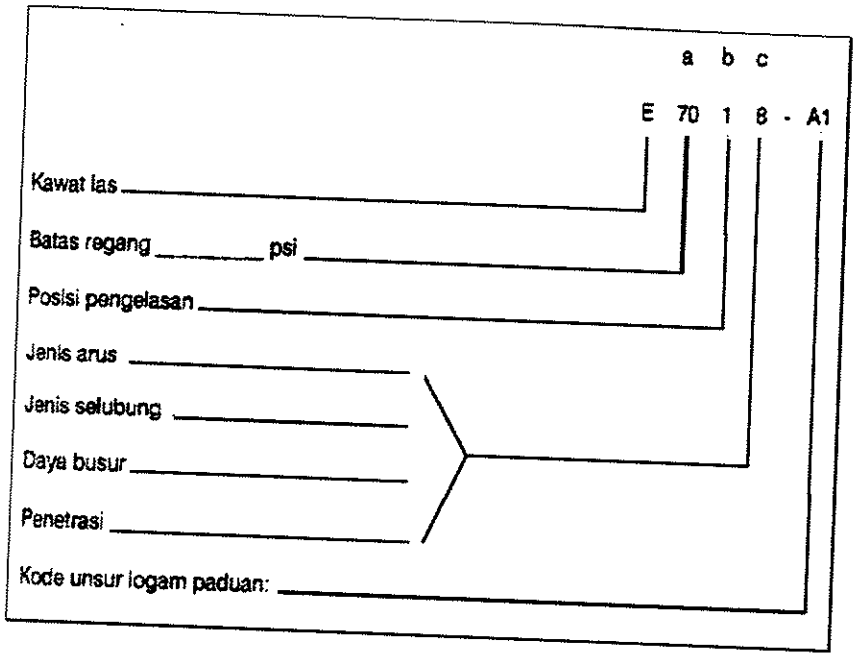
Gambar 2.8. Mesin listrik AC jenis saklar
(Wiryosumarto, 1979, hal.12)

2.4.3.4. Elektroda Las

Di negara industri, elektroda terbungkus sudah distandarkan berdasar jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las. Walaupun simbol agak berbeda tetapi dasarnya adalah sama. Standard yang banyak dipakai adalah JIS (Jepang) dan ASTM (Amerika Serikat) berdasar pada asosasi las Amerika (AWS/ American Welding society)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 2.2. Kode elektroda las menurut AWS atau ASTM (Subagyo, 1990, hal.31)



Tabel 2.3. Arti angka-angka pada kode elektroda las menurut AWS atau ASTM (Subagyo, 1990, hal.31)

Angka	Arti	Contoh
(a) dua atau tiga angka pertama	Batas petah tarik minimum dalam ribuan psi atau ketahanan terhadap tekanan (stress relief)	E.60XX = minimum 60 000 psi E.110XX = minimum 110 000 psi
(b) angka pertama dari dua angka terakhir	Posisi pengelasan yang diperbolehkan.	E.XX1X = semua posisi E.XX2X = horisontal dinding dan horisontal lantai E.XX3X = horisontal lantai
(c) angka kedua dari dua angka terakhir	Jenis arus las, jenis selubung, busur, penetrasi, dan kadar bubuk besi yang terkandung di dalam selubung.	Lihat tabel berikut.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Aphen Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 2.4. Arti angka kedua dari dua angka terakhir pada kode elektroda las menurut AWS atau ASTM (Subagyo, 1990, hal.32)

Angka terakhir	Jenis arus las	Jenis selubung	Daya busur	Penetrasi	Kadar bubuk besi (%)
0	(a)	(b)	kuat	(c)	0 10
1	AC atau DCRP	organik	kuat	dalam	tanpa
2	AC atau DC	rutile	sedang	sedang	0 10
3	AC atau DC	rutile	lemah	dangkal	0 10
4	AC atau DC	rutile	lemah	dangkal	30 50
5	DCRP	low hydrogen	sedang	sedang	tanpa
6	AC atau DCRP	low hydrogen	sedang	sedang	tanpa
7	AC atau DC	mineral	lemah	sedang	50
8	AC atau DC	low hydrogen	sedang	sedang	30 50

Tabel 2.5. Arti kode unsure logam paduan pada kode elektroda las menurut AWS atau ASTM (Subagyo, 1990, hal.32)

Kode tambahan	Kadar unsur paduan (%)				
	Mo	Cr	Ni	Mn	Va
A1	0,5				
B1	0,5	0,5			
B2	0,5	1,25			
B3	1,0	2,25			
B4	0,5	2,0			
C1			2,5		
C2			3,5		
C3			1,0		
D1	0,3			1,5	
D2	0,3			1,75	
G	0,2	0,3	0,5	0,1	0,1

Elektroda terbungkus pada umumnya digunakan untuk pengelasan dengan tangan, dapat juga untuk pengelasan baja kuat, bahan tahan panas, baja tahan karat, besi cor, paduan tembaga, panduan nikel dan

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Sarifudin Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

untuk pelapisan keras. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan baja THYRODUR 1730 adalah GOLDWELD 325 yang menggunakan standard AWS E11018 – M

2.4.3.5. Fluks Elektroda Las

Dalam pengelasan elektroda terbungkus fluks memegang peranan penting karena fluks bertindak sebagai :

- Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam
- Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya.
- Pengatur penggunaan
- Sumber unsur-unsur paduan.

Bahan-bahan yang digunakan sebagai fluks dapat digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan, dan bahan pengikat.

Tabel 2.6. Fluks yang sering digunakan dan sifat utamanya
(Wiryosumarto, 1979, hal.10)

Pengaruh / Bahan Fluks	Pemantap busur	Pembentuk terak	Deoksidator	Oksidator	Pembentuk gas	Penambahan unsur paduan	Penguat pembungkus	Pengikat fluks
Selulosa			○		●		○	
Lempung Silikat	○	●						
Talek	○	●						
Titanium oksida	●	●						
Ilmenit	●	●						
Feroksida	○	●		●				
Kalsium karbonat	○	●		○	●			
Ferro mangan		●	●			○		
Mangan dioksida		●		○		○	○	
Pasir Silisium		●		○		○		
Kalium silikat	●	○						●
Natrium silikat	○	●						●

● Fungsi utama
○ Fungsi tambahan

Pada pengelasan baja THYRODUR 1730 digunakan elektroda jenis hidrogen rendah. Jenis ini disebut juga jenis kapur karena bahan utama yang digunakan adalah kapur dan fluorat. Jenis ini

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah, karena itu kepekaan terhadap retak sangat rendah, sehingga ketangguhannya sangat memuaskan.

Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran-butiran cairan yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain, dan diperlukan juru las yang berpengalaman.

Karena fluks ini sangat baik dalam sifat mampu lasnya maka elektroda dengan fluks jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang memerlukan tingkat pengamanan tinggi seperti konstruksi dengan plat tebal dan bejana tekan.

2.4.4. Metalurgi Las

2.4.4.1. Daerah Termal Lasan

Sambungan las dalam suatu konstruksi sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan struktur mikro dari logam sambungan, hal ini disebabkan adanya perubahan temperatur dari panas tinggi pengelasan ke pendinginan setelah pengelasan, akibat proses pengelasan maka suatu bahan dapat dibagi menjadi 3 bagian logam las, yaitu:

1. *Base Metal* (logam dasar)

   Logam dasar adalah bagian yang selama proses pengelasan tidak mengalami proses pemanasan dan pendinginan, dimana selama proses tersebut tidak terjadi perubahan struktur sehingga tidak mengalami perubahan sifat fisis dan mekanis

2. *Fusion Zone* (logam lasan)

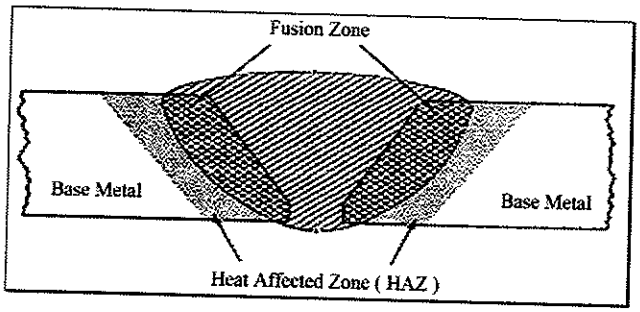
   Logam lasan adalah logam yang berasal dari logam induk, logam pengisi las, atau campuran dari keduanya yang mencair dan membeku selama proses pengelasan. Selama proses pengelasan terbentuk tegangan material yang menyebabkan daerah ini rawan terhadap retak las.

3. *Heat Affected Zone (HAZ)*

   Heat Affected Zone adalah bagian dari logam induk yang tidak ikut mencair tapi selama pengelasan terjadi perubahan struktur mikronya

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh : Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

akibat dari siklus pemanasan dan pendinginan secara cepat selama proses pengelasan

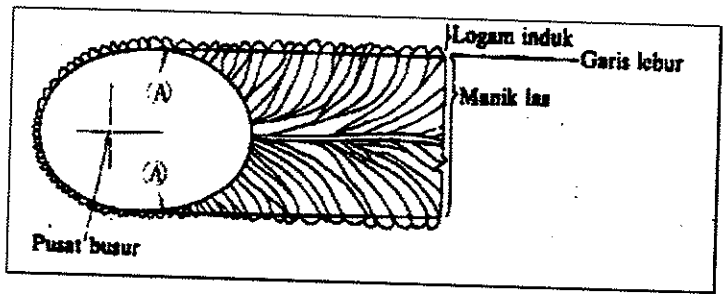


Gambar 2.9. Daerah termal lasan
(diambil dari : *http://www.tpub.com*)

Selain pembagian utama daerah las, ada daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut dengan batas las.

2.4.4.2. Pembekuan Daerah Lasan

Pendinginan yang terjadi dalam pengelasan berlangsung cepat, dan sumber panas dalam pengelasan bergerak terus, sehingga pencairan dan pembekuan berlangsung terus menerus.



Gambar 2.10 Arah pembekuan dari logam las
(Wiryosumarto, 1979, hal.57)

Dalam gambar ditunjukkan secara skematis proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir – butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh : Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Reaksi metalurgi yang terjadi dalam pembekuan

1. Pemisahan atau segregasi

Dalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang, dan pemisahan mikro.

- Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las.
- Pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las.
- Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

2. Lubang-lubang halus

Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Pembentukan gas tersebut terjadi karena :

- Pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan. Gas yang terbentuk adalah hidrogen dan nitrogen.
- Adanya reaksi kimia di dalam logam las. Gas yang terbentuk adalah CO dalam logam cair
- Penyusupan gas ke dalam atmosfer busur. Gas ini biasanya gas pelindung atau udara yang terjebak dalam akar kampuh las

3. Proses deoksidasi

Proses deoksidasi adalah proses untuk menghilangkan oksida dalam lasan. Ketangguhan logam lasan akan turun dengan naiknya kadar oksigen, maka untuk mengurangi kadar oksigen dapat dilakukan dengan menambahkan unsur yang bersifat deoksidasi seperti Si, Mn, Al, dan Ti atau menaikkan kebasaan dari terak lasnya.

2.4.4.3. Siklus Termal Las

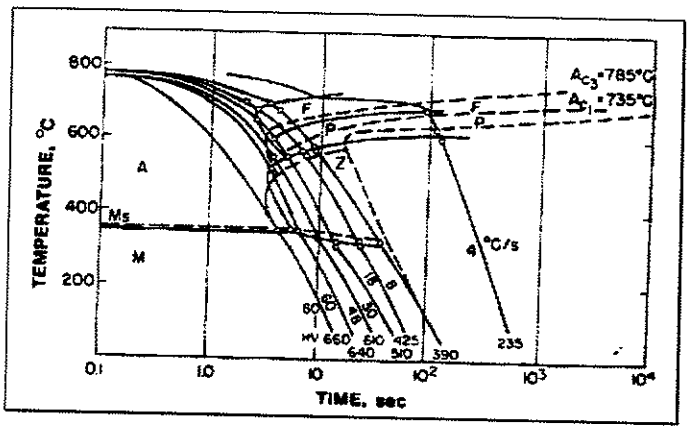
Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh: Beta Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi struktur mikro, kekerasan, dan sifat mekanik bahan tersebut. Kecepatan pendinginan pada logam lasan dan logam induk akan berbeda-beda satu titik ke titik yang lain, semakin jauh jaraknya dari titik pusat lasan maka pendinginan makin lambat.

2.4.4.4. Siklus termal daerah HAZ

Struktur mikro dan sifat mekanis dari daerah *HAZ* sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperature 800°C sampai 500°C dan dapat diperkirakan dari diagram *Continuous Cooling Transformation* (*CCT* diagram).



Gambar 2.11 Diagram *Continuous Cooling Transformation* untuk baja 1045 (Kou, 1987,hal.324)

Pada diagram, logam dipanaskan dengan cepat dan didinginkan dengan bermacam- macam kecepatan pendinginan. Garis putus-putus menunjukkan siklus termal las yang bila digabungkan dengan garis tebal yaitu garis diagram *CCT* dari baja, dapat menunjukkan tahap transformasi selama pendinginan dan memperkirakan struktur akhir yang akan terbentuk.

2.4.4.5. Ketangguhan daerah las

Dalam pengelasan yang perlu diperhatikan adalah kekuatan daerah las, hal ini sebagai akibat masukan panas dan pendinginan yang terjadi terus menerus secara cepat selama pengelasan dan sesudah pengelasan.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Bab II Dasar Teori Oleh : Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1. Ketangguhan pada daerah HAZ

Ketangguhan tergantung dari temperatur pemanasan maksimum dan kecepatan pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. struktur logam pada daerah *HAZ* berubah secara berangsur-angsur dari struktur logam dasar ke struktur logam las. Bagian daerah *HAZ* yang terdekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Besar dan struktur butir berubah sesuai dengan siklus termal pada waktu pengelasan.

Perubahan struktur yang terjadi berdasarkan kecepatan pendinginan dari 800°C sampai 500°C sebagai berikut :

Martensite (M)→Bainit bawah →Bainit atas→Ferit(F) + Perlite(P)

Ketangguhan yang baik bila terbentuk struktur ganda martensit dan bainit bawah. Perubahan struktur di atas disebabkan oleh perbedaan komposisi kimia, dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat, dan sebagainya.

2. Ketangguhan logam las.

Logam las merupakan logam yang dalam proses pengelasan mencair dan membeku, dimana komposisinya adalah campuran antara logam induk, bahan pengisi, dan mengandung oksigen serta gas-gas lain. Kandungan unsur oksigen dan nitrogen perlu diperhatikan karena berpengaruh mengurangi ketangguhan logam las, dimana oksigen dapat menyebabkan oksidasi.

Pengaruh struktur logam las akibat pada saat pengelasan logam las mencair dan membeku, maka memungkinkan terjadi struktur yang tidak homogen. Dan pengaruhnya terhadap batas las adalah struktur bainit atas dan ferit kasar menurukan ketangguhan, dan struktur bainit bawah dan martensit mempertinggi ketangguhan.

2.5. PERLAKUAN PANAS *(HEAT TREATMENT)* PADA PENGELASAN

Tujuan dari perlakuan panas adalah meningkatkan sifat fisis dan mekanis logam, dan dengan perlakuan panas kita dapat membuat logam menjadi lebih

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh : Jaenal Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

keras, lebih kuat, dan tahan terhadap beban kejut / *impact*, tetapi kita juga dapat membuat logam menjadi lebih lunak dan ulet dengan perlakuan panas.

Pada dasarnya prinsip utama dari perlakuan panas hampir sama, yaitu melalui 3 tahap utama :

Tahap 1: *Heating* / Pemanasan

Tahap ini memanaskan logam sampai mencapai temperatur tertentu yang *uniform* / merata. Kecepatan dalam pemanasan tergantung dari beberapa faktor. Faktor terpenting adalah konduktifitas panas dari logam tersebut, semakin tinggi konduktifitas panas yang dimiliki logam maka proses pemanasan semakin cepat. Hal lain yang mempengaruhi kecepatan pemanasan adalah ukuran dan bentuk benda kerja itu. Semakin besar maka kecepatan pemanasan akan semakin lambat.

Tahap 2: *Soaking period* / Waktu penahanan

Setelah logam mencapai temperatur pemanasan maka selanjutnya ditahan selama waku tertentu, dengan tujuan diperoleh struktur yang homogen. Waktu menahan tergantung pada tebal dari bahan.

Tahap 3: *Cooling* / Pendinginan

Setelah logam dipanaskan dan ditahan selama waktu tertentu, untuk membawa ke temperatur ruangan dilakukan dengan media pendingin *(cooling medium)* yang dapat berupa gas, cair, padat, atau kombinasi ketiganya. Kecepatan pendinginan tergantung dari tebal dan media pendinginnya.

Pemilihan media pendingin sangat berpengaruh pada pada hasil yang diinginkan dan juga bisa menyebabkan retak pada beberapa logam jika media pendingin tidak sesuai.

Semua proses pengelasan menggunakan temperatur yang tinggi, hal ini mengakibatkan terjadi perbedaan yang besar antara sumber panas, dan logam dasar sehingga timbul perbedaan ekspansi termal, dan tegangan mekanis yang tinggi. Pada dasarnya perlakuan panas pada pengelasan ada 2 cara yaitu dapat dilakukan sebelum pengelasan *(Pre Weld Heat Treatment)* dan juga sesudah pengelasan *(Post Weld Heat Treatment)*.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Oleh : Heri Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.5.1. *Pre Weld Heat Treatment*

Tujuan dari *pre weld heat treatment* adalah mengurangi perbedaan temperatur yang sangat besar, sehingga dapat mengurangi terjadinya bahaya retak las, mengurangi kekerasan maksimum yang terjadi, meminimalkan tegangan yang terjadi, dan dapat membantu keluarnya gas (biasanya hidrogen) keluar dari logam.

Temperatur pemanasan mula tergantung komposisi (kadar karbon untuk baja karbon), massa logam dasar, dan prosedur pengelasan.

Tabel 2.7. Temperatur pemanasan awal pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi
(Wiryosumarto, 1979, hal.92)

Kadar karbon (%)	Suhu Pemanasan Mula (°C)
0,20 Maks.	90 (Maks).
0,20-0,30	90-150
0,30-0,45	150-260
0,45-0,80	260-420

Dalam melakukan pemanasan awal dapat dilakukan dengan :

- Pemanasan Gas *(Gas Torch)*
- Pembakaran Gas *(Gas Burner)*
- *Heat treating Furnace*
- *Electrical resistant heater*

Pemakaian metode pemanasan awal tergantung pada beberapa faktor, antara lain temperatur pemanasan, lama proses, ukuran dan bentuk, serta jenis produksi.

2.5.2. *Post Weld Heat Treatment*

Post Weld Heat Treatment adalah perlakuan panas dilakukan setelah pengelasan. Ada beberapa jenis proses perlakuan panas yang dapat dilakukan, tapi yang paling sering dilakukan antara lain :

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh : Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.5.2.1. *Stress Relieving*

Stress relieving / pemanasan reduksi tegangan adalah perlakuan panas dengan memanaskan baja sampai temperatur dibawah titik ubah / kritis bawah (A_1), menahannya selama beberapa waktu pada temperatur tersebut, dan kemudian mendinginkannya perlahan-lahan untuk menghilangkan tegangan dalam / sisa.

Temperatur maksimum untuk *stress relieving* adalah dibawah 600°C, dan pendinginan jika terlalu cepat akan menimbulkan tegangan dalam , yang hal ini dapat dicegah dengan *furnace cooled* (mematikan furnace sehingga bahan dan *furnace* mendingin bersama-sama). Pada proses ini tidak ada struktur mikro yang berubah..

2.5.2.2. *Annealing*

Pada dasar proses *Annealing* merupakan kebalikan dari proses *Hardening*. Proses *Annealing* adalah perlakuan panas pada bahan dimana bahan tersebut dipanaskan pada temperatur tertentu, menahannya selama waktu tertentu, dan kemudian mendinginkannya dengan lambat sampai temperatur ruangan.

Metode pendingin dilakukan dengan mematikan *furnace (furnace cooled)*.

Tabel 2.8 *Soaking period* untuk baja pada proses *Hardening* dan *Annealing* (diambil dari : http://www.tpub.com)

Thickness of Metal (inches)	Time of heating to Required Temperature (hr)	Soaking Time (hr)
Up to 1	3/4	1/2
1 to 2	1 1/4	1/2
2 to 3	1 3/4	3/4
3 to 4	2 1/4	1
4 to 5	2 3/4	1
5 to 8	3 1/2	1 1/2

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tujuan dari proses *Annealing* :

- Membebaskan tegangan sisa *(stress relieving)*

  Tegangan sisa terjadi pada bahan karena:

  - Deformasi plastis seperti pada pengerjaan dengan mesin
  - Perbedaan temperatur diantara bagian-bagian pada bahan ketika diproses (misal pada proses pengelasan/*welding* dan pengecoran/*casting*)
  - Transformasi fasa yang menyebabkan adanya beda massa jenis *(density)* antara fasa hasil dan fasa sebelumnya
- Meningkatkan keuletan, ketangguhan, dan melunakkan bahan.
- Menghasilkan struktur mikro tertentu
- Menghasilkan struktur yang *uniform* / homogen
- Memungkinkan pengerjaan mesin

  Proses *annealing* dapat menghasilkan benda yang dapat dikerjakan mesin dan dapat dikeraskan kembali.
- Mengurangi gas yang mungkin terkandung dalam bahan / logam

Dengan *Annealing* jika diinginkan pelunakan maksimum *(softness)* dari logam maka pendinginan dilakukan dengan sangat lambat, yang dapat dilakukan dengan mematikan *furnace* sehingga bahan dan *furnace* mendingin bersama-sama, dan pendinginan dapat dilakukan dengan mengubur bahan di bahan isolator panas.

Semakin rendah kadar karbon maka dibutuhkan temperatur *annealing* semakin tinggi dan sebaliknya jika kadar karbon semakin tinggi maka temperatur *annealing* semakin rendah.

Proses *annealing* menurut temperatur perlakuan panasnya dibagi menjadi:

- ***Full Annealing***

  Pada *full annealing*, bahan dipanaskan pada temperatur diatas temperatur kritis atas (A_3) untuk baja hipoeutektoid, dan diantara temperatur A_1 dan A_{cm} untuk baja hypereutektoid, dan kemudian

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

didinginkan dengan lambat (kurang lebih 10°C/Jam atau 50°F/jam) di dalam *furnace* sehingga transformasi fasa hanya berlangsung pada temperatur pemanasan.

Temperatur untuk *Full annealing*

15 sampai 50°C diatas A_3 untuk baja hypoeutektoid

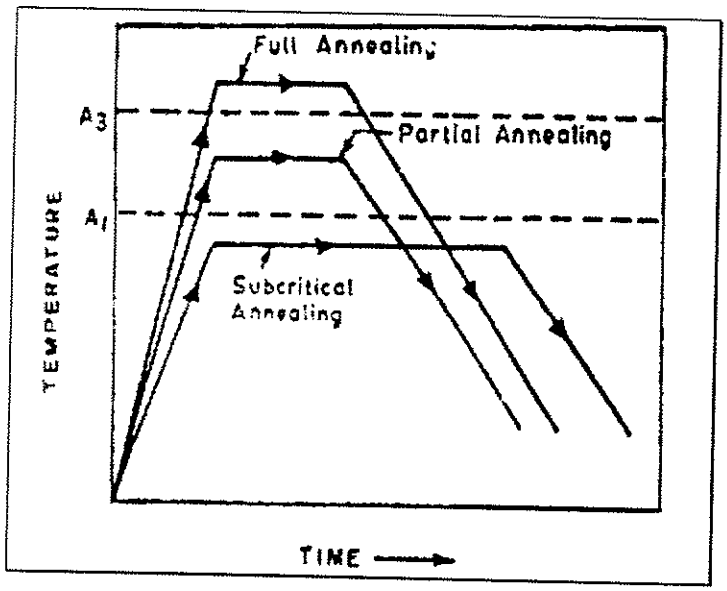
15 sampai 50_oC diatas A_1 untuk baja hypereutektoid

- ***Partial Annealing***

Partial annealing juga disebut dengan *Incompleted annealing / Intercritical annealing / Spheroidizing*. Pada proses ini logam dipanaskan sampai temperatur diantara temperatur kritis bawah (A_1) dan temperatur kritis atas (A_3/A_{cm}), kemudian didinginkan lambat atau bisa dengan pendinginan didiamkan di udara. Pada proses ini semua austenit berubah menjadi perlit.

- ***Subcritical Annealing***

Subcritical Annealing adalah proses dimana temperatur maksimum *annealing* saat pemanasan selalu dibawah temperatur kritis bawah (A_1)



Gambar 2.12. Tipe proses *annealing* berdasarkan temperatur *annealing* (Rajan, 1997,hal.99)

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.5.2.3. *Normalizing*

Normalizing adalah proses perlakuan panas yang digunakan untuk memperkecil butiran *(grain)* sehingga bahan lebih tangguh. Proses *normalizing* dilakukan dengan cara memanaskan bahan pada temperatur di atas temperatur kritis atas, sehingga semua fasa berubah menjadi austenit dan kemudian didinginkan dengan didiamkan di udara. Kecepatan pendinginan *normalizing* di udara berkisar 100°C/jam.

Temperatur untuk proses *normalizing*

55°C diatas A_3 untuk baja hipoeutektoid

27°C diatas A_{cm} untuk baja hypereutektoid

Tujuan dari proses *normalizing* adalah

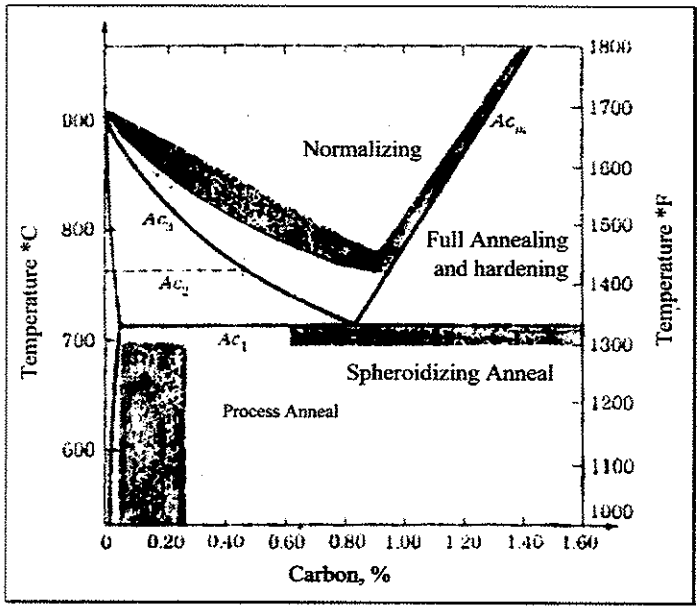
- Meningkatkan kemampuan dikerjakan mesin *(machinability)*
- Memperbaiki struktur (ukuran butiran / *grain*) dan menghilangkan ketidakseragaman struktur pada baja

  Ketidakseragaman struktur dapat terjadi karena
  - Pengerjaan bentuk dingin (penempaan, pengerolan, pelubangan tekan)
  - Pengerjaan panas (pengelasan, atau pengerjaan potong dengan nyala api)
  - Temperatur pengerasan terlalu tinggi
  - Menahan terlalu lama di daerah austenit pada temperatur tinggi

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perbandingan antara proses *normalizing* dan proses *annealing*

- Baja yang diproses *normalizing* lebih keras daripada baja yang diproses *annealing*
- *Annealing* meningkatkan sifat *machinability* pada baja karbon sedang, sedang *normalizing* meningkatkan sifat *machinability* pada baja karbon rendah [o]



Gambar 2.13. Daerah temperatur untuk beberapa perlakuan panas (Smith, 1996,hal 509)

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Pelaksanaan Penelitian oleh M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1. BAHAN PENELITIAN

3.1.1. Logam dasar

Bahan yang digunakan adalah baja karbon sedang THYRODUR 1730 (Standard : DIN C45W / AISI 1045 / JIS S45C), dengan tebal benda uji 10 mm. Kandungan unsur dalam baja ini setelah dilakukan uji komposisi bahan di PT. ITOKOH CEPERINDO adalah :

Besi (Fe)	: 97,93 %	Nickel (Ni)	: 0,133 %
Carbon (C)	: 0,545 %	Chromium (Cr)	: 0,091 %
Silicon (Si)	: 0,339 %	Molybdenum (Mo)	: 0,008 %
Mangan (Mn)	: 0,644 %	Copper (Cu)	: 0,199 %
Phospor (P)	: 0,016 %	Aluminium (Al)	: 0,001 %
Sulfur (S)	: 0,031 %	Tungsten (W)	: 0,004 %

3.1.2. Elektroda las

Elektroda las dengan kandungan hidrogen rendah, khusus dirancang untuk pengelasan baja karbon sedang dan tinggi GOLDWELD 325 yang menggunakan standard AWS E11018 – M

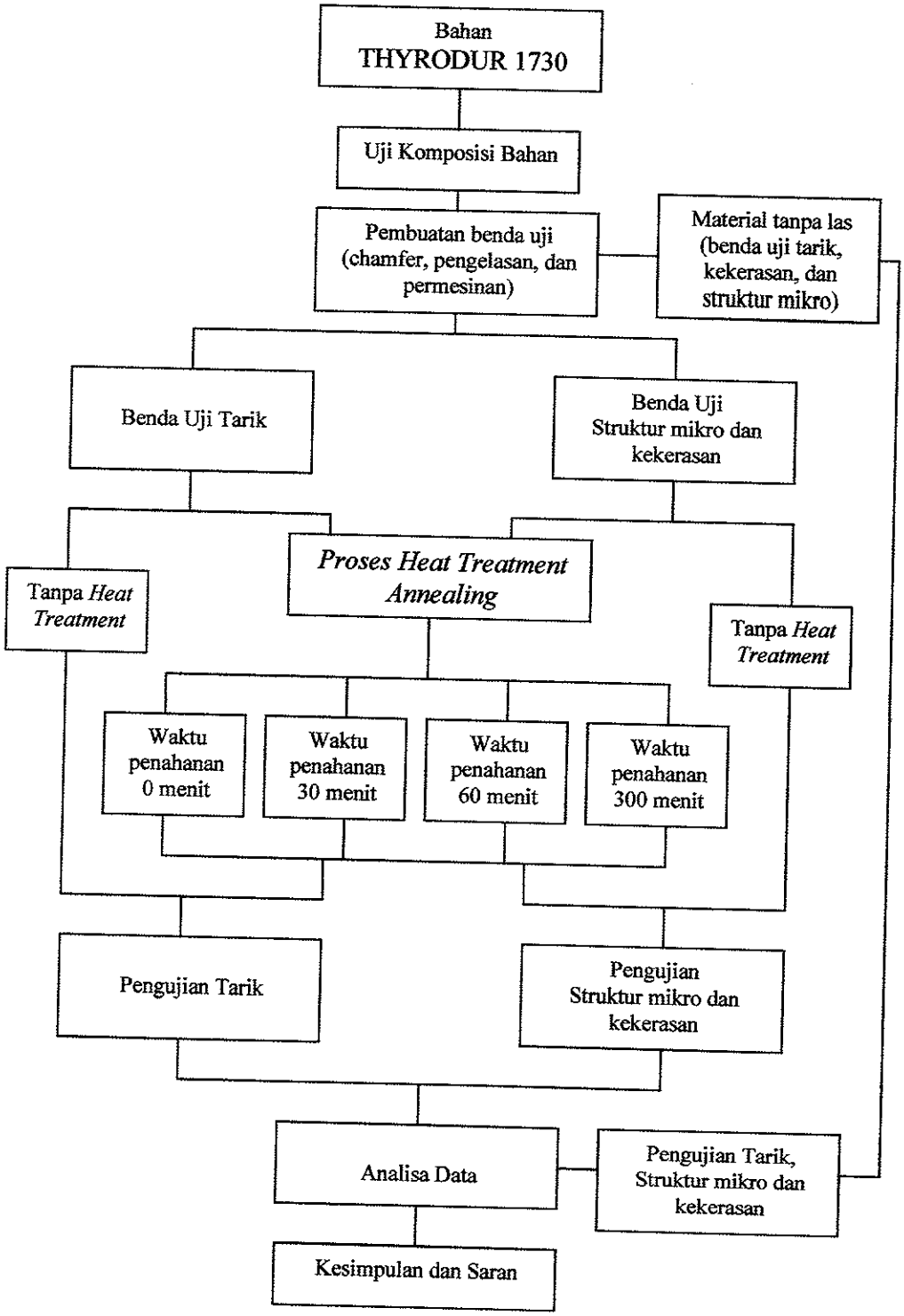
Komposisi kimia elektroda (data dari pabrik pembuat, GOLDWELD WELDING ALLOYS, USA) :

Carbon (C)	: 0,07 %	Molybdenum (Mo)	: 0,4 %
Silicon (Si)	: 0,5 %	Chromium (Cr)	: 0,4 %
Nickel (Ni)	: 2 %	Phospor (P)	: < 0,02
Mangan (Mn)	: 1,5 %	Sulfur (S)	: < 0,02

Daya rentang	: 79 kg/mm^2
Elongasi	: 20 %
Arus	: AC 100 Ampere
Diameter elektroda	: 3,2 mm
Panjang	: 350 mm

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Johanes Tanduliante; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.METODE PENELITIAN



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Oleh : Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3. PROSES PEMBUATAN BENDA UJI

Sebelum melakukan penelitian maka persiapan benda kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut :

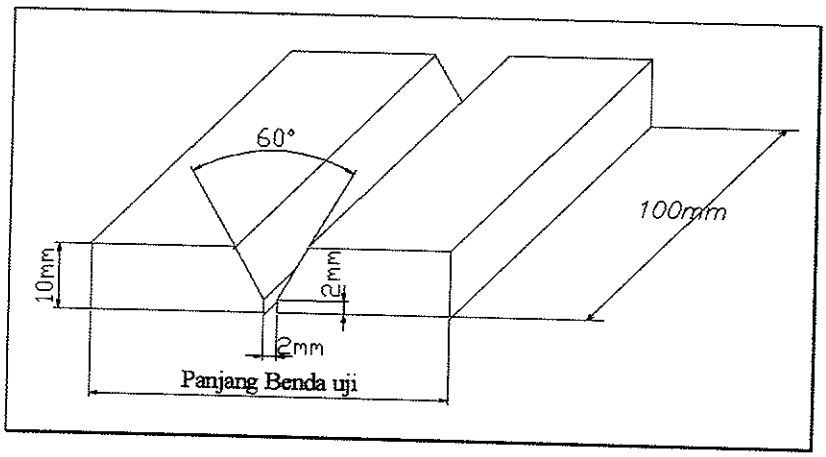
3.3.1. Persiapan permukaan sebelum pengelasan

Membersihkan material awal dari oksida sisa, misalnya oli, kotoran, minyak, debu, dan sejenisnya karena diharapkan pengelasan dilakukan dengan baik.

3.3.2. Pemotongan awal material dan pembuatan *chamfer*

Material awal memiliki lebar 100 mm, maka untuk menghindari terjadinya deformasi material dan mempermudah proses pengelasan, maka lebar material tidak dipotong dulu. Sesuai dengan standar pengelasan ketebalan 10 mm, digunakan jenis sambungan kampuh V tunggal dengan dimensi standard :

(Proses ini dilakukan di ATMI Surakarta)



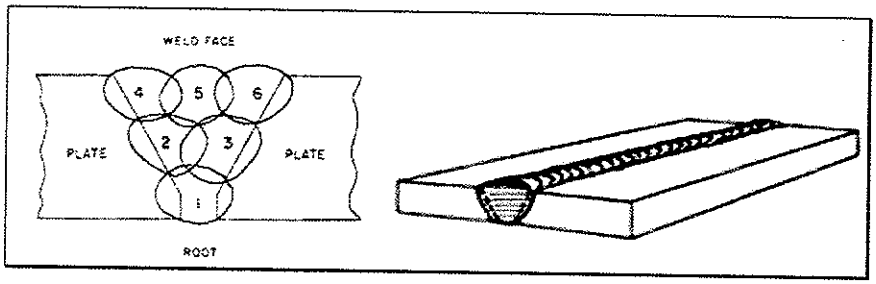
Gambar 3.2. Kampuh V untuk proses pengelasan

3.3.3. Proses pengelasan

Setelah pemotongan dan pembuatan *chamfer*, maka proses selanjutnya adalah pengelasan. Dalam menggunakan pengelasan dengan elektroda kandungan hidrogen rendah sangat diperlukan pengalaman agar hasilnya baik, maka proses pengelasan dilakukan di ATMI Surakarta, dimana juru las sudah berpengalaman dan memiliki sertifikat juru las. Mesin yang digunakan adalah *ESAB WELDING Type HELIARC 252 AC/DC*

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Tony Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

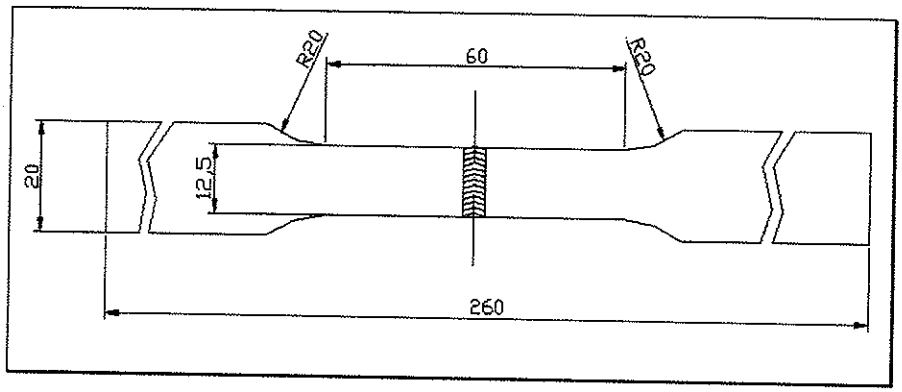
Proses las dilakukan sebagai berikut :



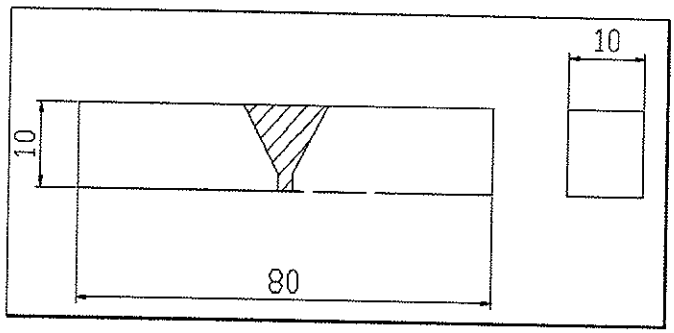
Gambar 3.3. Cara pengelasan dan hasil pengelasan
(diambil dari : *http://www.tpub.com*)

3.3.4. Proses mesin pembuatan dimensi spesimen benda uji.

Proses mesin dilakukan untuk membentuk dimensi benda uji, sesuai dengan standard benda uji dari standar JIS Z 2201



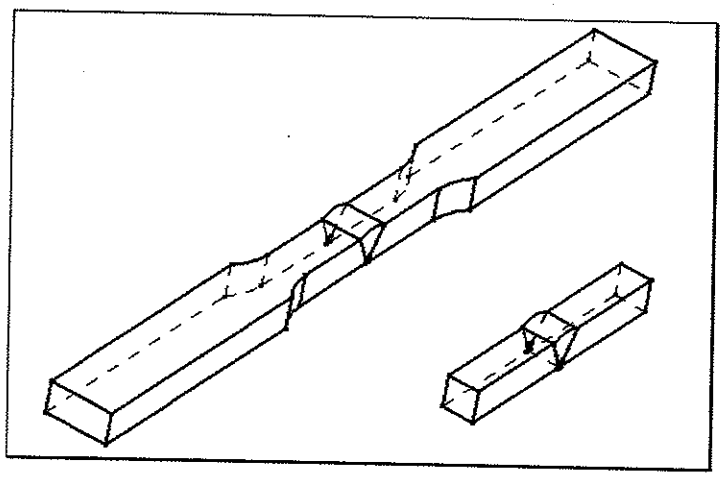
Gambar 3.4 Bentuk dan dimensi benda uji tarik (ukuran dalam mm)



Gambar 3.5 Bentuk dan dimensi benda
uji struktur mikro dan kekerasan (ukuran dalam mm)

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Johanes Tony Yuliantoro, Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Proses permesinan dilakukan di ATMI Surakarta



Gambar 3.5. Bentuk jadi spesimen

3.3.5. Proses Perlakuan panas *(PWHT) Annealing*

Setelah proses pengelasan dan permesinan dilakukan maka proses berikutnya yang menjadi tujuan utama dari penelitian ini adalah perlakuan panas *annealing* setelah pengelasan atau *Post Weld Heat Treatment*, dimana diharapkan dengan variasi waktu penahanan proses *annealing* didapatkan suatu kesimpulan data percobaan yang paling mendekati optimal lama proses *annealing*, dan struktur mikro, serta pengaruh terhadap karakteristik di setiap benda uji yang dilakukan.

Suhu *annealing* yang dipilih 800°C, dan variasi waktu menahan yang dilakukan :

t_1 : 0 menit

t_2 : 30 menit

t_3 : 60 menit

t_4 : 300 menit

Proses pendinginan dilakukan dengan metode *furnace cooled* yaitu dengan mematikan *furnace* setelah temperatur dan waktu penahanan tercapai. Proses *PWHT* dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada .

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Tony Yuliarto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4. PELAKSANAAN PENGAMBILAN DATA

Pengujian untuk pengambilan data dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Pengujian yang dilakukan pada material logam secara garis besar dapat dibagi menjadi 2 bagian besar, yaitu pengujian merusak dan pengujian yang tidak merusak. Dalam penelitian ini tidak dijelaskan secara keseluruhan, hanya pengujian yang berhubungan dengan penelitian ini saja.

3.4.1. Pengambilan data pengujian tarik

Sesuai dengan yang disarankan, pengujian tarik ini menggunakan lima buah benda uji untuk setiap variasi proses, dimana juga dilakukan pengujian untuk material tanpa las, material dengan las tanpa perlakuan panas, masing-masing empat buah benda uji.

Untuk mempermudah pengambilan data, sebelumnya masing-masing benda uji diberi tanda dengan nomor sebagai berikut :

1.1→1.4 Benda uji material awal

2.1→2.4 Benda uji sambungan las tanpa *PWHT*

3.1→3.5 Benda uji sambungan las dengan *PWHT Annealing*
T = 800°C dan t = 0 menit

4.1→4.5 Benda uji sambungan las dengan *PWHT Annealing*
T = 800°C dan t = 30 menit

5.1→5.5 Benda uji sambungan las dengan *PWHT Annealing*
T = 800°C dan t = 60 menit

6.1→6.5 Benda uji sambungan las dengan *PWHT Annealing*
T = 800°C dan t = 300 menit

Sebelum pengujian untuk mengetahui pertambahan panjang ditandai dengan titik dengan jarak awal 50 mm, dan kemudian dicek kembali dengan menggunakan *Caliper* / jangka sorong hasil penandaan tersebut. Pengujian tarik dilakukan dengan alat Servo Pulser

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Tony Yulianto, Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4.2. Pengambilan data struktur mikro

Pada pengujian struktur mikro ini dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada daerah lasan, dimana merupakan salah satu sifat fisis dalam penelitian ini selama proses pengelasan dan perlakuan panas yang dilakukan.

Struktur mikro ini akan memperjelas pengaruh kecepatan pendinginan, masukan panas dan memperlihatkan perlakuan mekanis yang dilakukan, serta dengan perlakuan yang lebih teliti dapat mengetahui komposisi, fasa yang terjadi, dan orientasi butiran dari suatu logam akibat proses perlakuan panas setelah pengelasan. Penelitian dilakukan dengan menggerinda permukaan yang akan diuji sehingga rata, karena sudah cukup besar tidak perlu untuk diresin.

Proses selanjutnya adalah proses pengamplasan atau *polish* dengan kertas amplas dengan urutan nomor 120, 400, 600, 1000, dan 1200. Selanjutnya *polish* dilakukan dengan menggunakan autosol, dan setelah cukup kerataan dan kehalusannya maka dilanjutkan proses etsa, yaitu dengan menggunakan larutan HNO_3, sesaat setelah dicelupkan pada etsa, kemudian dibersihkan dan dicelupkan ke larutan alkohol, dan dibersihkan dengan kain lap bersih.

Setelah itu dilakukan pemotretan dengan mikroskop mikro pada empat tempat setiap benda uji untuk membandingkan struktur mikro, yaitu:

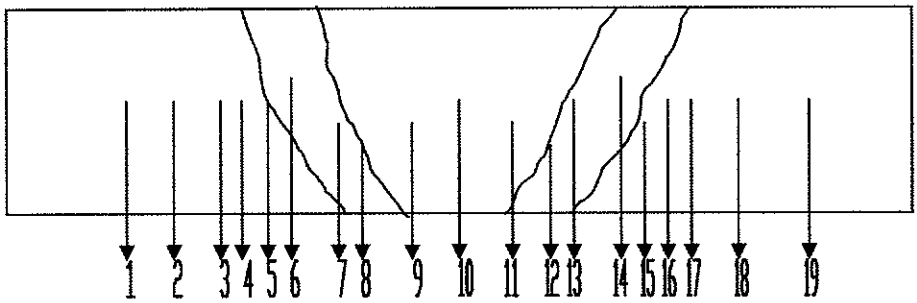
- Gambar di logam lasan
- Gambar di daerah *HAZ*
- Gambar di bagian logam induk

3.4.3.Pengambilan data kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan antara logam lasan, daerah *HAZ*, dan logam dasar, pada setiap variasi perlakuan panas yang dilakukan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan *makrohardness*, dengan *penetrator* berupa ujung intan.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2013 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pengujian dilakukan sebanyak 19 titik pada daerah logam las, daerah *HAZ*, dan logam induk, dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar penampang lintang benda uji.



Gambar 3.6. Titik pengujian pada benda uji kekerasan

Nilai kekerasan diambil untuk setiap variasi perlakuan panas merupakan satu benda uji, dengan lokasi yang diambil pada 19 titik secara acak pada ketiga daerah tersebut. Setelah proses penginjakan selesai, langkah selanjutnya mengukur diameter rata-rata dengan menjumlahkan masing diagonal bekas injakan tersebut. Pengukuran diameter hasil injakan dilakukan dengan mikroskop optik dengan skala 38 strip = 1 mm. Setelah didapat nilai rata-rata diameter tersebut, kemudian dikonversikan diameter rata-rata tersebut dalam kekerasan *Vickers Hardness Number* dalam satuan kg/mm^2 sesuai dengan besarnya beban yang dipakai untuk menginjak, dalam penelitian ini beban sebesar 30 kg.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Johanes Tom Fumbo, Prof. Dr. Ir. Wahyu Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah pengamatan, pengukuran serta pengujian dilaksanakan terhadap masing-masing benda uji, baik material awal, benda uji tanpa proses *heat treatment*, maupun benda uji dengan las yang telah mengalami proses *heat treatment,* didapatkan data-data seperti yang akan ditampilkan pada bab ini bersamaan dengan analisa setiap pengujian dan pengamatan.

5.1. PENGUJIAN TARIK

5.1.1. Data Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik Servo Pulser. Hasil pengujian tarik diperoleh dalam bentuk grafik yang diploter langsung dari mesin, grafik tersebut menunjukkan hubungan antara beban dengan pertambahan panjang yang terjadi pada saat proses pengujian. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimum, tegangan luluh, dan pertambahan panjang dari tiap-tiap benda uji. Dari hasil dari pengujian tarik dilakukan perhitungan sebagai berikut (perhitungan untuk benda 1.1) :

- Tegangan Tarik Maksimal :

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A_o} \qquad \text{.....rumus 4.1}$$

$$\sigma_{max} = \frac{10400}{117,97} = 88,16 \text{ kg/mm}^2$$

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

➢ Tegangan Luluh :

$$\sigma_{luluh} = \frac{P_{luluh}}{A_o} \quad \text{.....rumus 4.2.}$$

$$\sigma_{luluh} = \frac{7703,70}{117,97} = 65,30 \text{ kg/mm}^2$$

➢ Pertambahan Panjang :

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_o}{L_o} \times 100\% \quad \text{.....rumus 4.3}$$

$$\varepsilon = \frac{57,80 - 50,54}{50,54} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 14,36\%$$

Keterangan :

- P_{max} diperoleh dengan mengalikan P_{max} pada data yang masih dalam % dengan beban yang dipakai mesin untuk pengujian tarik (pada pengujian ini digunakan beban sebesar 20 ton)
- Data untuk P_{luluh} didapat dengan membandingkan dengan harga P_{maks} pada grafik hasil pengujian tarik (lampiran)
- Data untuk panjang setelah patah (L_1) diukur setelah benda dilakukan pengujian tarik

Untuk hasil perhitungan yang lain dapat dilihat pada tabel-tabel berikut :

Tabel 4.1. Data hasil pengujian tarik untuk material awal (tanpa las)

Benda Uji	Pmax (kg)	A (mm^2)	σ_{max} (kg/mm^2)	σ_{luluh} (kg/mm^2)	ε %
1.1	10400,00	117,97	88,16	65,30	14,36
1.2	10620,00	118,27	89,79	47,56	19,45
1.3	10420,00	117,28	88,84	49,36	18,97
1.4	10620,00	118,67	89,49	50,44	20,87
Rata-rata			89,07	53,17	18,41
Standard Deviasi			0,72	8,18	2,82

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Wahiz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.2. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas tanpa *PWHT*

Benda Uji	Pmax (kg)	A (mm^2)	σ_{max} (kg/mm^2)	σ_{luluh} (kg/mm^2)	ε %	Keterangan Daerah patah
2.1	7940	124,70	63,67	33,81	8,59	Logam las
2.2	11320	125,76	90,25	53,77	11,79	HAZ
2.3	10640	124,89	85,19	50,34	7,36	HAZ
2.4	9680	125,07	77,40	50,31	7,46	HAZ
Rata-rata			84,28	51,47	8,87	
Standard Deviasi			6,47	1,99	2,53	

Data kurang valid, daerah lasan banyak pori-pori

Tabel 4.3. Data Hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan *PWHT* T = 800°C dan t = 0 menit

Benda Uji	Pmax (kg)	A (mm^2)	σ_{max} (kg/mm^2)	σ_{luluh} (kg/mm^2)	ε %	Keterangan Daerah patah
3.1	7800	118,58	65,78	37,00	5,27	HAZ
3.2	9080	123,38	73,60	45,17	11,20	HAZ
3.3	8880	124,94	71,08	33,22	8,69	HAZ
3.4	8720	126,78	68,78	40,06	9,08	HAZ
3.5	8900	120,64	73,77	36,08	13,11	HAZ
Rata-rata			70,60	38,31	9,47	
Standard Deviasi			3,38	4,55	1,84	

Tabel 4.4. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan *PWHT* T = 800°C dan t = 30 menit

Benda Uji	Pmax (kg)	A (mm^2)	σ_{max} (kg/mm^2)	σ_{luluh} (kg/mm^2)	ε %	Keterangan Daerah patah
4.1	11120	125,63	88,52	48,42	11,27	HAZ
4.2	11340	126,79	89,44	48,37	11,03	HAZ
4.3	11260	124,70	90,30	51,38	12,29	Logam las
4.4	11280	125,67	89,76	51,94	11,22	HAZ
4.5	11380	126,48	89,98	49,56	12,16	HAZ
Rata-rata			89,60	49,93	11,59	
Standard Deviasi			0,68	1,66	0,56	

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yuniarto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.5. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan *PWHT* T = 800°C dan t = 60 menit

Benda Uji	Pmax (kg)	A (mm^2)	σ_{max} (kg/mm^2)	σ_{luluh} (kg/mm^2)	ε %	Keterangan Daerah patah
5.1	8780	125,53	69,95	34,97	6,70	HAZ
5.2	9020	126,28	71,43	38,82	11,09	HAZ
5.3	8540	125,70	67,94	40,15	7,51	HAZ
5.4	9040	125,50	72,03	37,19	8,24	HAZ
5.5	8920	124,80	71,48	40,79	8,72	HAZ
Rata-rata			70,57	38,38	8,45	
Standard Deviasi			1,66	2,35	1,36	

Tabel 4.6. Data hasil pengujian tarik untuk material dilas dengan PWHT T = 800°C dan t = 300 menit

Benda Uji	Pmax (kg)	A (mm^2)	σ_{max} (kg/mm^2)	σ_{luluh} (kg/mm^2)	ε %	Keterangan Daerah patah
6.1	8760	122,24	71,66	39,02	7,60	HAZ
6.2	8740	124,32	70,30	37,50	6,43	HAZ
6.3	8640	123,06	70,21	36,87	8,53	HAZ
6.4	7740	128,85	60,07	33,37	4,66	HAZ
6.5	8620	123,35	69,88	37,54	7,49	HAZ
Rata-rata			68,42	36,86	6,94	
Standard Deviasi			4,72	2,10	1,43	

5.1.2. Pembahasan dari data hasil pengujian tarik

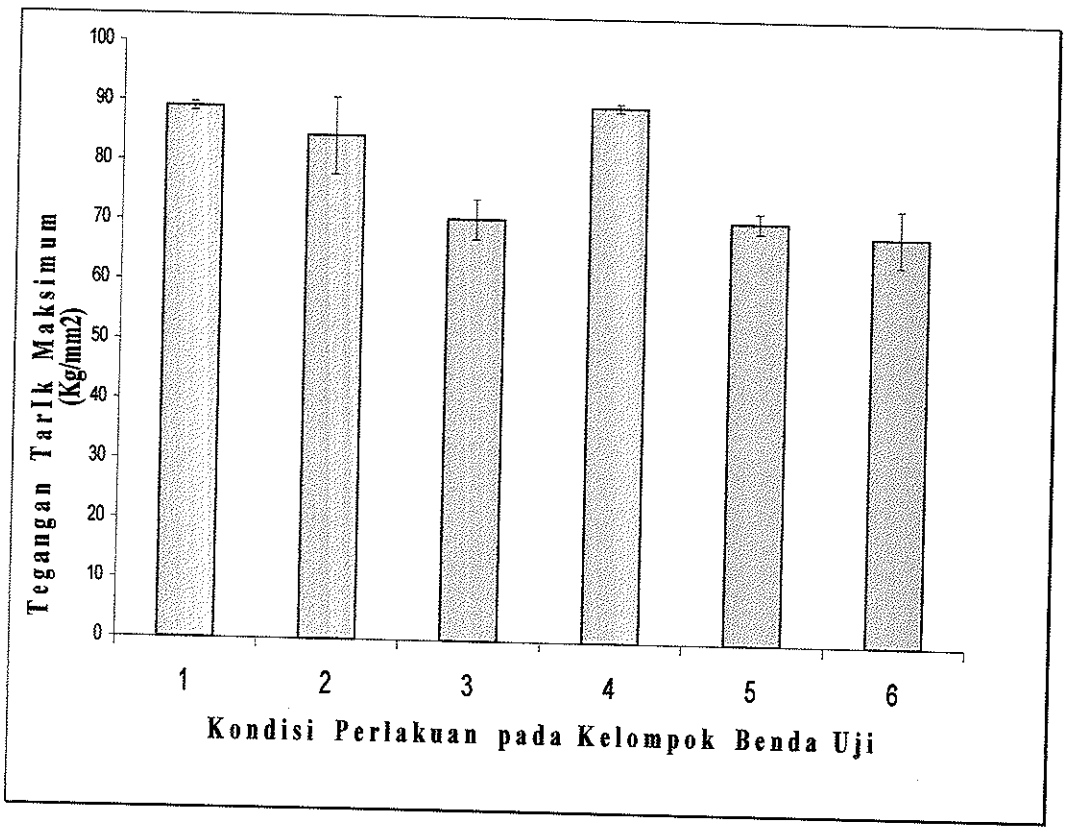
Dari data yang diperoleh melalui pengujian tarik maka untuk dapat mendapatkan hasil penelitian, yang dalam hal ini menentukan waktu menahan proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* maka setiap data yang didapat dicari dan dibandingkan nilai rata – rata dan juga standard deviasinya.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.7. Perbandingan dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji.

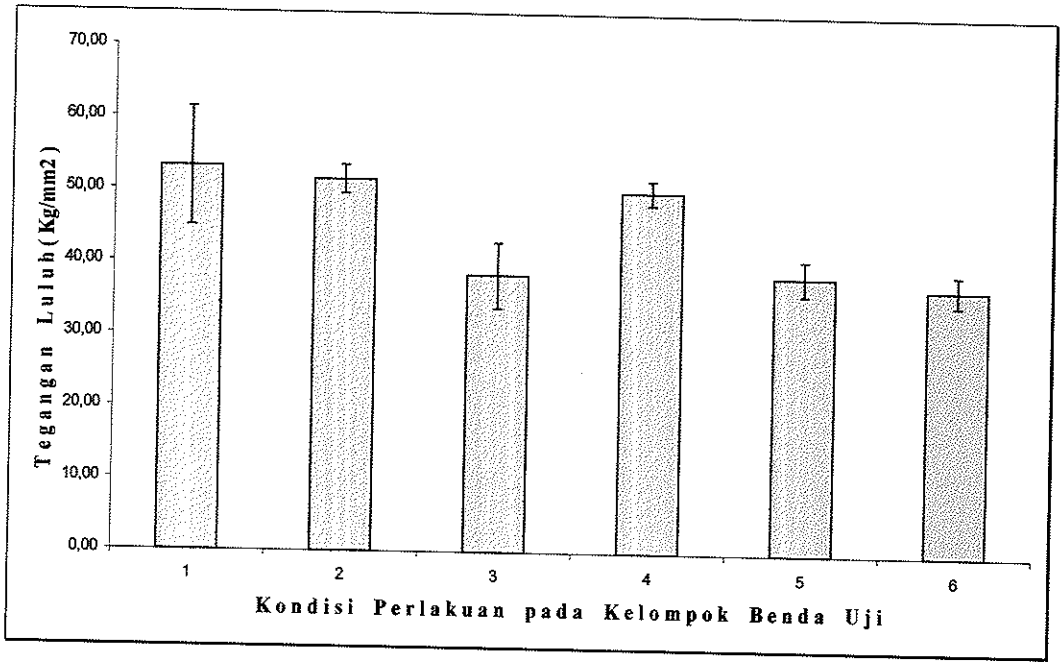
No	Kondisi perlakuan pada kelompok Benda Uji	σ_{max} (kg/mm^2)	σ_{luluh} (kg/mm^2)	ε %
1	Material Awal	89,07 ± 0,72	53,17 ± 8,18	18,41 ± 2,82
2	Material dilas tanpa PWHT	84,28 ± 6,47	51,47 ± 1,99	8,87 ± 2,53
3	*PWHT* T = 800°C dan t = 0 menit	70,60 ± 3,38	38,31 ± 4,55	9,47 ± 1,84
4	*PWHT* T = 800°C dan t = 30 menit	89,60 ± 0,68	49,93 ± 1,66	11,59 ± 0,56
5	*PWHT* T = 800°C dan t = 60 menit	70,56 ± 1,66	38,38 ± 2,35	8,45 ± 1,36
6	*PWHT* T = 800°C dan t = 300 menit	68,43 ± 4,72	36,86 ± 2,10	6,94 ± 1,43

Tabel 4.8. Perbandingan tegangan tarik maksimum (σ_{max}) dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji.

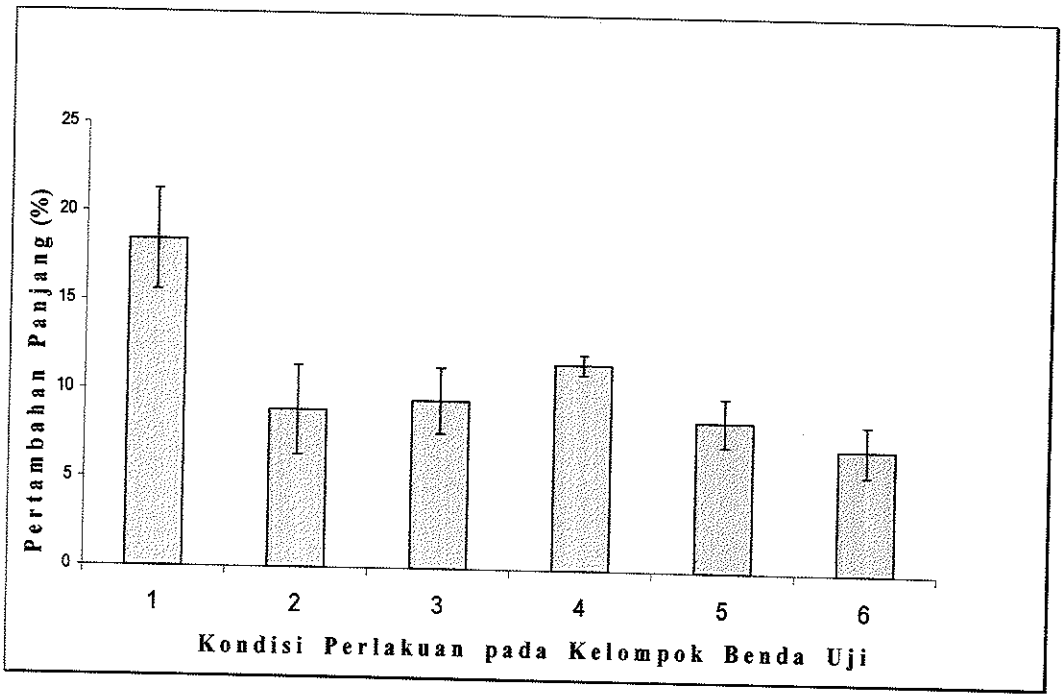


UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.9. Perbandingan tegangan luluh (σ_{luluh}) dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji.



Tabel 4.10. Perbandingan pertambahan panjang (ε) dari hasil pengujian tarik pada setiap kondisi perlakuan kelompok benda uji.



Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto, Ir. M. Widan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Secara keseluruhan berdasarkan pengujian yang dilakukan, patah yang terjadi pada benda uji rata-rata terjadi pada daerah *HAZ*, dan ada sebagian kecil pada daerah logam las. Pada benda uji 2.1. terjadinya patah pada daerah las dan tegangan tarik maksimalnya lebih rendah dari benda uji yang lain masih pada kelompok benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment Annealing* , hal ini terjadi karena pada logam lasnya terjadi cacat las berupa lubang-lubang yang sangat banyak. Patah yang terjadi pada daerah *HAZ* disebabkan pada daerah inilah terjadi siklus perubahan temperatur dari suhu tinggi saat pengelasan dan pendinginan yang tidak bersamaan, yang menyebabkan perubahan struktur yang tidak homogen.

Pada tabel-tabel perbandingan (tabel 4.8, tabel 4.9, dan tabel 4.10) dapat dilihat bahwa material awal mempunyai kekuatan tarik rata- rata dan regangan rata yang lebih tinggi dibanding setelah material mengalami pengelasan, yaitu kekuatan tariknya 89,07 kg/mm^2 dan regangan 18,41 %, dan material yang mengalami pengelasan kekuatan tariknya 79,13 kg/mm^2 dan regangan 8,80 %. Hal ini disebabkan oleh keadaan semula dari material awal masih homogen, karena belum terkena pengaruh panas dari pengelasan sehingga struktur mikronya belum mengalami perubahan.

Pada material yang mengalami *PWHT* dengan variasi waktu penahanan, dapat terlihat bahwa pada *PWHT* dengan temperatur (T)= 800^{o}C dan waktu menahan (t) = 30 menit, kekuatan tarik rata-rata hampir sama dengan kekuatan tarik material awalnya yaitu 89,60 kg/mm^2 dan regangan rata-ratanya sedikit di bawah regangan rata-rata material awalnya yaitu 11,59 %. Hal ini sesuai dengan teori pada bab II dasar teori tabel 2.8 *Soaking period* untuk baja pada proses *Hardening* dan *Annealing*, bahwa waktu menahan optimal proses *annealing* untuk benda dengan ketebalan sampai dengan 1 inchi (1 inchi = 25,4 mm) adalah 30 menit, sehingga dapat dikatakan bahwa waktu penahanan ini paling optimal dan sifat material hampir sama dengan material awal kembali. Apabila proses *Annealing* dilakukan kurang ataupun lebih dari

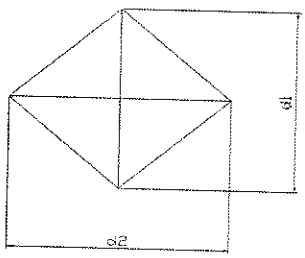
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Hutahaean, Ir. Hendri Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

terlalu jauh. Suatu bahan dikatakan tangguh apabila bahan tersebut mempunyai kekuatan, regangan, dan kekerasan yang tinggi.

5.2. PENGUJIAN KEKERASAN

5.2.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini membandingkan kekerasan pada daerah logam las, daerah *HAZ*, dan daerah logam induk. Pada pengujian kekerasan ini digunakan metode *Vickers*, dengan beban penginjakan 30 kg , hasil berupa diagonal pijakan dari intan penekan, kemudian dengan rumus dihitung kekerasannya.



$$\text{diameter rata-rata } (d) = \frac{(d1 + d2)}{2} \qquad \text{.....rumus 4.4.}$$

Berikut adalah contoh dari perhitungannya :

$$HV = 1{,}854 \times \frac{P}{d^2} \ (kg/mm^2) \qquad \text{.....rumus 4.5.}$$

$$HV = 1{,}854 \times \frac{30}{(15{,}5/38)^2} = 334{,}30 \ kg/mm^2$$

Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

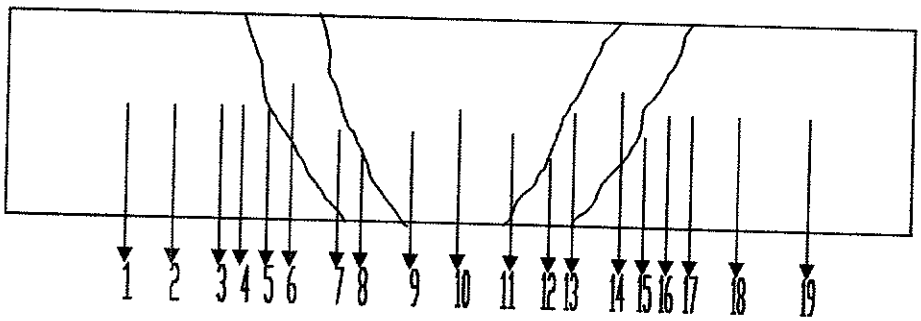
BAB IV Ha
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.11. Data hasil pengujian kekerasan

Daerah		Titik	Dilas Non PWHT	PWHT T = 800°C & t = 0'	PWHT T = 800°C & t =3 0'	PWHT T = 800°C & t = 60'	PWHT T = 800°C & t = 300'
Sebelah kiri	Logam Induk	1	334,3	191,11	165,94	195,86	191,11
		2	334,3	195,86	182,12	195,86	182,12
		3	338,65	200,79	186,54	191,11	173,75
		4	345,35	200,79	177,86	191,11	177,86
		5	343,1	200,79	186,54	198,3	177,86
	Daerah HAZ	6	347,63	198,3	182,12	200,79	177,86
		7	356,96	200,79	162,23	191,11	165,94
		8	352,24	277,91	262,25	173,75	222,48
Daerah Las		9	334,3	269,91	269,91	247,89	234,67
		10	330,03	269,91	254,92	234,67	228,45
		11	323,77	254,92	254,92	234,67	236,58
Sebelah kanan	Daerah HAZ	12	345,35	198,3	277,91	247,89	234,67
		13	345,35	205,9	165,94	182,12	247,89
		14	347,63	195,86	169,78	205,9	177,86
	Logam Induk	15	345,35	191,11	173,75	205,9	182,12
		16	345,35	198,3	182,12	200,79	177,86
		17	334,3	195,86	177,86	200,79	191,11
		18	327,92	193,47	182,12	205,9	200,79
		19	334,3	198,3	186,54	200,79	191,11

Keterangan :

Nomor Vertikal, angka 1 – 19 menunjukkan posisi titik pengujian kekerasan *Vickers*, dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut

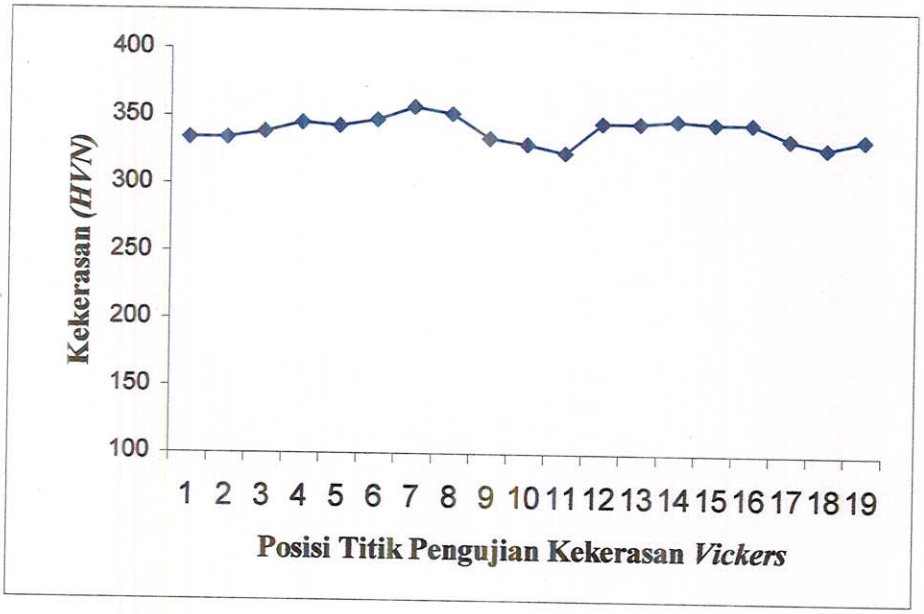


Gambar 4.1. Posisi titik pengujian kekerasan *Vickers*

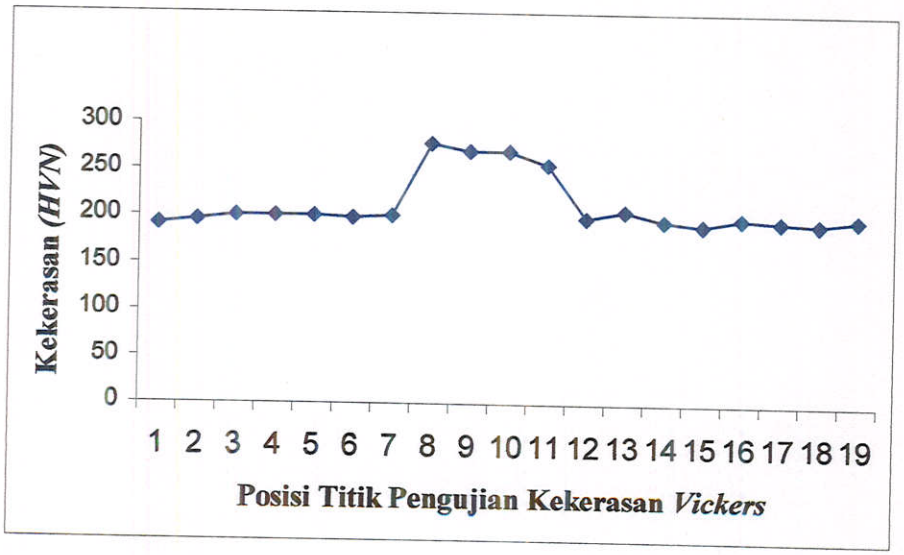
Untuk lebih memperjelas Tabel 4.11. diatas ditampilkan menjadi dalam bentuk grafik berikut :

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Tohil Yulianto, Ir. M. Wahid Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.12. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas *non PWHT*

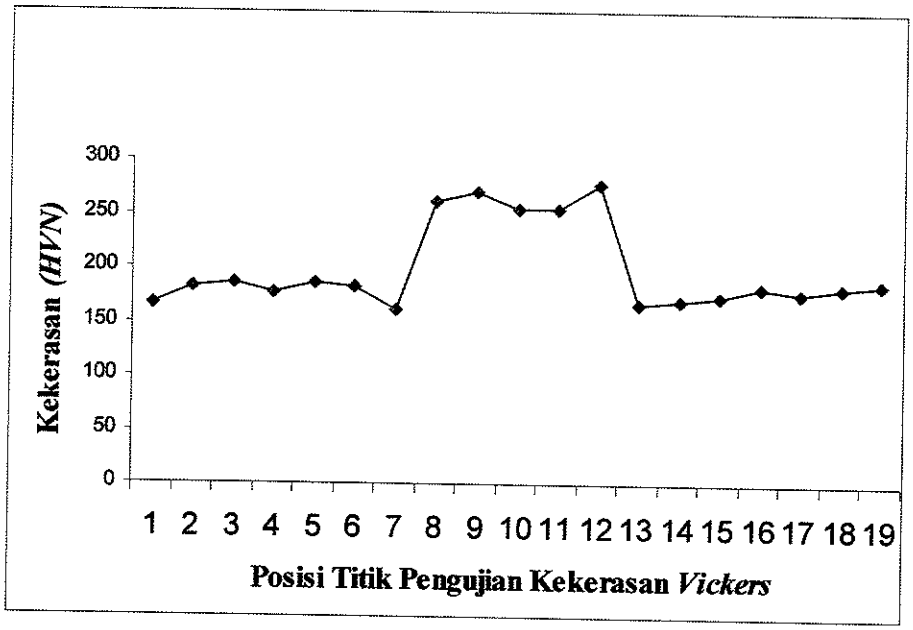


Tabel 4.13. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan *PWHT* T = 800°C dan t = 0 menit

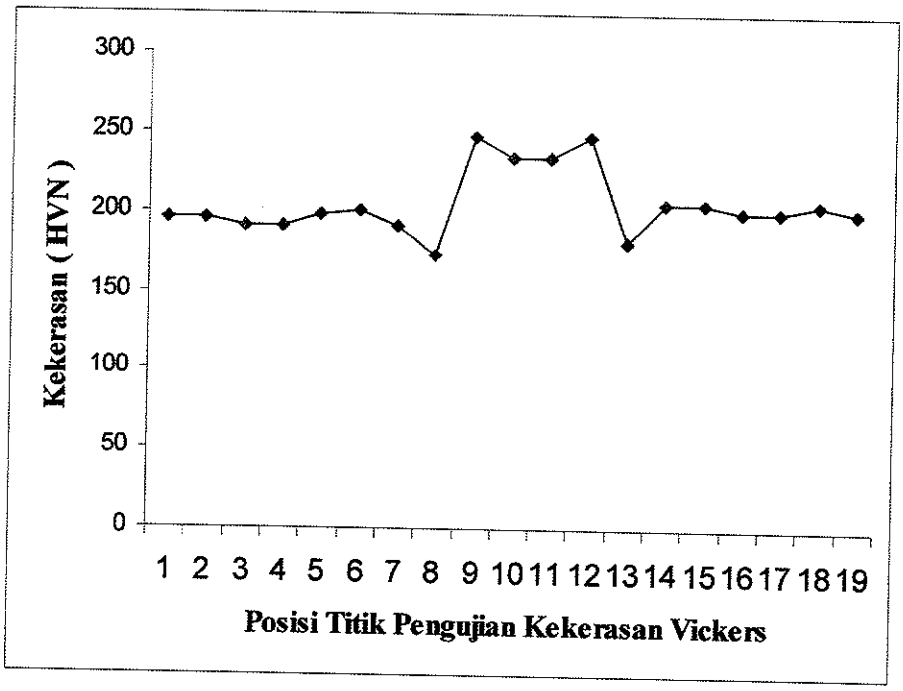


Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Tofit Yulianto, Ir. M. Wazir Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.14. Data Hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan *PWHT* T = 800°C dan t = 30 menit

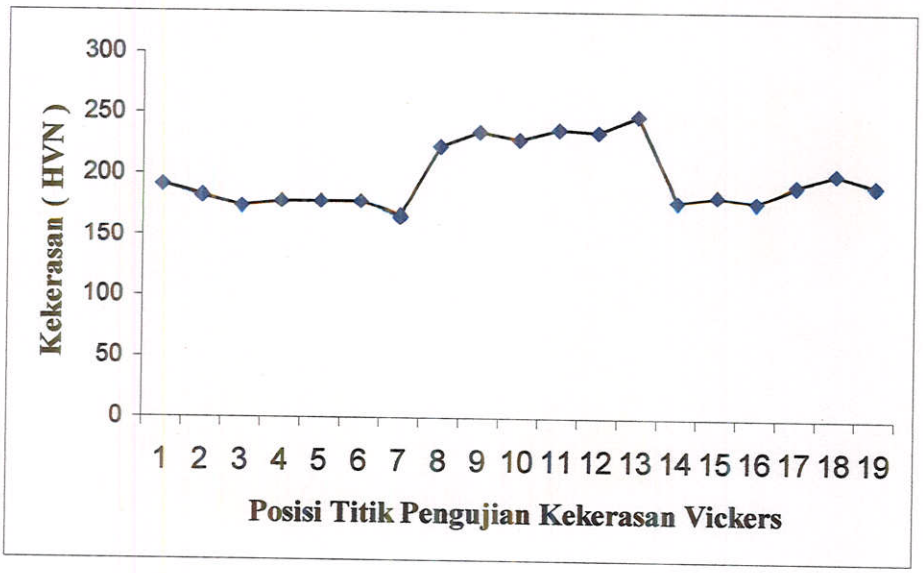


Tabel 4.15. Data Hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan PWHT T = 800°C dan t = 60 menit

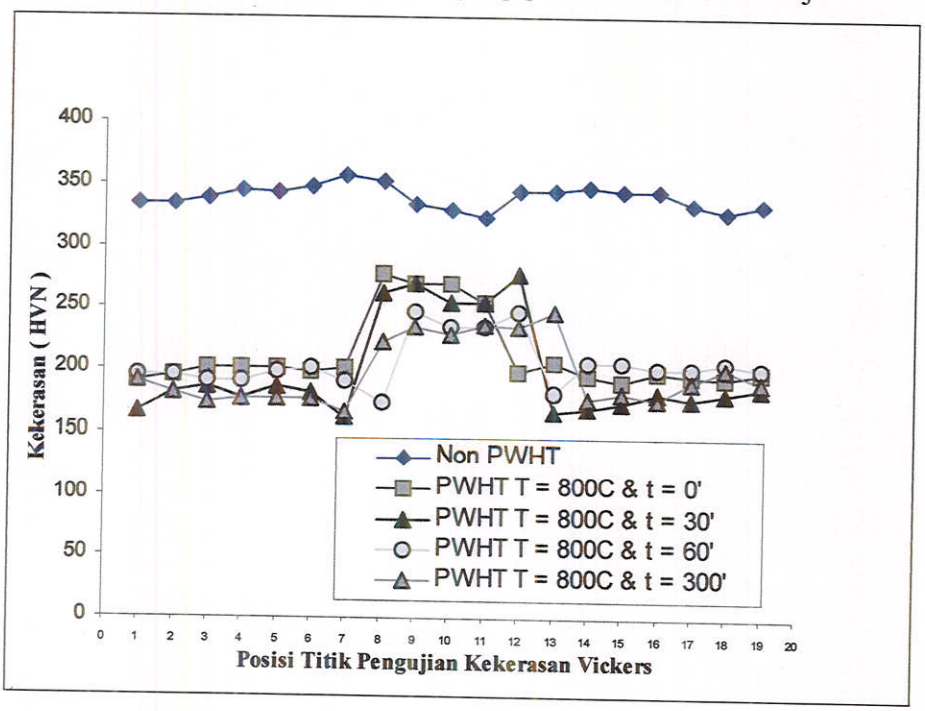


Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yuliantd , Ir. M. Wazir Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.16. Data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan PWHT T = 800°C dan t = 300 menit



Tabel 4.17. Perbandingan data hasil pengujian kekerasan benda uji



Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Johanes Yoel Chandra, Ir. M. Wildan, M.Sc., Ph.D.
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2.2. Pembahasan dari data hasil pengujian kekerasan

Pada pengujian kekerasan pada material awal, diketahui bahwa kekerasan rata-ratanya 334 *HVN (Hardness Vickers Number)*, dan pada benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment Annealing* terlihat bahwa daerah *HAZ* memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari kekerasan logam las dan logam induknya. Hal ini terjadi karena daerah *HAZ* mengalami siklus termal yang paling besar dimana saat proses pengelasan terjadi pemanasan dan pendinginan yang cepat sehingga daerah ini menjadi lebih keras.

Pada Tabel-tabel data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan *Post Weld Heat Treatment* T = 800°C, terlihat bahwa kekerasan di daerah las dan *HAZ* menjadi lebih tinggi dari kekerasan logam induknya, hal ini disebabkan struktur butiran yang dihasilkan lebih merata dan mengurangi tegangan sisa yang terjadi selama proses pengelasan. Struktur perlit dan ferit yang lebih halus akan meningkatkan kekerasan bahan.

Dari tabel 4.17. Perbandingan data hasil pengujian kekerasan benda uji terlihat bahwa secara keseluruhan pada benda uji dilas dengan *Post Weld Heat Treatment Annealing*, kekerasan pada logam las, daerah *HAZ*, maupun logam induk lebih rendah dari kekerasan benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment Annealing*. Hal ini sesuai dengan tujuan dari proses *annealing* yaitu menurunkan kekerasan dan meningkatkan keuletan bahan seperti yang dijelaskan pada dasar teori 2.5.2.2. tentang proses *annealing*.

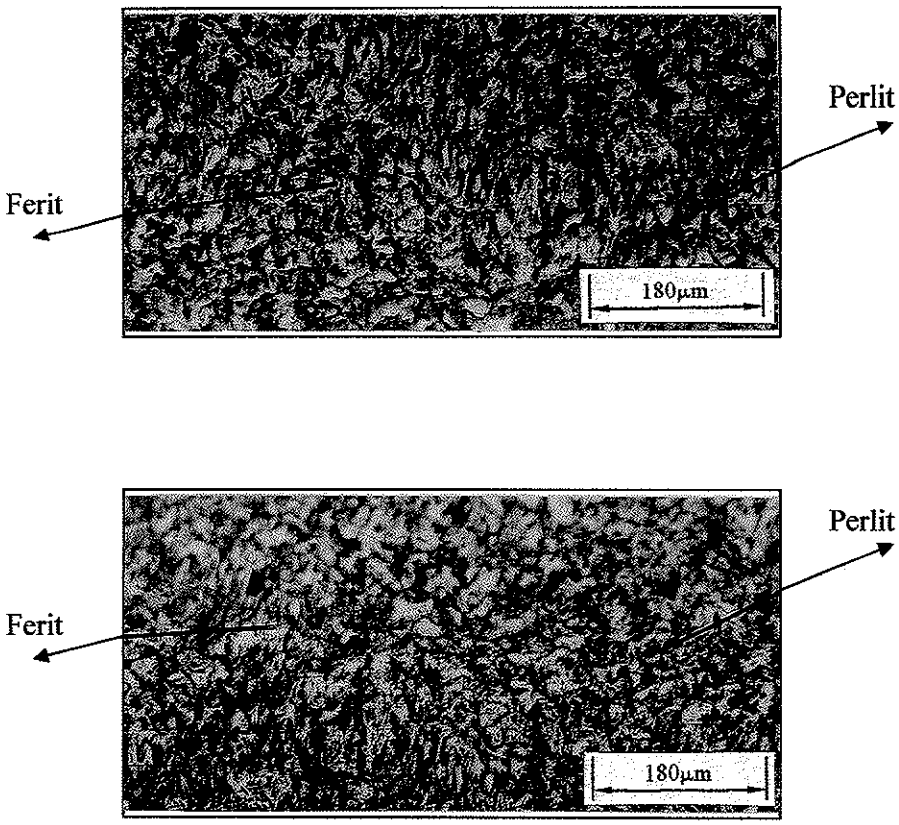
5.3. PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

5.3.1. Gambar hasil pengamatan

Pengamatan yang dilakukan pada struktur mikro dilakukan dengan mengambil gambar pada material awal, struktur makro bagian las, daerah las, daerah *HAZ*, dan logam induk untuk masing-masing benda uji. Sehingga gambar yang diambil seluruhnya 22 buah. Kemudian dari gambar-gambar yang sudah dilihat dan diambil

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Muhammad Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

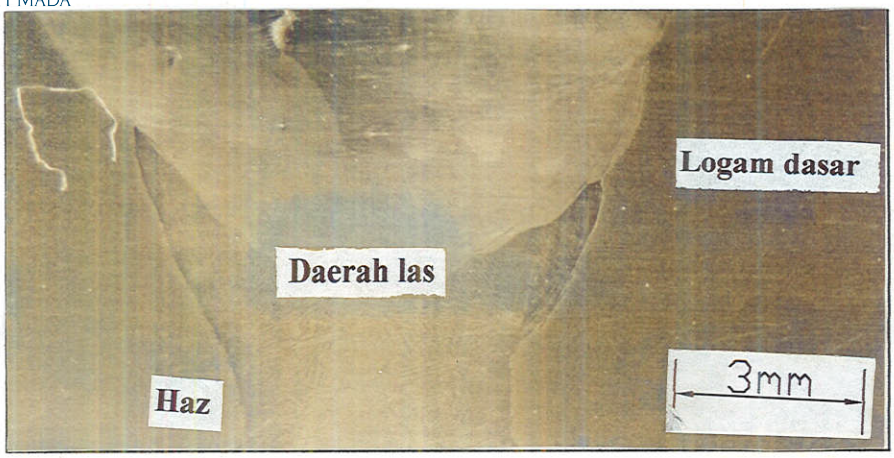
gambarnya dari mikroskop optik dibandingkan dan dilihat fenomena yang terjadi antara benda uji yang hanya dilas dengan benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing.* Pembesaran yang dilakukan adalah 100x. Berikut ini ditampilkan gambar struktur mikro dari material awal.



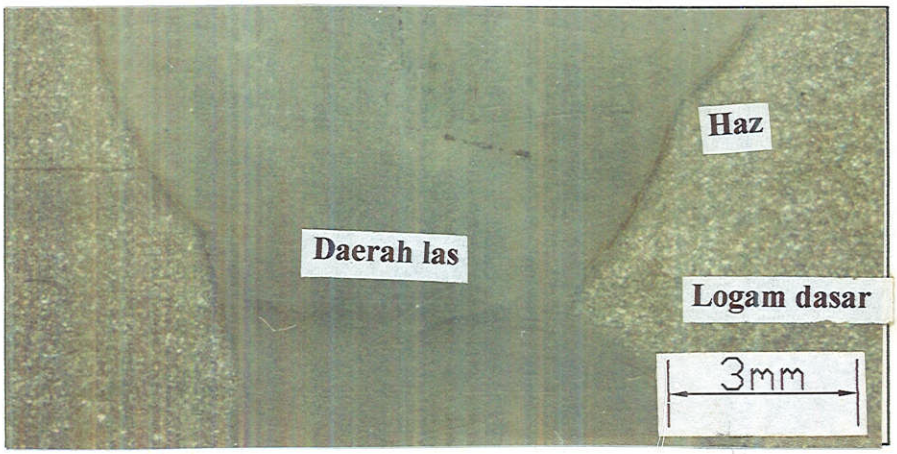
Gambar 4.2 Struktur mikro material awal

Secara berurutan akan ditampilkan mulai struktur makro bagian las, dari benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment Annealing,* benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan berturut-turut (t) = 0 menit, 30 menit, 60 menit, dan 300 menit

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Wazlz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

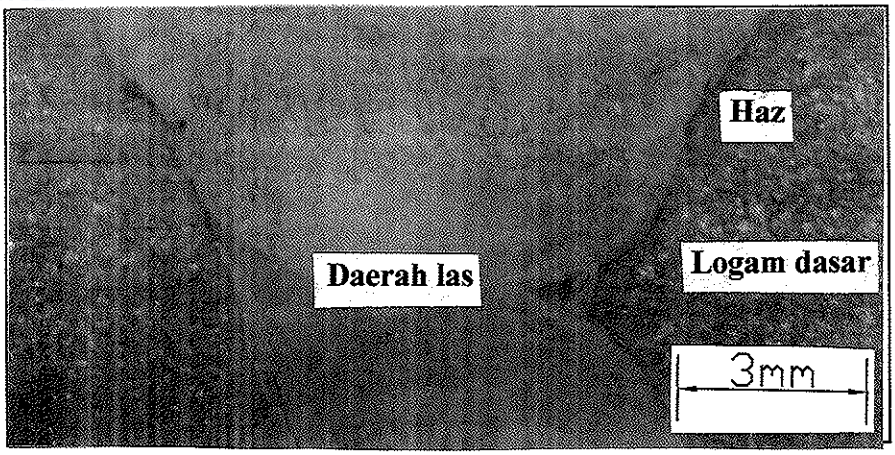


Gambar 4.3. Struktur makro benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment*

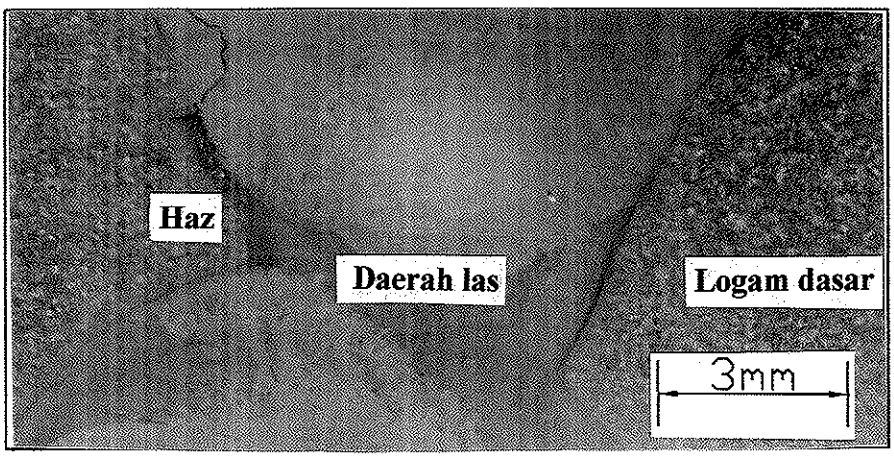


Gambar 4.4. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 0 menit

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Johanes Toni Yulianto, M. M. Wazir Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

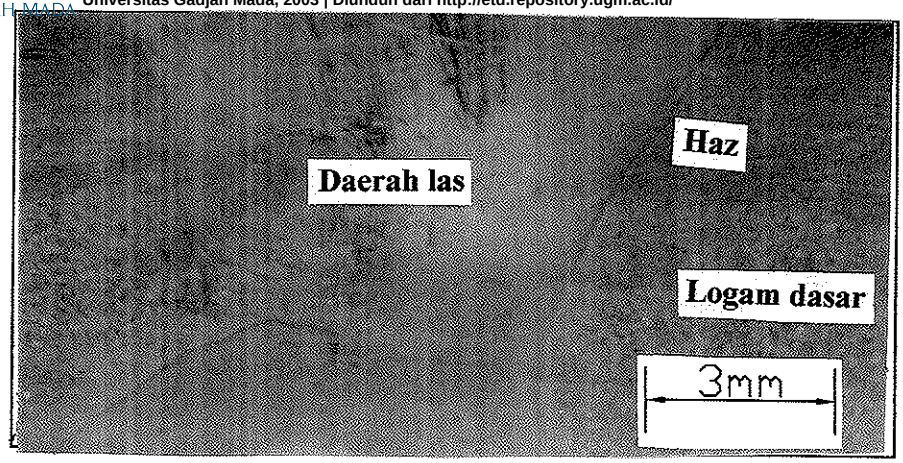


Gambar 4.5. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 30 menit



Gambar 4.6. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 60 menit

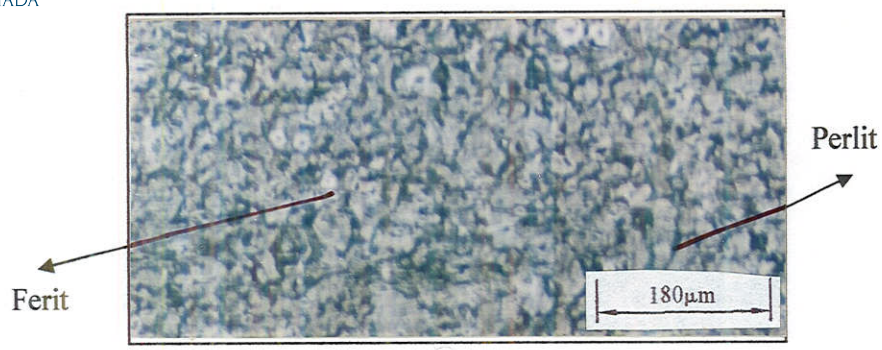
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



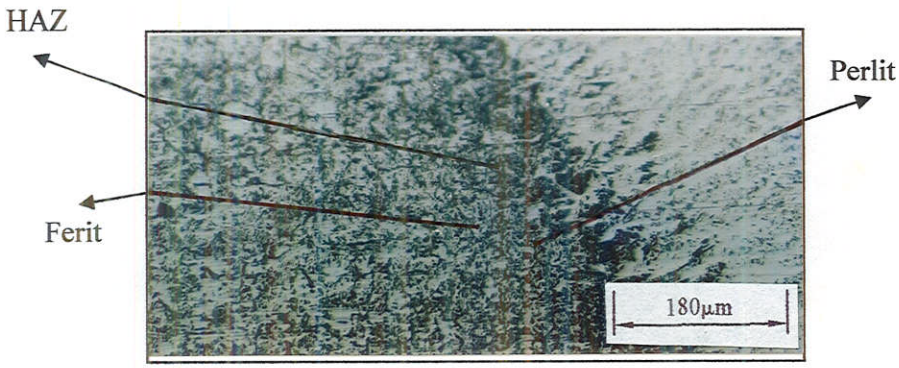
Gambar 4.7. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 300 menit

Secara berurutan akan ditampilkan gambar struktur mikro bagian las, meliputi daerah las, daerah HAz, dan logam induk dari benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment Annealing,* benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan berturut-turut (t) = 0 menit, 30 menit, 60 menit, dan 300 menit.

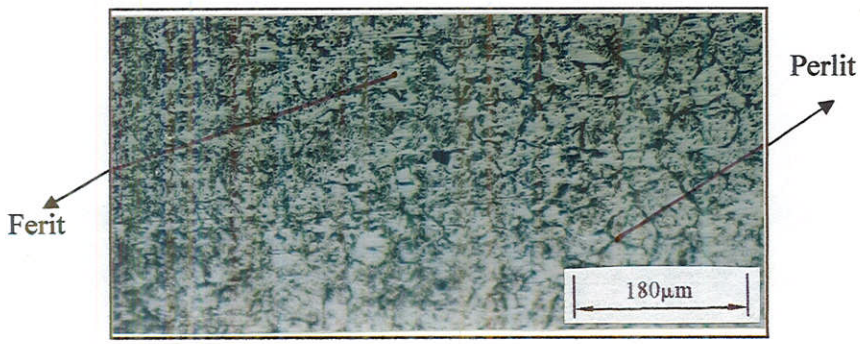
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto, Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.8 (a)



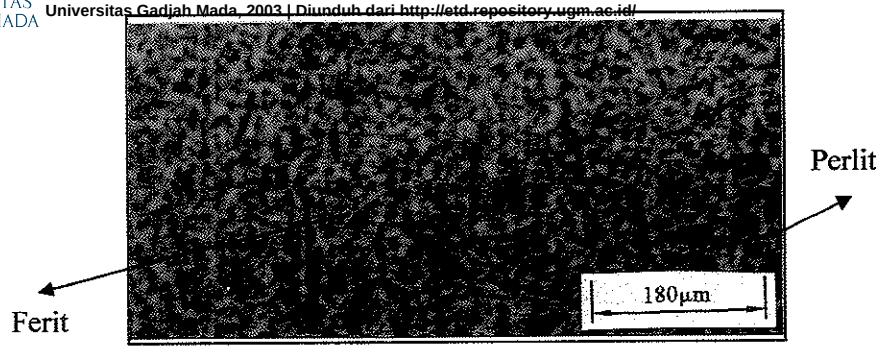
Gambar 4.8 (b)



Gambar 4.8 (c)

Gambar 4.8. Struktur mikro benda uji dengan las tanpa *Post Weld Heat Treatment*, (a) daerah las, (b) daerah HAZ, dan (c) logam induk

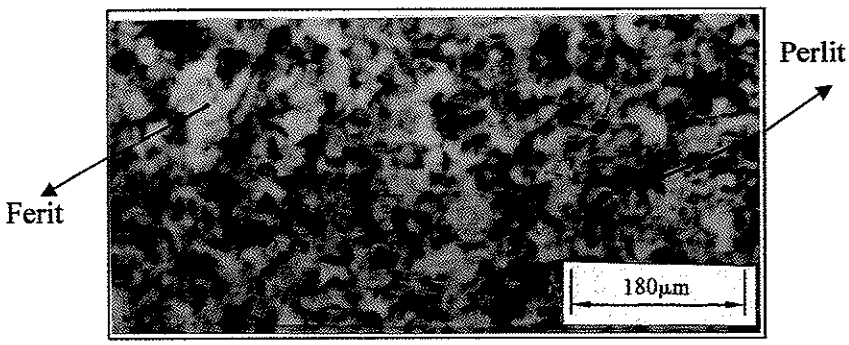
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.9 (a)



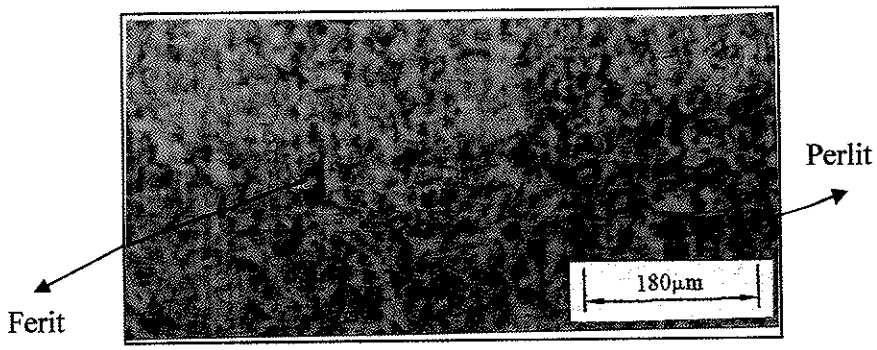
Gambar 4.9 (b)



Gambar 4.9 (c)

Gambar 4.9. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 0 menit, (a) daerah las, (b) daerah HAZ, dan (c) logam induk

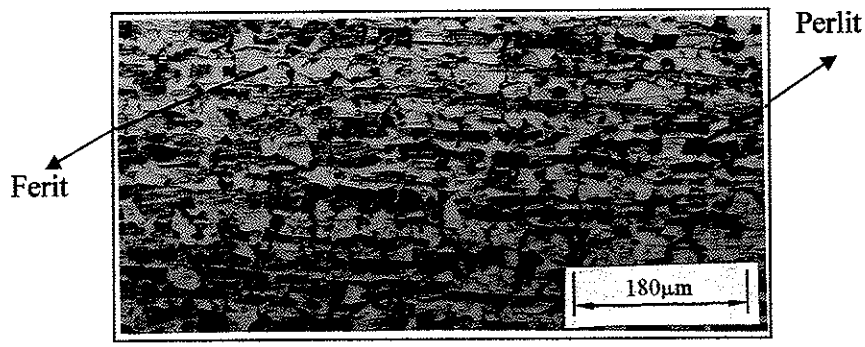
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.10 (a)



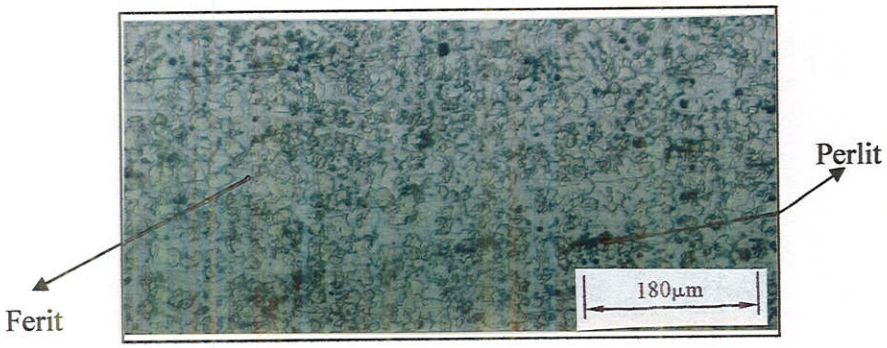
Gambar 4.10 (b)



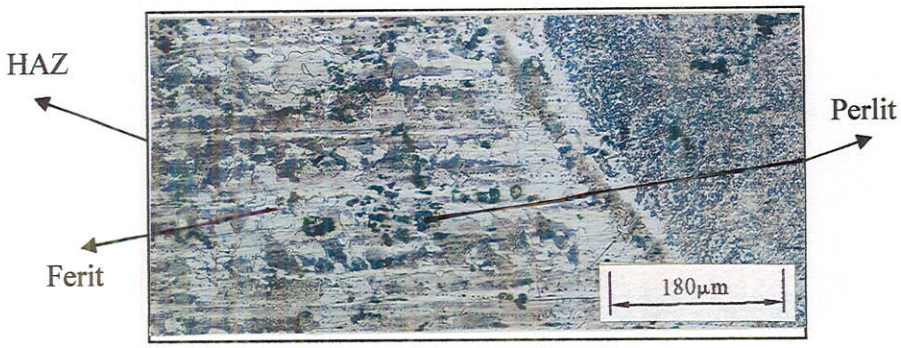
Gambar 4.10 (c)

Gambar 4.10. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 30 menit, (a) daerah las, (b) daerah HAZ, dan (c) logam induk

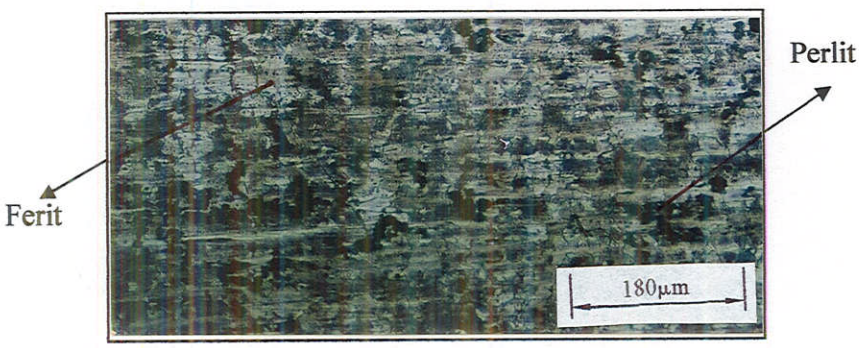
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Johanes Toni Yulianto, Ir. M. Aziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.11 (a)



Gambar 4.11 (b)



Gambar 4.11 (c)

Gambar 4.11. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 60 menit, (a) daerah las, (b) daerah HAZ, dan (c) logam induk

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.12 (a)



Gambar 4.12 (b)



Gambar 4.12 (c)

Gambar 4.12. Benda uji yang dilas dan mendapat perlakuan *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu penahanan (t) = 300 menit, (a) daerah las, (b) daerah HAZ, dan (c) logam induk

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.3.2. Pembahasan hasil pengambilan gambar struktur mikro

Struktur yang terjadi pada sambungan las, sangat ditentukan oleh temperatur pemanasan pada saat pengelasan dan laju pendinginan setelah pengelasan, selain itu juga tergantung pada komposisi kimia logam induk, logam pengisi, proses pengerjaan sebelumnya, cara pengelasan, dan perlakuan panas yang dilakukan. Struktur mikro yang terjadi dan laju pendinginan akan menentukan sifat mekanis dari bahan tersebut. Adanya panas dari proses pengelasan mengakibatkan perbedaan struktur mikro antara daerah las, daerah HAZ, dan logam induk.

5.3.2.1. Struktur mikro daerah las

Logam las merupakan bagian yang mencair pada saat pangelasan, dimana bagian ini mendapatkan temperatur yang sangat tinggi. Strukturnya banyak dipengaruhi oleh komposisi kawat las dan laju pendinginannya. Strukturnya berupa ferit dan perlit dengan butiran yang halus. Ukuran yang lebih halus adalah pada *PWHT* dengan waktu menahan (t) = 30 menit. Semakin lama waktu penahanan maka jumlah kandungan perlit semakin banyak dan butirannya lebih besar.

5.3.2.2. Struktur mikro daerah HAZ

Daerah ini merupakan logam induk yang masih terpengaruh oleh panas dari busur listrik, dan semakin dekat dengan las akan mendapat masukan panas yang tinggi, dan semakin jauh akan berkurang. Hal ini akan mengakibatkan kecepatan pendinginan tidak merata, sehingga berpengaruh pada struktur mikro yang terjadi. Struktur mikro yang terjadi ferit (putih) dan perlit (hitam), dimana jika dibandingkan dengan logam induk butirannya lebih halus. Akibat dari variasi waktu *annealing* hampir sama yaitu perlit semakin banyak dan butirannya membesar apabila waktu menahan semakin lama, hal ini terlihat pada gambar struktur makro dan lebih jelasnya pada gambar struktur mikronya.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.3.2.3. Struktur mikro logam induk

Pada daerah logam induk pada benda uji tanpa perlakuan panas tidak mengalami perubahan struktur mikro akibat pengelasan, sedangkan untuk benda uji yang mengalami *PWHT*, terjadi perubahan yaitu pertumbuhan perlit, yang jumlah dan butirannya membesar, dibandingkan dengan variasi waktu yang dilakukan, maka semakin lama waktu menahan maka butiran perlit semakin banyak dan butirannya membesar.

5.3.3. Pengaruh struktur mikro pada sifat mekanis

Sifat mekanis yang diujikan pada penelitian ini adalah kekuatan tarik dan kekerasan. Dari penelitian ini sifat mekanik sambungan las ini lebih ditentukan pada strutur mikro daerah *HAZ*, dimana patahnya benda pengujian tarik pada *HAZ*nya. Proses *PWHT* yang dilakukan bertujuan untuk memperbaiki struktur di daerah ini, dimana diusahakan untuk mendapatkan variasi waktu penahanan proses *annealing* sehingga struktur lebih homogen pada ketiga daerah tersebut. Semakin halus butiran struktur mikro yang terjadi maka kekerasannya menjadi lebih tinggi

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

1. Proses pengelasan sangat mempengaruhi sifat mekanis dari sambungan logam, dimana akan terjadi perubahan pada struktur mikro di sekitar las akibat dari masukan panas yang tinggi pada saat pengelasan dan pendinginan yang tidak merata pada sekitar logam lasan. Semakin halus dan homogen struktur mikro yang terjadi maka kekerasan akan meningkat.
2. Untuk baja jenis THYRODUR 1730 dengan kandungan karbon (C) = 0,545%, yang digunakan pada penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa pada proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* dengan temperatur (T) = 800°C dan waktu menahan (t) = 30 menit, baja jenis ini kekuatan tariknya hampir mendekati kekuatan material awal dengan menurunkan kekerasannya, sehingga variasi ini memberikan hasil optimal pada penelitian yang dilakukan, yaitu kekuatan tarik maksimum rata-rata 89,69 kg/mm^2, dan pertambahan panjang rata-rata 11,59%, tetapi kekerasannya lebih rendah yaitu 200 *VHN*.
3. Waktu penahanan proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* yang lebih cepat dari 30 menit akan mengakibatkan sifat fisis dan mekanisnya menurun, terlihat dari hasil pada variasi waktu penahanan 0 menit dimana kekuatan tarik maksimum rata-rata 70,60 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 9,47%, dan kekerasan rata-ratanya 212 *VHN*
4. Waktu penahanan proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* yang lebih lama dari 30 menit akan mengakibatkan sifat fisis dan mekanisnya akan menurun juga, terlihat dari hasil pada variasi waktu penahanan 60 menit dimana kekuatan tarik maksimum rata-rata 70,56 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 8,45%, dan kekerasan rata-ratanya 205 *VHN* dan pada variasi waktu penahanan 300 menit dimana kekuatan tarik maksimum rata-

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

rata 68,43 kg/mm^2, pertambahan panjang rata-rata 6,94%, dan kekerasan rata-ratanya 198 *VHN.*

5. Pada proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* semakin lama waktu penahanan maka butiran struktur mikro yang terjadi yaitu perlit menjadi lebih besar, dan mengakibatkan daerah *HAZ* menjadi lebih getas dan kekuatan tariknya rendah.

5.2. SARAN

1. Sebelum melakukan penelitian, untuk mendapatkan hasil yang baik perlu dilakukan uji komposisi dari bahan yang akan digunakan, supaya pemilihan parameter penelitian lebih tepat, karena belum tentu komposisi material sesuai dengan brosur yang ditawarkan dari pabrik yang memproduksi material tersebut.
2. Sebelum melakukan pengambilan gambar untuk struktur mikro, untuk mendapatkan hasil yang memuaskan dan gambar yang jelas, benda uji perlu diperhatikan kerataan dan kesejajaran dari bidang yang akan diambil gambarnya dengan meja mikroskop.

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Metal, ***Metals Handbook Ninth Edition (Metalography and Microstructures)***, Ohio.

Cary, H.B., 1997, ***Modern Welding Technology***, Regent/Prentice Hall, New Jersey.

Charlie, R.B. , 1993, ***Heat Treatment of Ferrous Alloys***, Mc-Graw-Hill, New York.

Gupta, R.B.,1998, ***Material Science***, Satya Prakashan, Tech India Publications, New Delhi.

Japan Standards Asociations, 1981, ***JIS Handbook.***

Kou, Sindo, 1987, ***Welding Metallurgy***, john Wiley & sons, New York.

Rajan, Sharma, Ashok, 1997, ***Heat Treatment principles and Tecniques***, Prentice Hall, New Delhi.

Smith,W.F, 1993, ***Principles of MATERIAL SCIENCE AND ENGINEERING***, Edisi 2, McGraw-Hill, Inc, New York.

Subagyo, S., 1990, ***Arc Welding***, ATMI, Surakarta.

Surdia,T, Saito Shinroku, 1981, ***Pengetahuan Bahan Teknik***, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.

Wiryosumarto Harsono, Toshie Okumura, 1981, ***Teknologi Pengelasan Logam***, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.

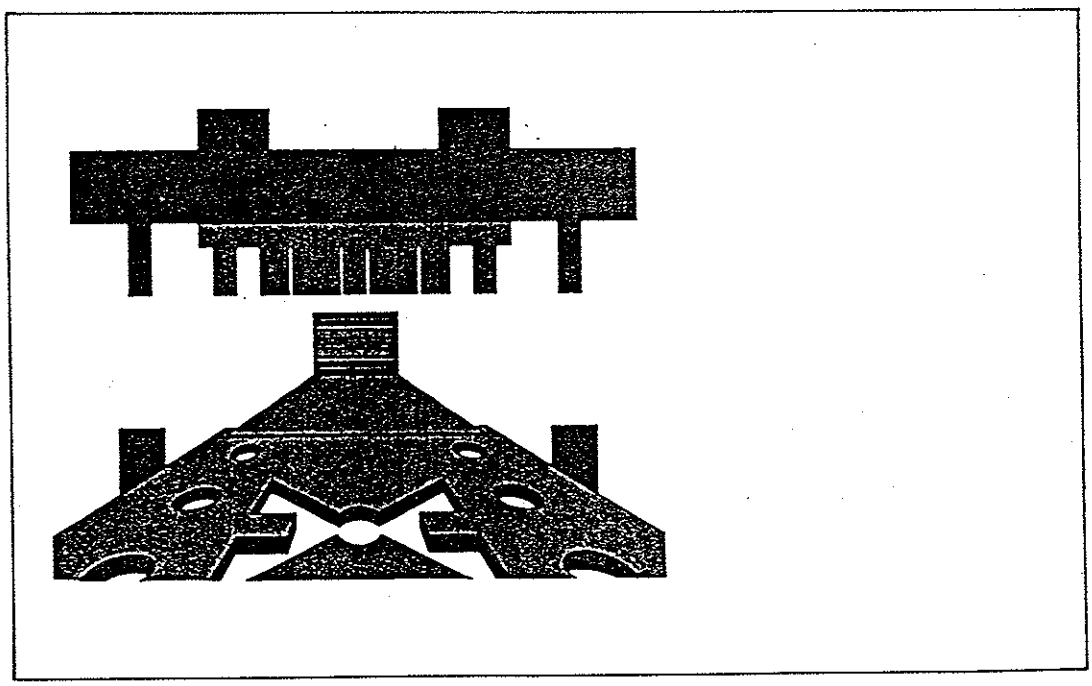
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SEN EDELSTAHLWERKE AG
RMANY

THYRODUR 1730
Cold Work Tool Steel



Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

THYRODUR 1730
Cold Work Tool Steel

Analysis in %	C	Si	Mn
	0.45	0.3	0.7

al No.	1.1730
ode	C 45 W
rable Standards	AISI ~1148, 1045

reatment Data

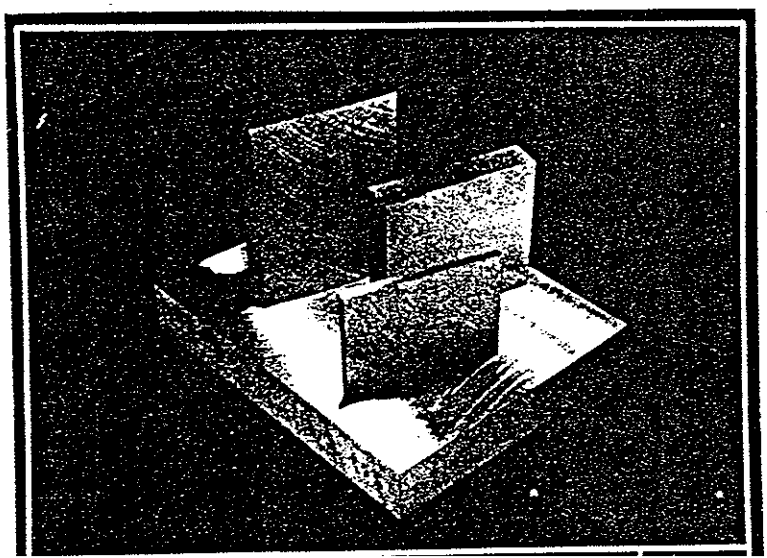
Hot Forming °C	Cooling
1050 — 800	slow, e.g. in furnace

Soft Annealing °C	Cooling	Hardness HB
680 — 710	furnace	max. 190

Hardening from °C	in	Hardness after Quenching HRC
800 — 830	water	57

Tempering °C	100	200	300
HRC	57	54	49

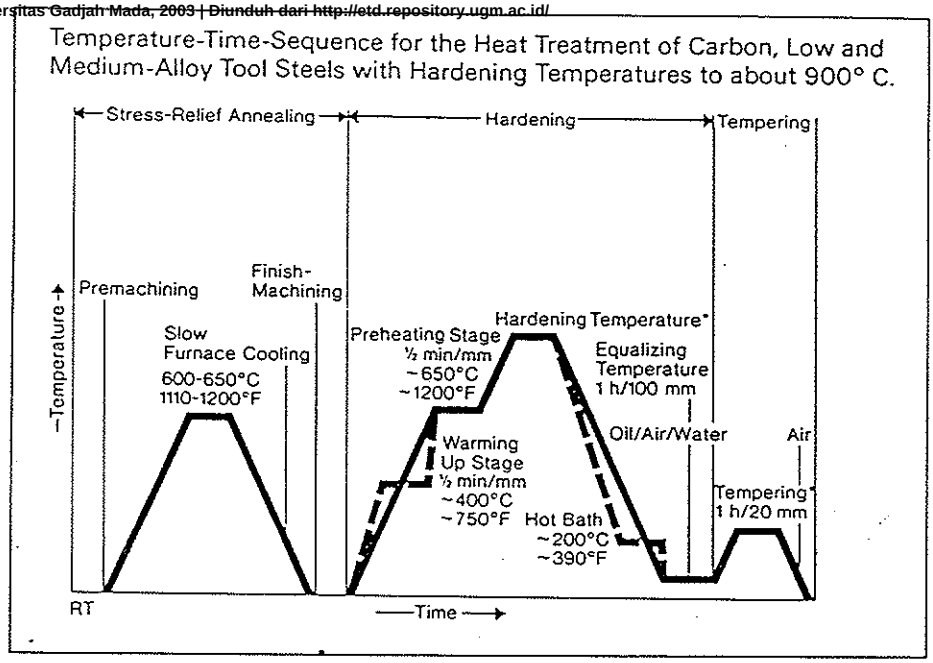
ations
up tools, for instance base plates for tools in plastic moulding, pressure casting tools, untreated, e strength approx. 650 N/mm². Hand tools and agricultural tools of all kinds.



Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ef Annealing

hining operation
re set up which may
stortion during the heat
In such a case costly
ng will be the
ace. For this reason it is
y important after heavy
rk and for tools of
nape to carry out a
ef annealing at 600-650°C
e proper heat treatment
relax these stresses.
g time at this
re should be at least 2
tools of larger size it
at least 1 hour for each
l thickness.
ntly the tool should be
cool down slowly in the
nen it is finish-machined
d to a grinding allowance,
nding of the heat treated
d still be possible.



ance of a proper
treatment particularly
oy steels should not be

partially lower thermal
y and the various tool
rapid heating to
emperature significant
sions will occur which
n distortion or even in
the tools. For this
cific preheating stages
n the temperature-time-
must absolutely
This is done by a slow
gh heating to the stated
temperature at which
e held till temperature

equalization throughout the entire section. Subsequently a further heating to the next temperature stage may be carried out.

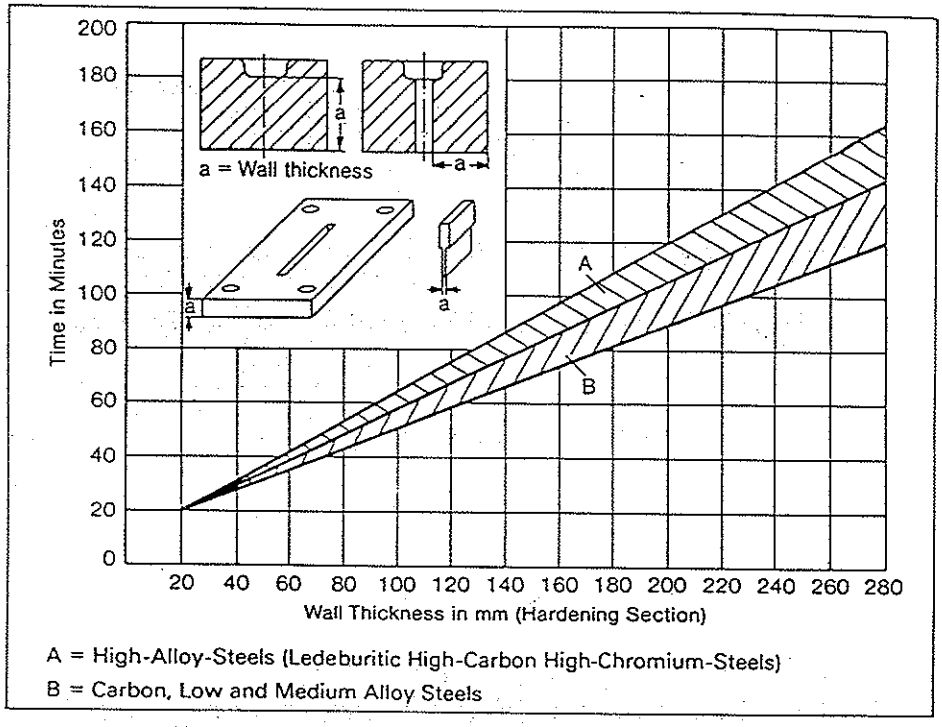
It has to be distinguished between the heat treatment in muffle or chamber furnaces and that in salt baths (hot bath). When heat treating in a muffle or chamber furnace the warming up stage shown in the temperature-time-sequence diagrams may be omitted. In that case it has to be taken care that the tools are protected against oxidation and decarburization by means of slightly reducing media, as for instance spent pitch coke, charcoal or cast-iron splinters. Previously the working face of the tool is preferably covered with paper.

When using salt baths warming up to about 400°C in an air circulating furnace or in a similar unit will be necessary. The holding time at temperature should be ½ minute per mm wall thickness for warming up as well as for preheating.

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

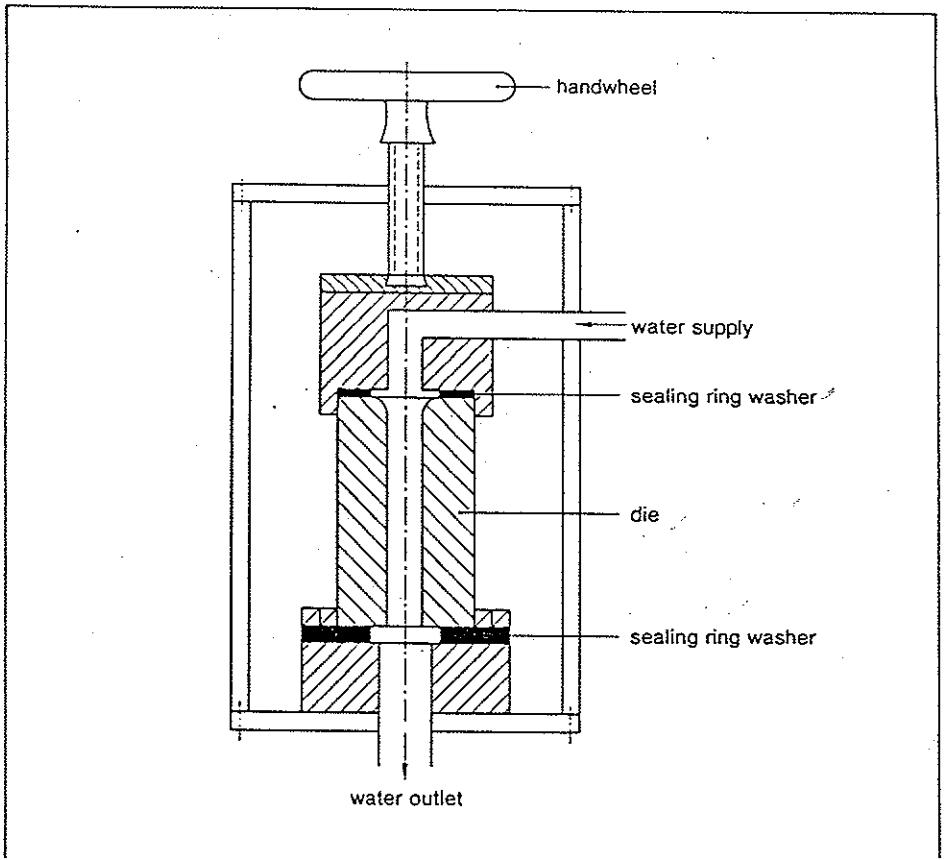
tizing

ıe last preheating stage the ature of the tool is raised to the hardening range on page 1. After the tool has eated throughout, it is held erature sufficient long to complete transformation. owing diagram is intended as a guide in choosing the temperature after achieving dening temperature at the of the tool resp. for the immersion in salt bath.



ng

ıe desired low hardness ion the carbon tool steels offer also a low ability. Since steam bubbles e upon quenching in pure straining the heat flow, oft spots may occur at the A strong stirring of the f the water by means of a device (see schematic tation) will be necessary, y for deep impressions. r, the cooling effect of the n be increased by addition 0-12% brine) and therefore be preferred in any case enching carbon tool steels. najority of carbon tools ıenching in oil will be only with very small thickness.



Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tooling for Blanking Dies	Recommended Values for Working Condition
er er plate	approx. 650 N/mm^2
holder late	approx. 650 N/mm^2
Tools	
ed clipping beds	approx. 650 N/mm^2
Tools for Plastics	
sories r plates	approx. 650 N/mm^2
ng plates frames	approx. 650 N/mm^2
ing die for rubber	approx. 650 N/mm^2
boring chisels	approx. 650 N/mm^2
hanks	48 — 56 HRC
ools and hand hammers	58 — 60 HRC
s points and cape chisels	56 — 58 HRC
unches and cores	56 — 58 HRC
	56 — 60 HRC
ltural tools as plowshares	48 — 54 HRC
s etc.	48 — 52 HRC

ening steel offering sufficient surface hardness and shock resistance.

ata:

	Testing Temperature		
al conductivity J × sec × °C	20°C 0.405	350°C 0.372	700°C 0.340
cient of thermal expansion	20-100°C 11.02×10^{-6}	200°C 11.63×10^{-6}	300°C 12.75×10^{-6}

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ng (untreated condition, tensile strength ca. 650 N/mm²)

	High-speed steel tools		Carbide tools	
	cutting speed m/min	feed mm/revol.	cutting speed m/min	feed mm/revol.
turning	35 — 50	0.10 — 0.30	80 — 200	0.3 — 1.0
boring *)	14 — 18	0.06 — 0.20		
thread-cutting	6 — 10			
reaming *)	8 — 10	0.1 — 0.4		
milling *) (shank type cutters)			mm/min	mm/min
depth of cut up to 8 mm	20 — 30	40 — 50	60 — 90	70 — 100
depth of cut up to 1 mm	30 — 40	60 — 80	80 — 130	120 — 150
milling *) (blade cutters)				
depth of cut up to 8 mm	25 — 35	45 — 55	80 — 130	80 — 130
depth of cut up to 1 mm	40 — 50	70 — 90	110 — 160	160 — 250

grade:	turning	P 10 — P 30
	milling	P 25 — P 40
eed steel:	boring	THYRAPID 3343
	milling	THYRAPID 3243
	turning	THYRAPID 3207

*) Guide values which are largely dependent on the tool size.

eatment

DUR 1730 is intended to be untreated condition with vered tensile strength of 650 N/mm².

For applications where the material must be hardened the following instructions should be heeded.

Hardening properties of THYRODUR 1730

The attainable hardness penetration and through-hardening diameter for water or oil hardening is indicated in the following table.

d	Hardening Temperature in °C		Through-Hardening Diameter mm		Hardness Penetration in mm after Quenching in water (20 mm square specimens)
	water	oil	water	oil	

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

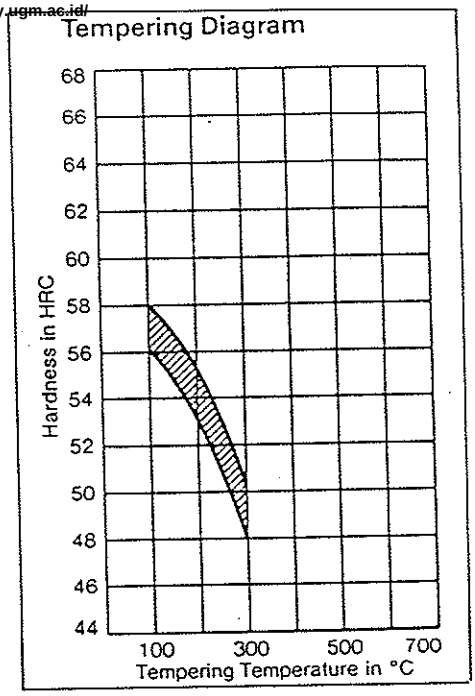
g been quenched down
°C, the tools are directly
urnace having a
e of 100-150°C.
argersized tools are
nperature equalization
the entire section, in
ain optimum
tion in the core, too.

Tempering

A tempering treatment will be unavoidable in order to achieve the hardness and toughness that are appropriate for the respective stressing.

Hardened tools shall be tempered immediately after quenching and equalizing to avoid quenching cracks. The tools are heated at a slow rate to the prescribed tempering temperature according to the tempering curve in the respective material specification depending on the desired working hardness.

The time at temperature is 1 hour for each 20 mm wall thickness; it should be at least 2 hours. Subsequently the tools are cooled in air and are checked for the required hardness.



Flame and induction hardening

THYRODUR 1730 can be flame or induction hardened to a hardness of approx. 56 HRC. During continuous hardening, water is normally used for quenching.

Nitriding and Hard-Chromium plating

Nitring and Hard-Chromium plating is not usual with THYRODUR 1730.

Welding

When repairing or manufacturing tools made from THYRODUR 1730 welding should be carried out, if possible with unalloyed well dried basic electrodes.

In order to minimize the risk of cracking, welding should be carried out with preheating at 150 — 250°C.

Grinding

Grinding of the tools is carried out after the last tempering. In order to avoid grinding cracks or soft skin the following guidelines have to be taken into account:

- sufficient cooling
- not too strong contact pressure
- correct choice of the abrasives
- in case of grinding problems the manufacturers of grinding wheels should be consulted.

SEMARANG

HART

IAAN / AR	KEGUNAAN / APLIKASI	KOMPOSISI KIMIA (%) C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	P	S	DAYA RENTANG (Kg/mm2)	ELONGASI %	KEKERASAN ROCKWELL (R) BRINELL (B)	ARUS	UKURAN (mm)
	Elektroda untuk mengalur dan membuat sisi simetris pada segala jenis logam.													AC/DC	4.0-3.2-2.4
312-16	Elektroda serba guna untuk pengelasan segala jenis baja dan berdaya tahan tinggi terhadap gesekan.	0.09	0.03	1.53	29.68	9.53			0.025	0.007	78.3	26.3	219 B	AC/DC+	4.0-3.2-2.4
7024	Elektroda dengan bubuk besi stanis untuk pengelasan baja tegangan tinggi seperti bangunan kapel, konstruksi berat, jembatan dll.	0.08	0.38	0.54					0.011		53	24		AC/DC+	4.0-3.2
1018-M	Elektroda las dengan kandungan hidrogen rendah spesial dirancang untuk pengelasan baja kekuatan tinggi dan sedang	0.07	0.5	1.5	0.4	2	0.4		<0.02	<0.02	79	20		AC/DC+	3.2-2.5
6013	Kawat las untuk pengelasan pabrikasi umum, industri permesinan, konstruksi ringan dan beban berat.	0.08	0.26	0.38					0.012	0.012	50	25		AC/DC-	3.2-2.5
S STEEL															
310-16	Elektroda untuk menyambung tipe stainless 310 dan khusus untuk penyambungan baja berlainan jenis dan tahan terhadap temperatur tinggi.	0.1	0.45	1.51	26.54	20.88					61	40	200B	AC/DC+	4.0-3.2-2.5
308-16	Elektroda stainless steel dengan lapisan penutup las yang bebas pori-pori dan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap korosi.	0.07	0.16	1.81	20.25	9.84			0.019	0.007	61.1	46.7	171B	AC/DC+	3.2-2.4
316L-16	Elektroda satinless steel yang memberikan ekstra low carbon serta daya tahan karat dan asam yang luar biasa.	0.032	0.23	1.7	19.8	12.17	2.5		0.02	0.01	58.7	41.7	164B	AC/DC+	3.2-2.4
AN KERAS															
Cr-A	Elektroda las yang sangat bagus untuk memperbaiki pisau potong, gigi-gigi penghancur dan mempunyai ketahanan terhadap gesakkan yang lama.	3.35	0.38	0.494	26.9								58-64R	AC/DC+	4.0-3.2
2B-R	Elektroda hardfacing untuk melapis permukaan dari alat-alat teknik bangunan, konstruksi dan pertambangan yang mengalami gesekkan tanpa dimachining lagi.	0.08	0.7	1	2.5								52-57R	AC/DC+	3.2-4.0
2A-B	Elektroda low hydrogen yang memiliki deposit metal yang mudah diproses mesin, untuk memperbaiki bagian atau komponen yang usang.	0.17	0.57	1.35	1.41								22-32R	AC/DC+	4.0-3.2
23-B	Elektroda low hydrogen yang memiliki kekerasan dan keuletan yang stabil.	0.2	1.15	0.6	2.5		0.57						36-45R	AC/DC+	4.0-3.2
KAKAS															
3C-B	Elektroda yang memiliki kekerasan tinggi dan cocok digunakan untuk gesekkan keras.	0.7	0.82	0.78	5.15		0.55						57-61R	AC/DC+	4.0-3.2-2.4
IGAN															
FeMn	Elektroda paduan dasar mangan khusus dirancang untuk ketahanan penggunaan permukaan keras dan membangun baja tahan pukul serta pengaruh gesekkan.	0.7	0.3	13							70.4		7-13R	DC+	3.2-4.0
st	Elektroda bebas nikel untuk besi tuang yang terkontaminasi dengan flux yang tidak konduktif.	0.12	0.02	0.68				bal	0.03	0.03	44	20	380B	AC/DC+	4.0-3.2-2.4
NiFe-Cl	Elektroda dengan kandungan besi dan nikel tinggi untuk pengelasan segala jenis besi cor yang membutuhkan finishing, dan penyambungan baja dengan besi cor.	<2.0	<2.5	<1.8		55		bal		<0.03	53		140B	AC/DC+	4.0-3.2-2.4
NiFe-Cl	Elektroda untuk memperbaiki dan menyambung segala jenis besi cor termasuk besi cor ductile serta baja pada besi cor.	0.75	0.68	0.66		56.5		bal			50.6		142B	AC/DC+	4.0-3.2-2.4
NiFe-Cl	Elektroda untuk memperbaiki dan menyambung besi cor, besi cor kelabu dan baja pada besi cor.	0.7	0.7	0.23		bal		0.9			32.1		90B	AC/DC+	4.0-3.2-2.4
Ni-Cl	Elektroda besi cor tanpa penghantar untuk pengelasan yang sulit, [illegible] lunak dan memiliki kemampuan regang yang sangat baik.	0.7	0.68	0.25		bal			0.004	0.003	31		75-85B	AC/DC	4.0-3.2-2.4
UM															
	Elektroda untuk penyambungan serta membangun alumunium dan paduannya.										10-15	4 - 8	60 B	DC +	3.2 - 4.0

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto, Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

: PT. ITOKOH CEPERINDO
IE : THYRODUR(TONI YULIANTO-UGM)
: HI 1 8 2 4 A-0 2 / 1 2
: MARYADI
: SC Mode : PA 19-Sep-2003 Time 14 : 23

C H 0.550	Si 0.325	Mn 0.648	P 0.016
Ni 0.133	Cr 0.088	Mo 0.007	Cu 0.196
Nb 0.01	V 0.00	W 0.05	Ti < 0.000

C H 0.561	Si 0.327	Mn 0.640	P 0.017
Ni 0.133	Cr 0.091	Mo 0.008	Cu 0.202
Nb 0.01	V 0.00	W 0.04	Ti < 0.000

C H 0.525	Si 0.365	Mn 0.643	P 0.017
Ni 0.133	Cr 0.091	Mo 0.008	Cu 0.199
Nb 0.01	V 0.00	W 0.04	Ti < 0.000

C H 0.545	Si 0.339	Mn 0.644	P 0.016
Ni 0.141	Cr 0.090	Mo 0.007	Cu 0.199
Nb 0.01	V 0.00	W 0.04	Ti < 0.000

PT. ITOKOH CEPERINDO

Lampiran
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DVS-Zertifizierungsstelle für schweißtechnisches Personal

GSI SLV DUISBURG

® DVS-PersZert®
akkreditiert von der
TGA-Trägergemeinschaft Akkreditierung GmbH
unter der Registriernummer TGA-ZP-03-92-71

eugnis
oloma

Nr.: D-S-47057-1157-030729-0320451
No.:

Vor- und Zuname: **Sutarno**
First and surname:

geboren am: 27. Juni 1974
Date of birth:

geboren in: Karanganyar
Place of birth:

tand die Prüfung zum
passed the examination as

VS-Schweißwerkmeister E-Schweißen

Fortbildung erfolgte nach Richtlinie DVS® 1157 Beiblatt 3 „DVS®-Schweißwerkmeister", die Prüfung nach Richtlinie DVS® 3 „Prüfungsordnung für DVS-Schweißwerkmeister- und DVS-EWF- Schweißpraktikerprüfung".

training has been carried out according to Guideline DVS® 1157, the examination according to Guideline DVS® 1163.

Ausstellungsdatum: 29. Juli 2003
Date of issue:

Bemerkungen: Theory: adequate
Remarks: Practice: satisfactory

S®-Prüfungskommission
r Vorsitzende
S®-Examination Board
e Chairman

Dipl.-Ing. O. Schmitt

DVS-PersZert Prüfungsausschuß Nr. 8 Nordrhein

DVS®-Bildungseinrichtung
Der Leiter
DVS®-Welding School
The Head

Dr.-Ing. St. Keitel

Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH Lehr- u. Versuchsanstalt SLV Duisburg

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , [illegible] M. V[illegible] Wi[illegible] M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 [illegible] http://[illegible]

Welder approval test certificate

on EN 287-1 111 T BW W01 B t5 D160 PC ss nb

1 of 1

urer's wps
e N°
name Sutarno

Inspecting authority: SLV Duisburg
Test N°.: D-S-47057-EN 287-030711-035500802.000001

ation 511/03/96
of identification identity card
place of birth 27.06.1974, Karanganyar
r
sting standard DIN EN 287-1
wledge acceptable

Photograph

s	Weld test details	Range of approval
process	111	111
tube	T	P, T
pe	BW	BW, FW
netal type	W01	W01
etal type/Designation	B/DIN EN 499-E 42 4 B 42	A, B, R, RA, RB, RC, RR
g gases		
es		
thickness (mm)	5,00	3,00 - 10,00
side diameter (mm)	160,00	>= 80,00
positions	PC	PC, PA, PB
g / Backing	ss nb	ss (mb, nb), bs (gg, ng)

nal information is available on attached sheet and / or wps:

Test	Performed and acceptable	Not required
nspection	X	-
raphy	-	X
ic particle inspection	-	X
netrant inspection	-	X
section	-	X
e test	X	-
est	-	X
nal tests*	-	X

Seal: Lehr- u. Versuchsanstalt SLV Duisburg Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH Nr. 18

Location: Duisburg
Validity of approval until: 06.06.2005
Date of issue: 11.07.2003

ents:

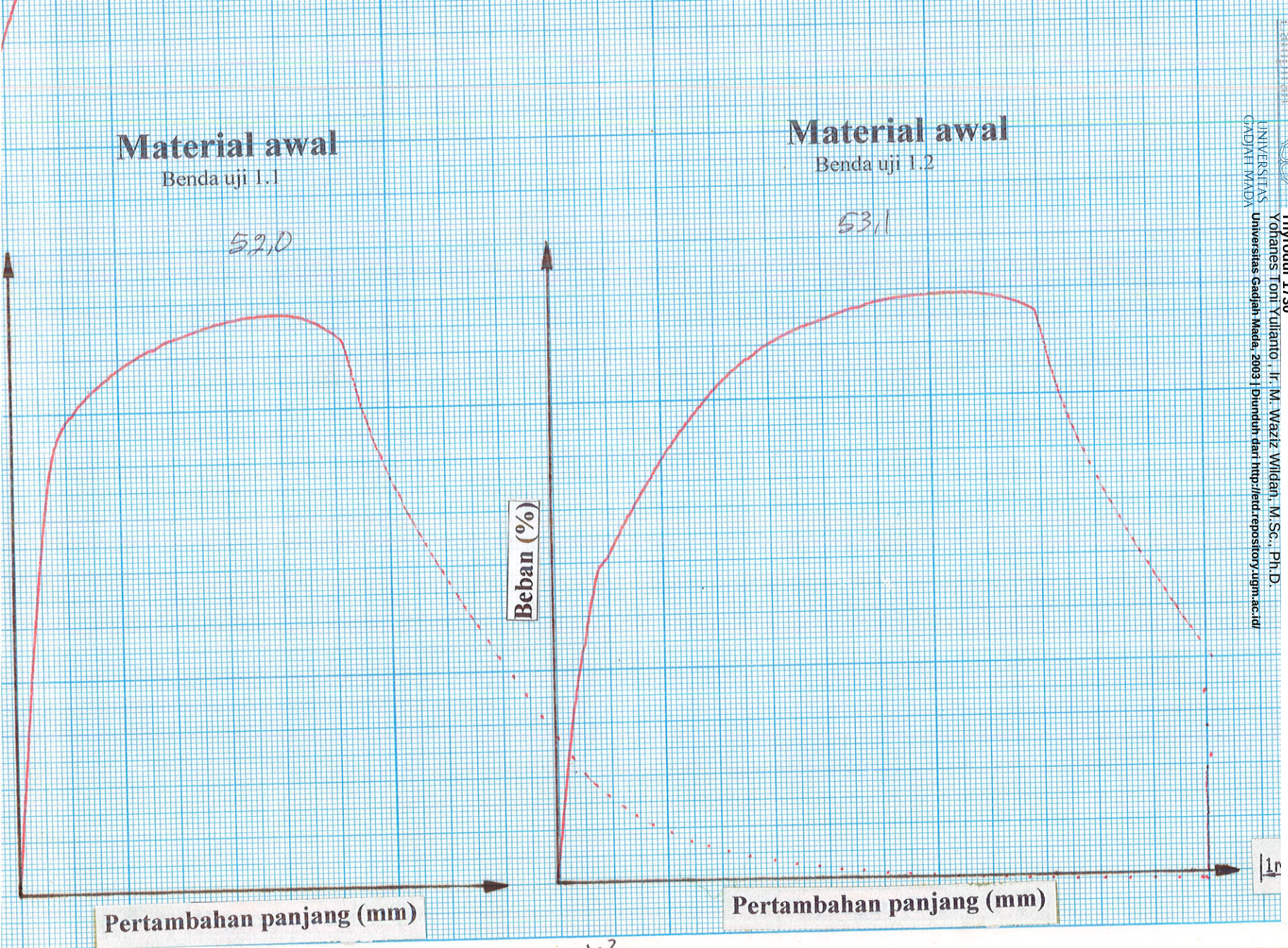
amination standard identical to ISO 9606-1

Dipl.-Ing. Ippendorf
Name and signature of inspector or inspecting authority

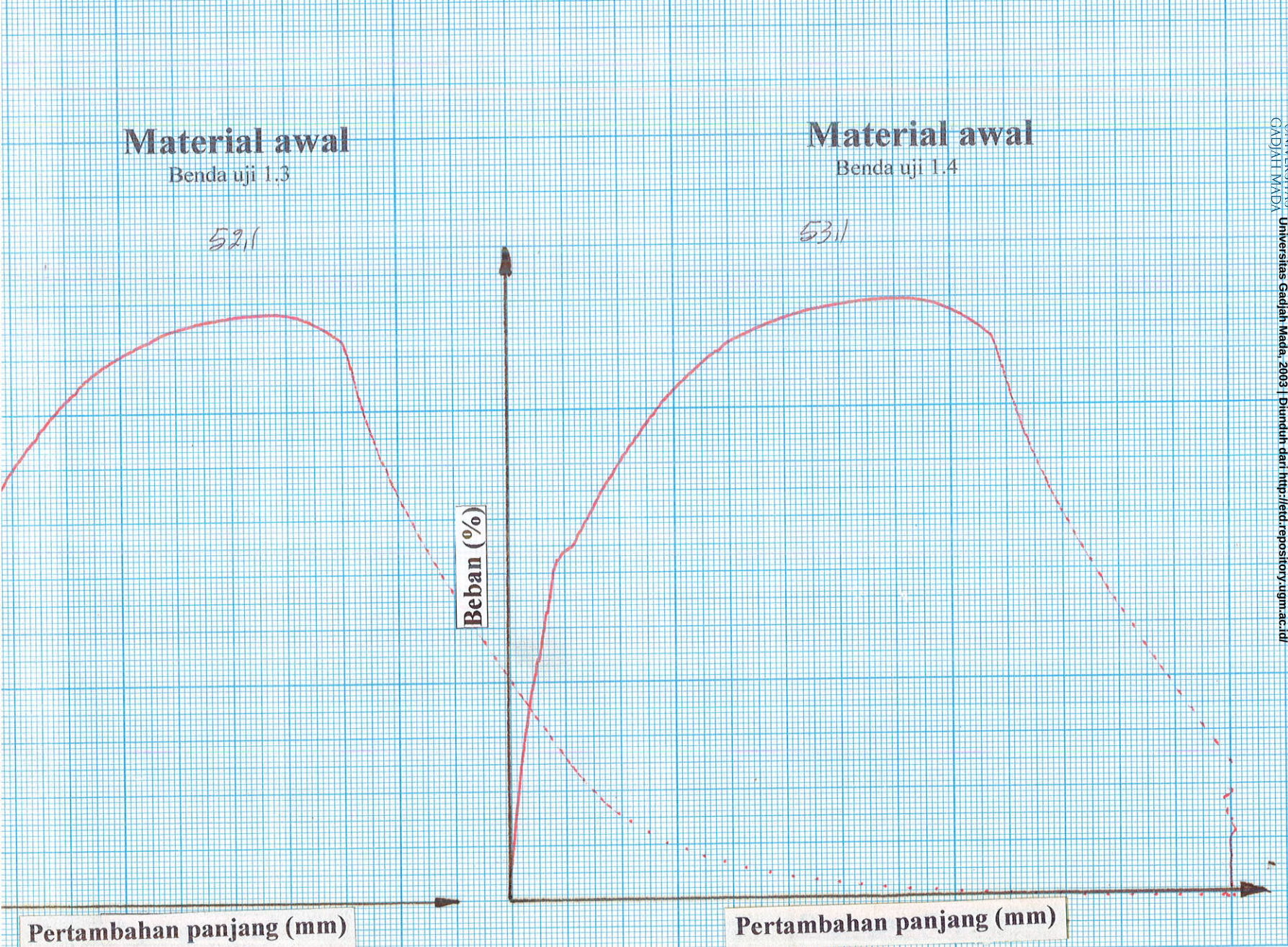
Prolongation for approvals by inspecting authority
Document N° of previous test certificate

ation for approvals by employer
rvisor

Date	Signature	Position or title



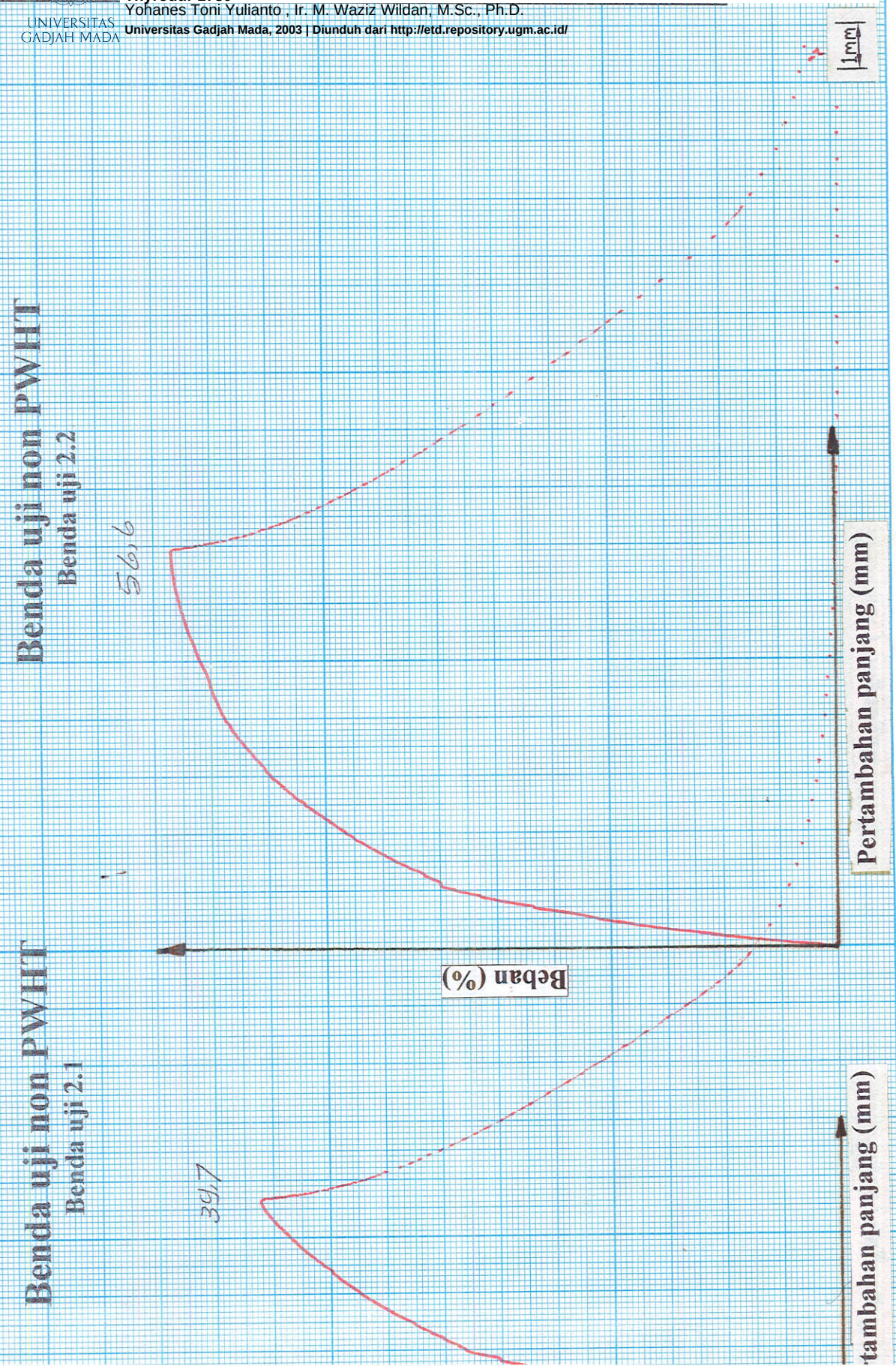
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
[Universitas Gadjah Mada, 2003] Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA



1.9

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Benda uji non PWHT
Benda uji 2.3

53,2

ambahan panjang (mm)

Benda uji non PWHT
Benda uji 2.4

184

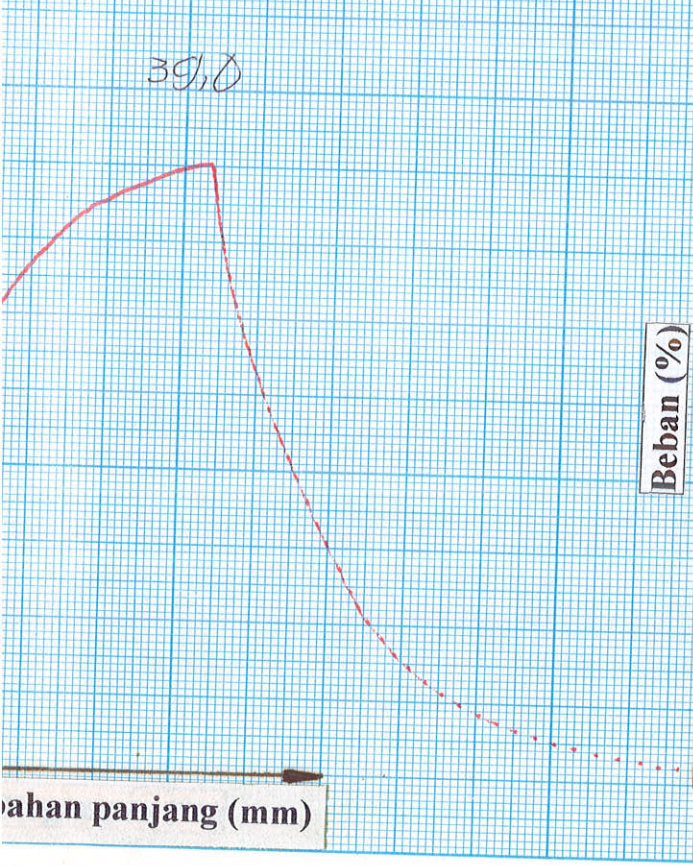
Beban (%)

Pertambahan panjang (mm)

1mm

Lampiran
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto, Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 0 menit
Benda uji 3.1



Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 0 menit
Benda uji 3.2



3.2

Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 0 menit
Benda uji 3.5

Beban (%)

Pertambahan panjang (mm)

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 0 menit
Benda uji 3.4

Beban (%)

Pertambahan panjang (mm)

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 0 menit
Benda uji 3.3

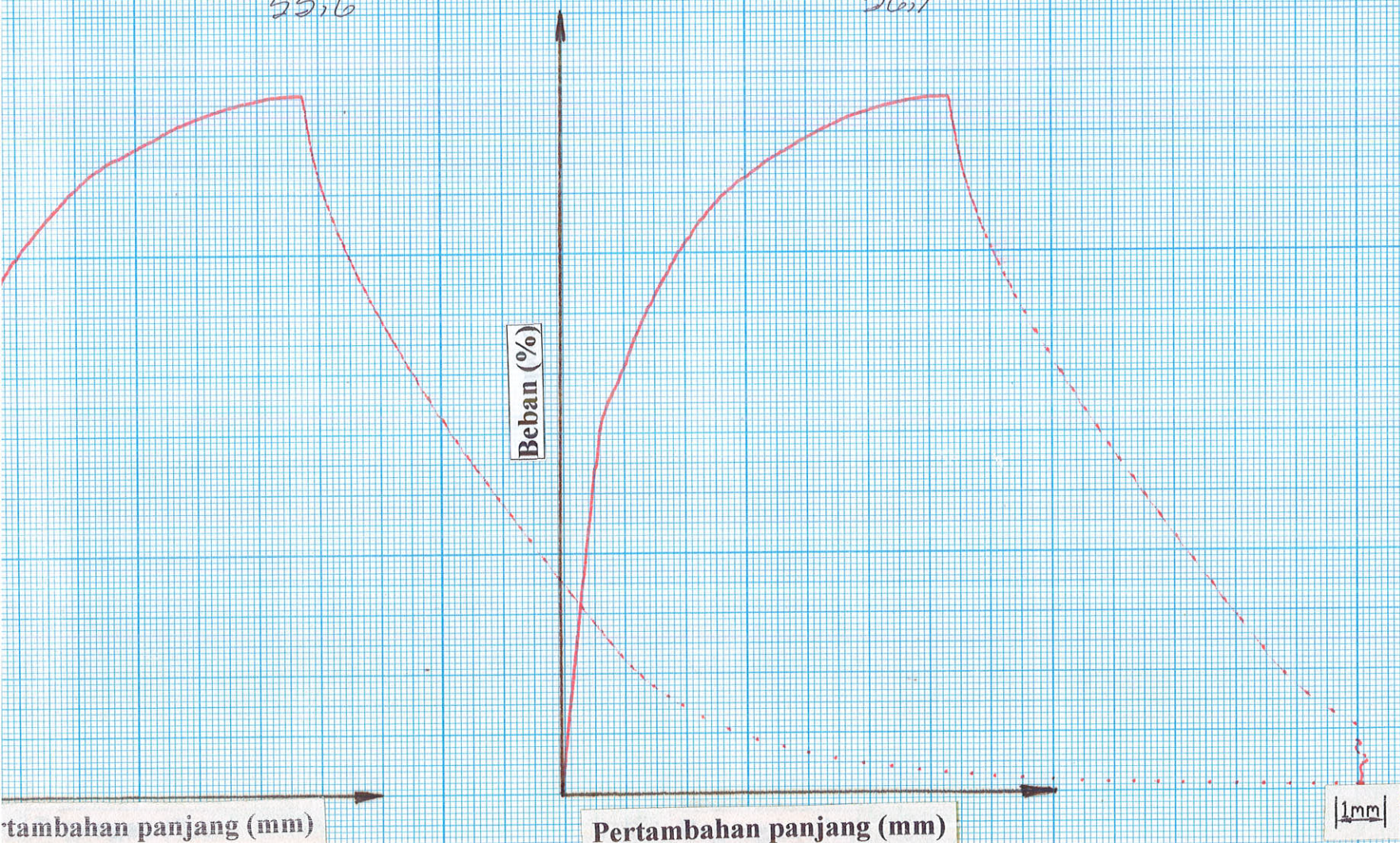
Pertambahan panjang (mm)

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 30 menit
Benda uji 4.1

55,6

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 30 menit
Benda uji 4.2

56,7

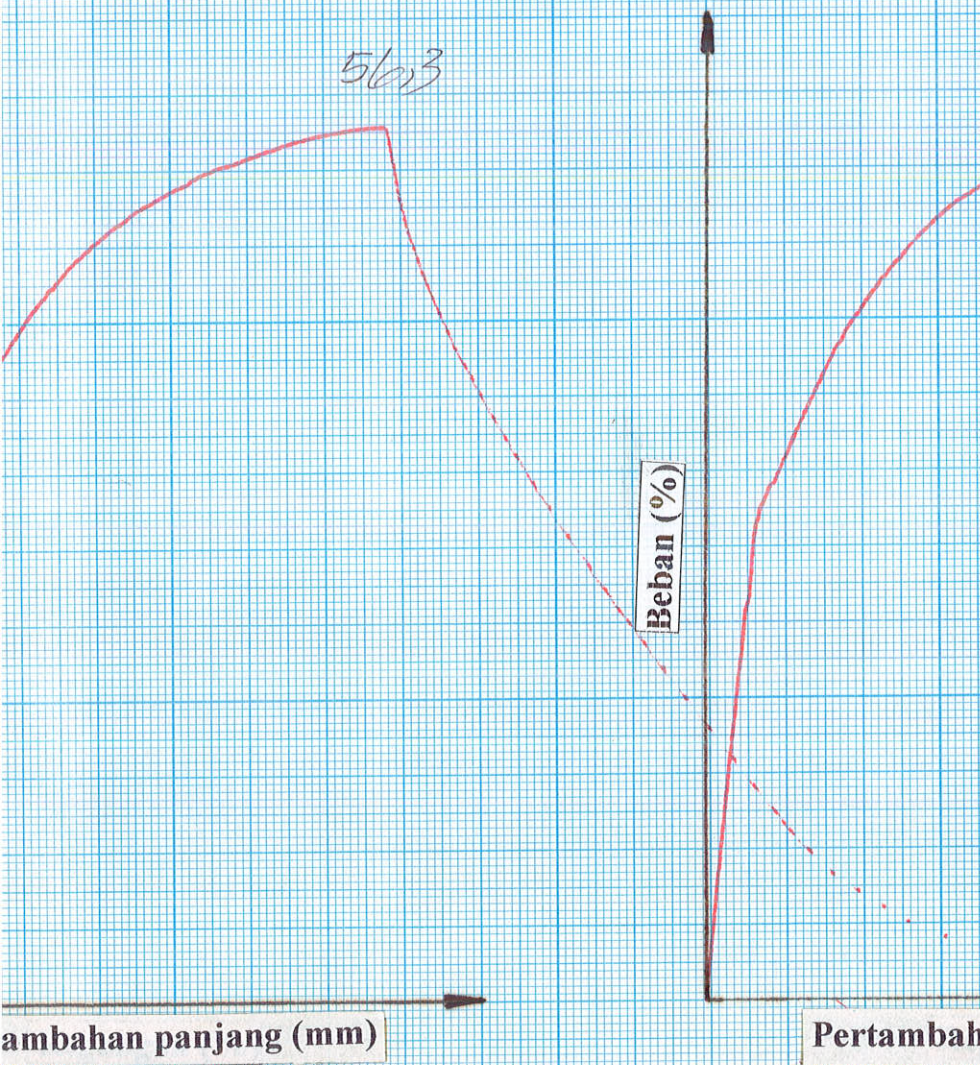


4.2

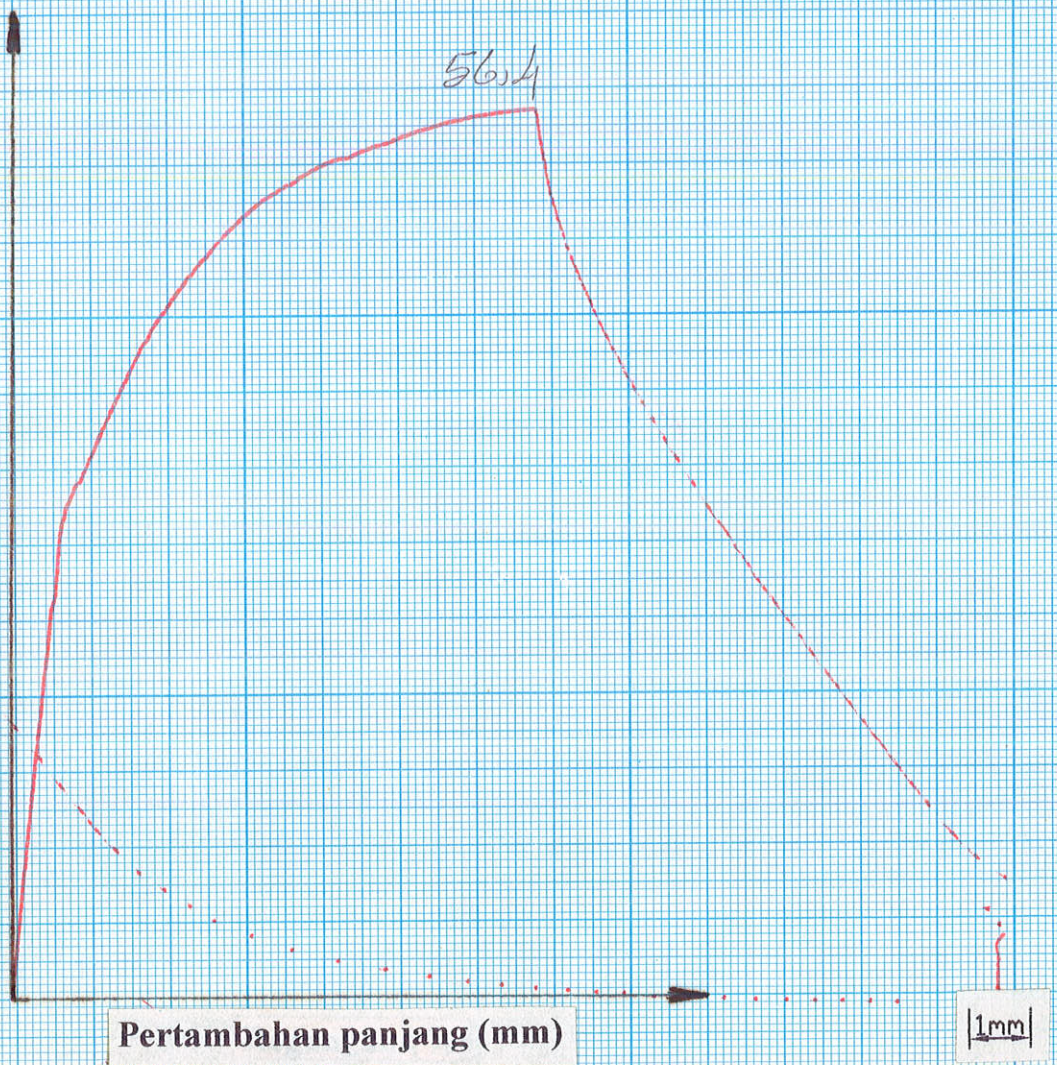
Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

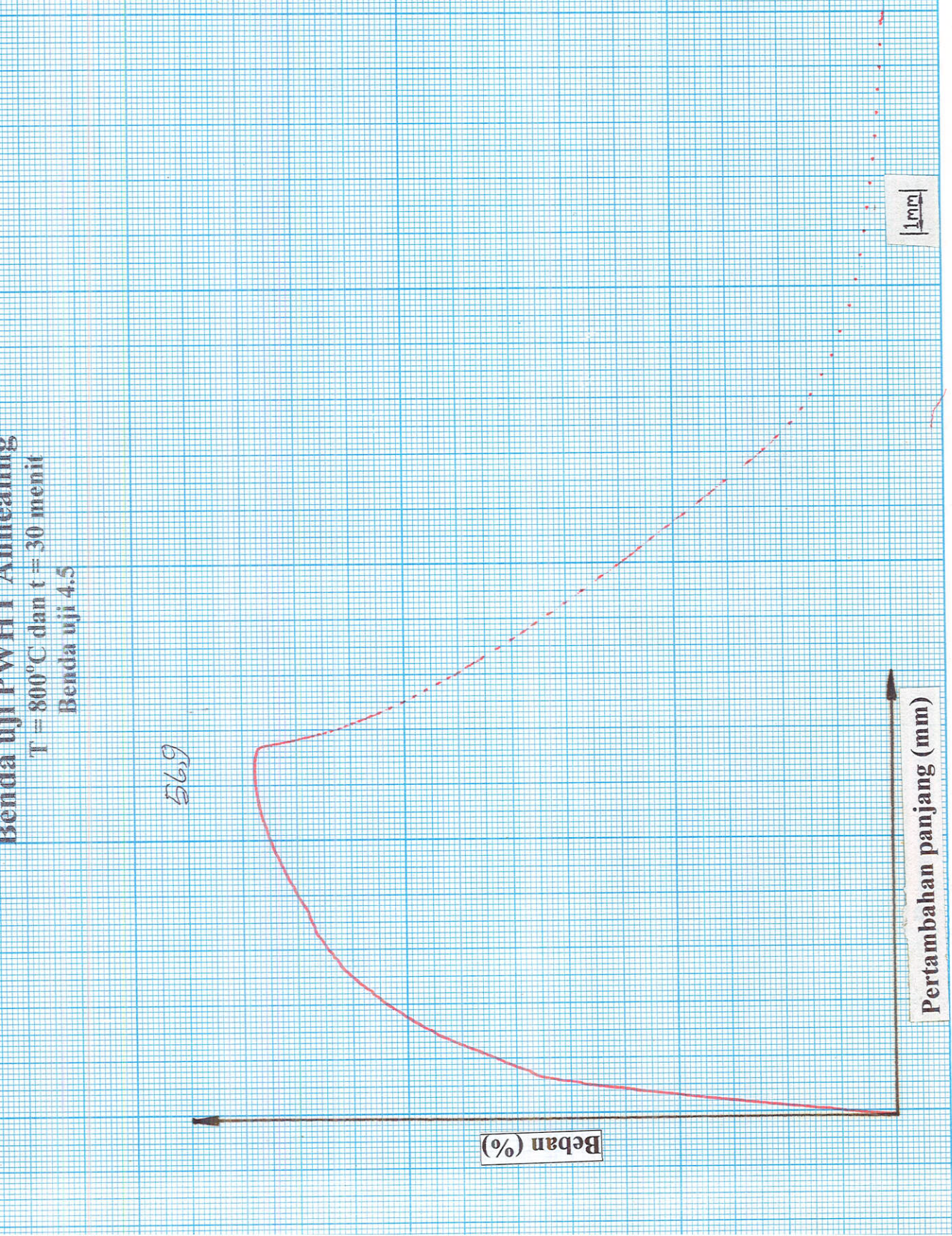
Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 30 menit
Benda uji 4.3



Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 30 menit
Benda uji 4.4

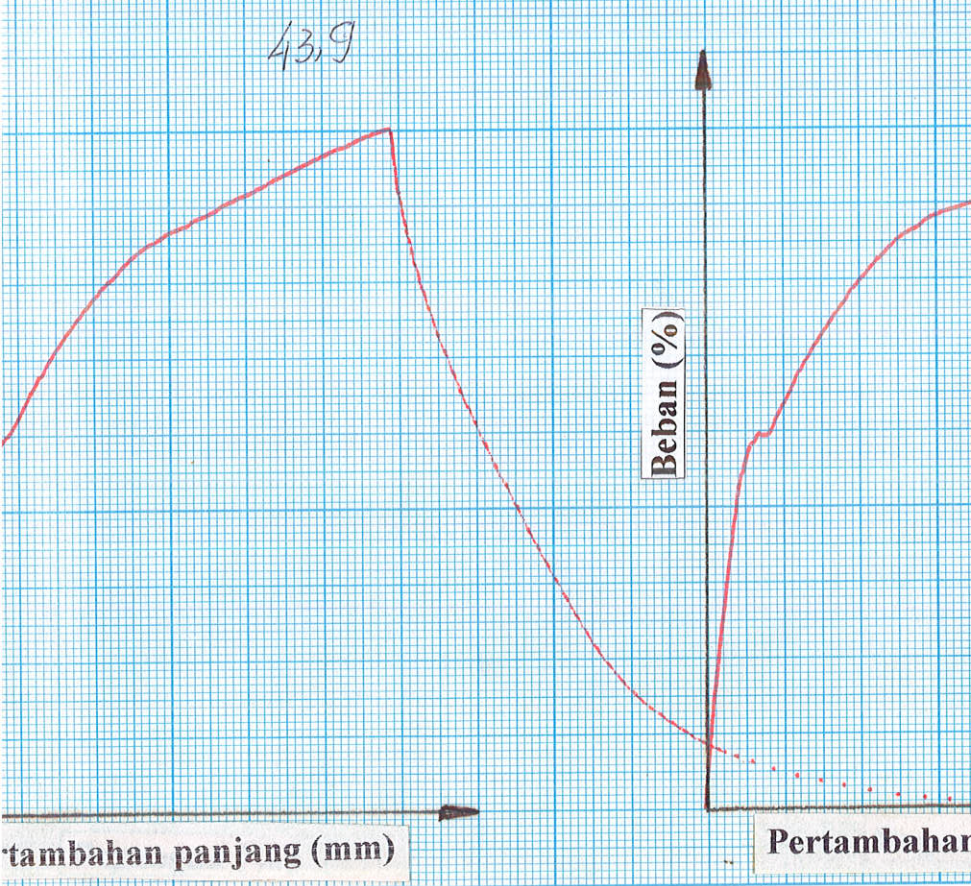


Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

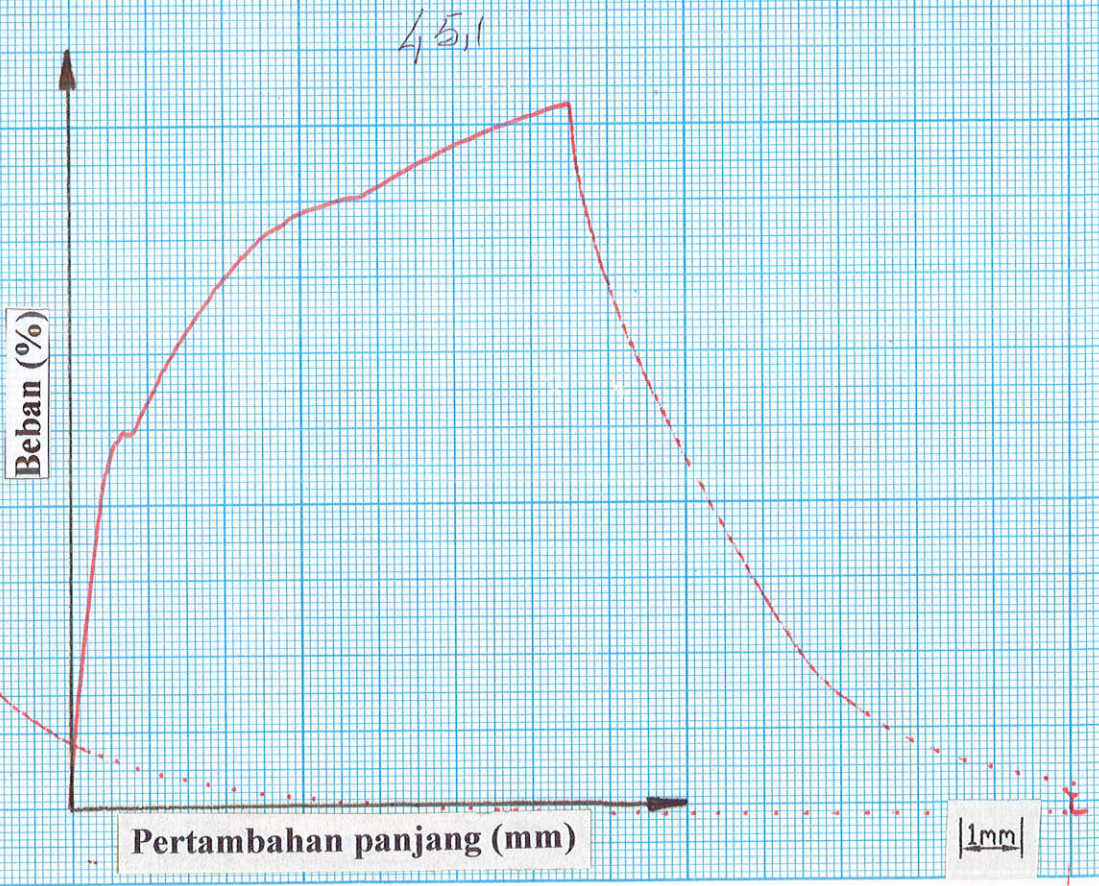


Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 60 menit
Benda uji 5.1

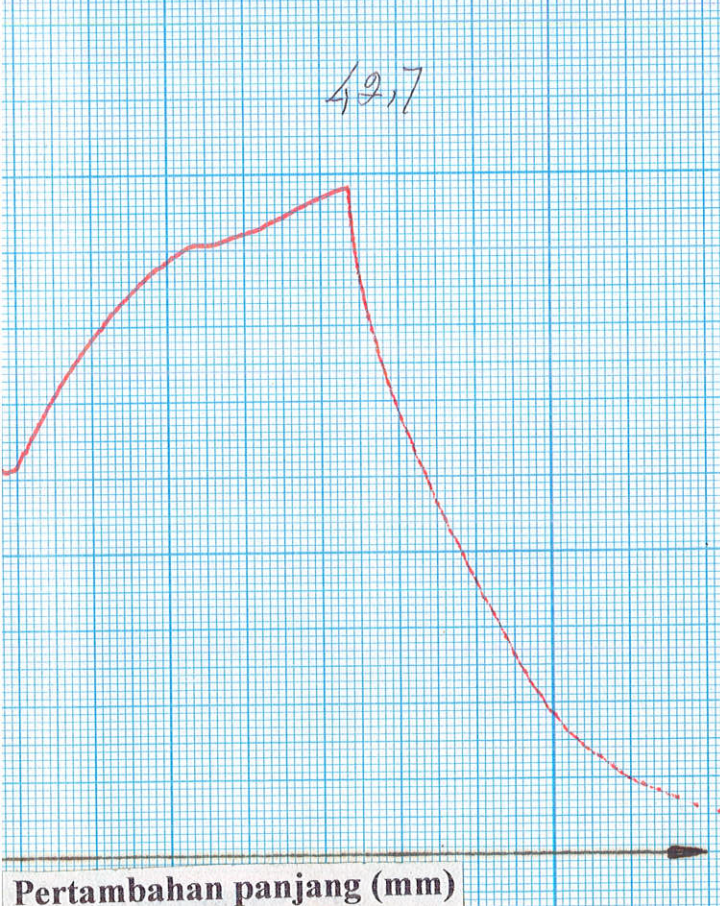


Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 60 menit
Benda uji 5.2



Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

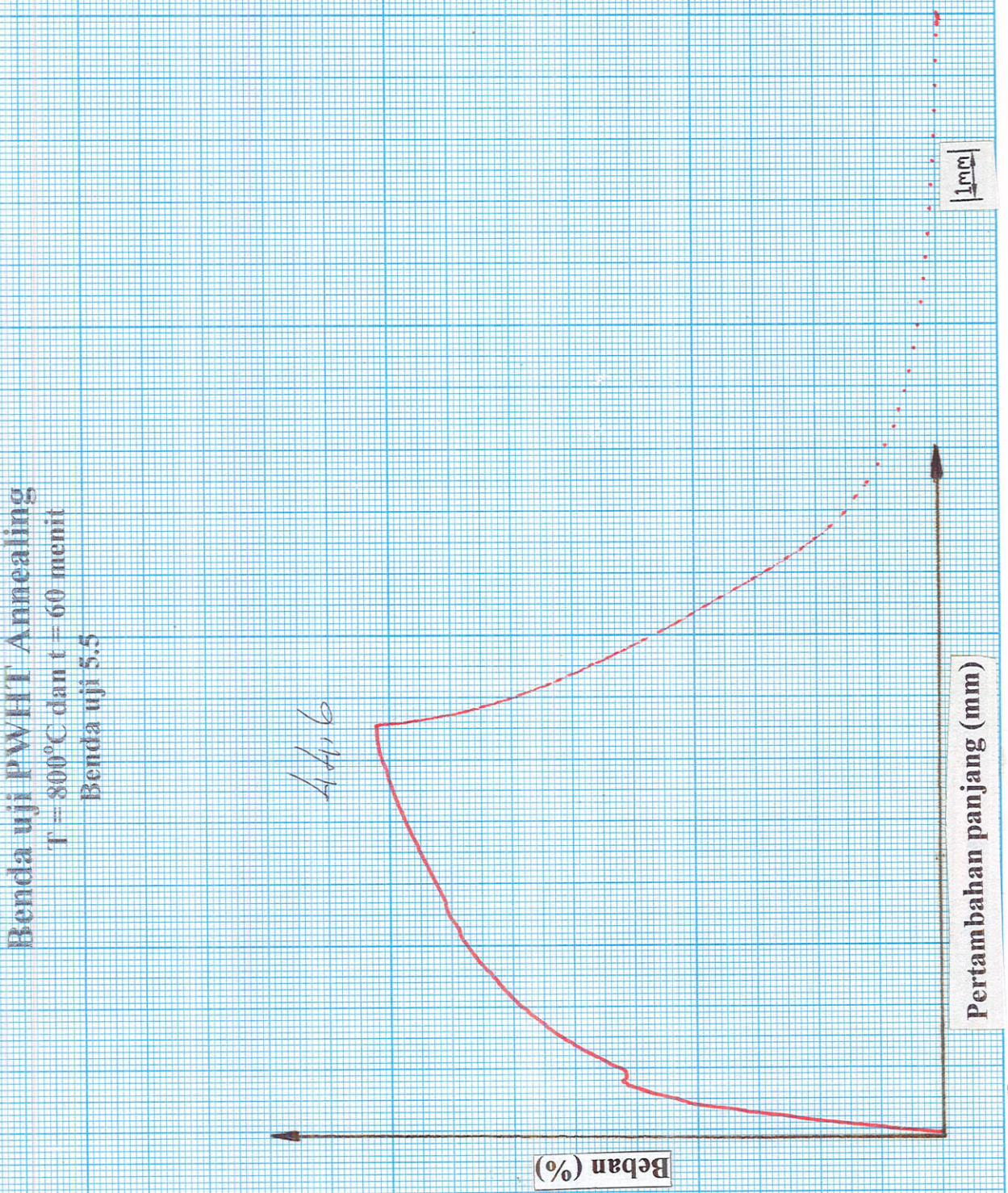
Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 60 menit
Benda uji 5.3



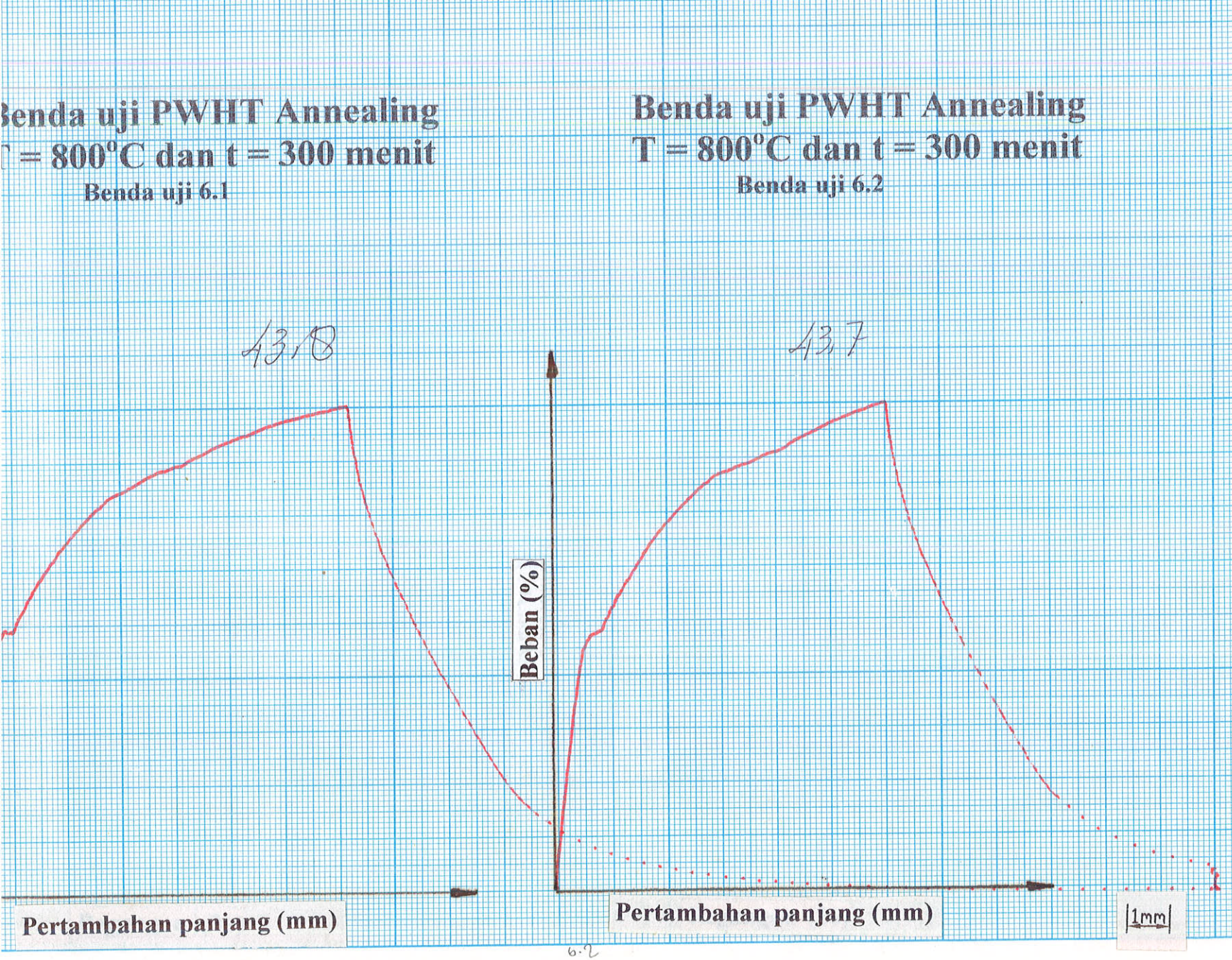
Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 60 menit
Benda uji 5.4

5.4

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

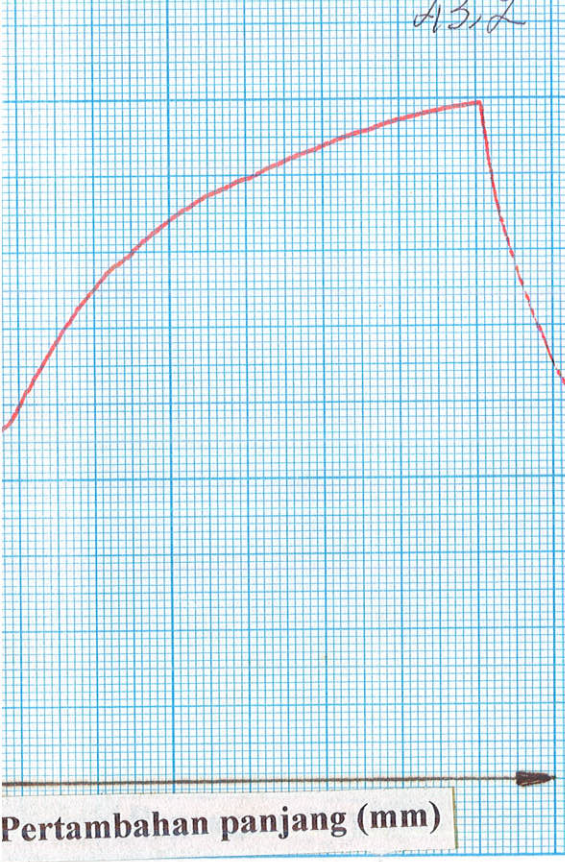


Lampiran

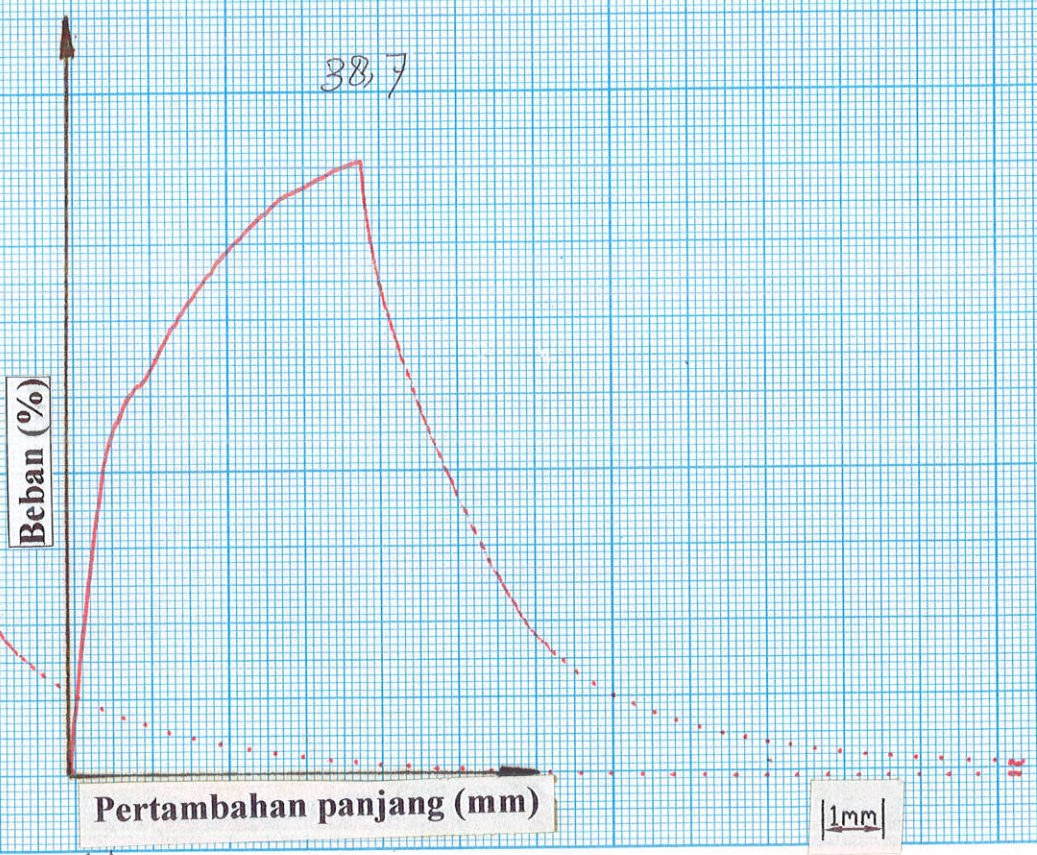


UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 300 menit
Benda uji 6.3



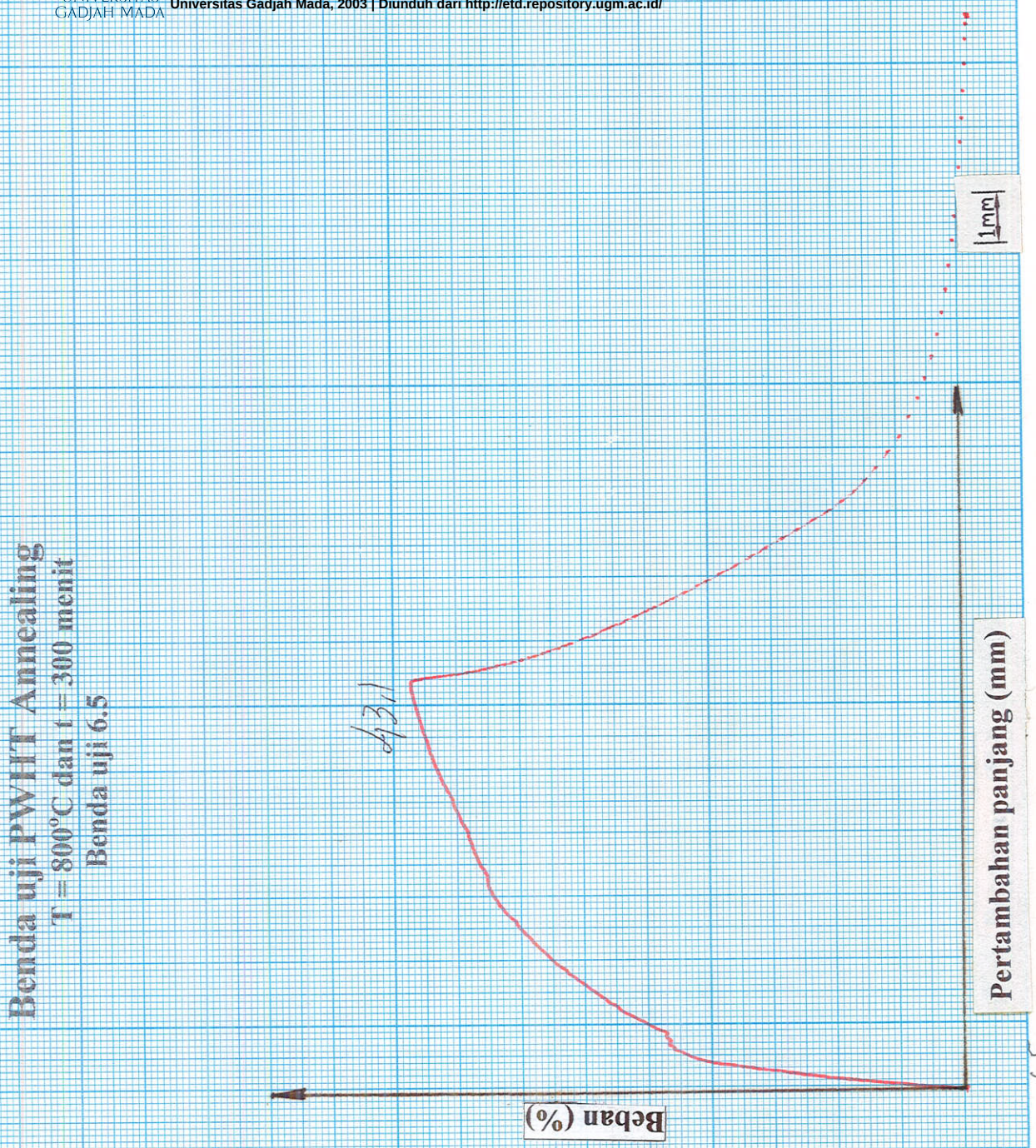
Benda uji PWHT Annealing
T = 800°C dan t = 300 menit
Benda uji 6.4



6.9

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto ; Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja
Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

gram Studi S-1 Ekstensi Teknik Mesin
usan Teknik Mesin FT-UGM

LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR

ma Mahasiswa : YOHANES TONI YULIANTO
mor Mahasiswa : 02/158466/ET/02755
ma Tugas Akhir : PENGELASAN

dul Tugas Akhir : PENGARUH WAKTU PROSES ANNEALING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA POST WELD HEAT TREATMENT BAJA THYRODUR 1730

nbimbing I : Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc, PhD Pembimbing II : .....

	Tanggal	Kemajuan Tugas Akhir	Tugas / Pengarahan Pembimbing	Tanda Tangan Pembimbing
	16/4 03.	Diskusi awal judul	Diskusi beberapa alternatif judul	
	10/5 03	Diskusi ~~ke~~ jenis pengelasan.	- cari info bahan + spek.	
	4/6 03	Diskusi bahan	- bahan ST 60 (0,4%C)	
	12/6/03	Diskusi hasil Ras.	uji tarik + kekerasan	
	31/7/03	Diskusi Heat Treatment.	Penentuan T & t	
	11/9/03	Persiapan pengujian	pengujian.	
	20/9/03	Sudah uji tarik	uji kekerasan + tulis draft.	
	25/9/03	Diskusi hasil pengujian	tulis draft	
	14/10/03	Diskusi draft	perbaiki draft	
	28/10 03	Acc utk ujian.	—	
1.				
2.				

Ketentuan Tugas Akhir:
- Jangka waktu penyelesaian terjadwal adalah 1 semester, yaitu 6 bulan atau setara 20 minggu
- Dua (2) minggu pertama mahasiswa harus melampirkan kerangka isi skripsi
- Pembimbing dianjurkan memiliki catatan kemajuan mahasiswa bimbingan
- Mahasiswa diwajibkan berkonsultasi kepada dosen pembimbing minimal 4 minggu sekali.

Mengetahui:
Ketua Jurusan

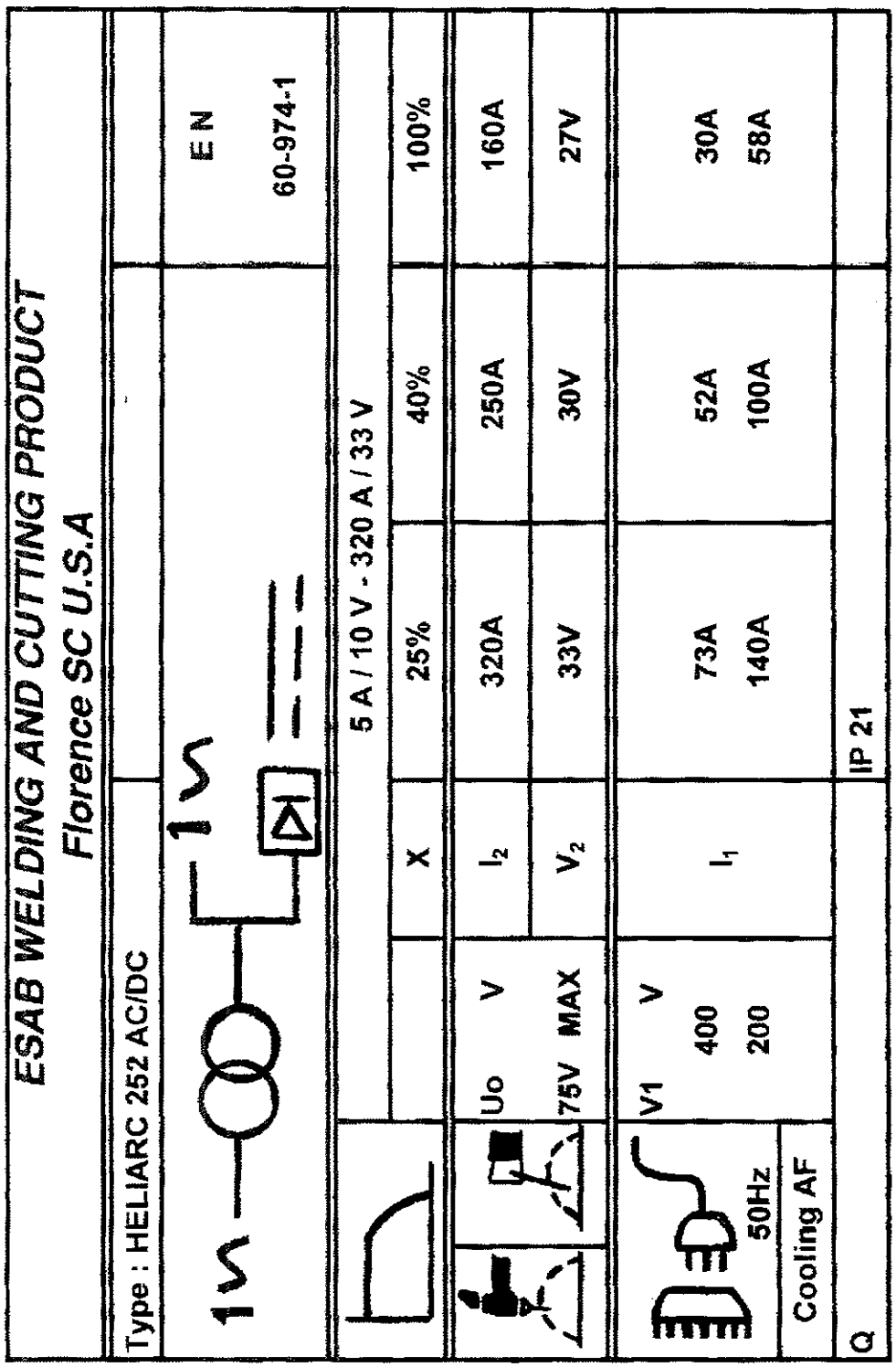
.....

Yogyakarta, 31 Juli 2003
Mahasiswa,

Yulianto

YOHANES TONI YULIANTO

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto , Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



EQUIVALENT STEEL TABLE

THYSSEN	ASSAB	BOHLER	KRUPP	JIS	AISI
Cold Work Steel					
Thyrodur 1730	760	EMS 45	1191	S 45 C	1045
Thyrodur 2363	XW 10	Special K5	2363	SKD 12	-
Thyrodur 2379	XW 41	Special KNL	2379	SKD 11	D2
Thyrodur 2436	-	Special KR	2436	SKD 1	D3
Thyrodur 2550	M 4	K 455 / My Extra	-	SKS 41	S1
Thyrodur 2842	DF-2	Amutit-S	2842	SKS 3	01
Hot Work Steel					
Thyrotherm 2344	8407	Us Ultra 2	2344	SKD 61	H 13
Thyrotherm 2365	-	WMD Extra	2365	-	-
Plastic Mould Steel					
Thyroplast 2083	Stavac	-	2083	SUS 420J2	420
Thyroplast 2316	-	An Kw 35 M	2316	-	-
Thyroplast 2311	718	K456	2311	-	P-20
Thyroplast 2738	-	-	2738	-	-
Machinery Steel					
TEW 6582	705	VCN 150	6582	SNCM-1	4340
TEW 7225	709	VCL 140	7225	SCM-4	4140
TEW 5919	7210	ECN 150	-	SMC 22	3115
Manganese Steel					
Pantanax 3401	NN 3 RD 14	Chronos	-	-	-
Thermax 4841	-	Antitherm FFB	-	-	-
High Speed Steel					
Thyrapid 3343	-	-	3343	-	-

VICTORY TEHNIK PERUM LAGUNA INDAH IX/G3-15 Telp: (031) 5926540 Fax: (031) 5928826 SBY

Lampiran
UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pengaruh Waktu Proses Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Post Weld Heat Treatment Baja Thyrodur 1730
Yohanes Toni Yulianto, Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2003 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/