



TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISA ASTM A36 AKIBAT PENGARUH SUHU DAN
QUENCHING TERHADAP NILAI KETANGUHANNYA**

SUCIPTO RIADY LIMBONG

NRP. 4109 100 065

Totok Yulianto, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT - MN141581

ASTM A36 MATERIAL ANALYSIS DUE TO THE EFFECT OF TEMPERATURE AND QUENCHING ON ITS TOUGHNESS VALUE

SUCIPTO RIADY LIMBONG

NRP. 4109 100 065

Totok Yulianto, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEER

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA MATERIAL ASTM A36 AKIBAT PENGARUH SUHU DAN *QUENCHING* TERHADAP NILAI KETANGGUHANNYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Perkapalan - Konstruksi
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SUCIPTO RIADY LIMBONG
N.R.P. 4109 100 065

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Totok Yulianto, S.T., M.T.



SURABAYA, [29 JANUARI 2016]

LEMBAR REVISI

ANALISA MATERIAL ASTM A36 AKIBAT PENGARUH SUHU DAN QUENCHING TERHADAP NILAI KETANGGUHANNYA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir
14 Januari 2016

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan - Konstruksi
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SUCIPTO RIADY LIMBONG
N.R.P. 4109 100 065

Disetujui oleh Dosen Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi., M.Eng., Ph.D
2. Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
3. Teguh Putranto, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Totok Yulianto, S.T., M.T.



SURABAYA, [29 JANUARI 2016]

ANALISA MATERIAL ASTM A36 AKIBAT PENGARUH SUHU DAN *QUENCHING* TERHADAP NILAI KETANGGUHANNYA

Nama Mahasiswa : Sucipto Riady Limbong
NRP : 4109 100 065
Jurusan/Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Totok Yulianto, S.T, M.T.

ABSTRAK

Kebakaran pada kapal masih sering terjadi di perairan laut Indonesia. Akibatnya, ketangguhan dari material kapal tersebut berubah akibat suhu dari kebakaran tersebut. Pada saat kebakaran, proses pemadaman dilakukan pada kapal yang terbakar.

Untuk proses pemadaman ini, peneliti melakukan proses Quenching pada material yang akan diuji. Pada penelitian ini dilakukan pada material ASTM A36 dengan simulasi suhu kebakaran yang diberikan dengan variasi 750°C, 850°C, dan 950°C dan holding time selama 120 menit dan 240 menit. Kemudian dilakukan proses quenching pada material tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melihat sifat ketangguhan material dengan menggunakan uji impact dan uji tarik. Dari pengujian ini didapatkan nilai dari fracture toughness (K_{Ic}) dengan menggunakan konversi uji impact.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan plat tanpa perlakuan, maka untuk pengujian tarik yang terbesar didapatkan pada suhu 850°C, untuk pengujian impact yang terbesar didapatkan pada suhu 950°C, dan untuk nilai K_{Ic} yang terbesar didapatkan pada suhu 750°C. Pengaruh suhu yang dilakukan mengakibatkan nilai ketangguhan semakin membesar. Pengaruh holding time yang dilakukan mengakibatkan penurunan nilai ketangguhan dari material. Akan tetapi, akibat pengaruh suhu 850°C terjadi penurunan nilai ketangguhan dan juga pengaruh holding time pada suhu 850°C terjadi peningkatan nilai ketangguhan, hal ini yang disebabkan sifat getas dari material tersebut. Berdasarkan dari semua pengujian, material pada suhu 950°C dan material tanpa perlakuan mempunyai kekuatan yang memenuhi standart ASTM dan memiliki nilai ketangguhan yang bagus sesuai standart Llyod's Register.

Kata kunci: ASTM A36, Suhu, Holding time, Quenching, uji tarik, uji impact, fracture toughness

ASTM A36 MATERIAL ANALYSIS DUE TO THE EFFECT OF TEMPERATURE AND QUENCHING ON ITS TOUGHNESS VALUE

Nama of Student : Sucipto Riady Limbong
NRP : 4109 100 065
Department/Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Advisor : Totok Yulianto, S.T, M.T.

ABSTRACT

Fire on the ship is one of a common tragedy in Indonesia's marine. This tragedy will eventually change the toughness of the material due to the temperature of fire. When the fire occur, the fire fighting is done in the ship.

To do this process, researchers perform quenching process on the material that is going to be tested. This study is performed on ASTM A36 material with variation of temperature simulation between 750°C, 850°C and 900°C, and holding time for 120 minutes and 240 minutes. After that the quenching process is performed on that material. This study aims to look at the property of the material toughness using impact test and tensile test.

From this test the value of fracture toughness (K_{Ic}) is obtained by using a conversion impact test. The test results showed that when compared with non-treated plate, then for the greatest tensile test obtained at a temperature of 850°C, for testing biggest impact is obtained at a temperature of 950°C, and for K_{Ic} largest value is obtained at a temperature of 750°C. The influence of temperature resulted in growing strength as compared to the untreated material. Effect of holding time resulting in decreased strength of the material caused by the growing grain diameter and the resulting fine microstructure. However, due to the effect of temperature at 850°C to be impaired toughness and effect of holding time at 850 ° C increased value of toughness, this is caused by the brittle characteristic of the material. Based on all tests, the material at a temperature of 950°C and the material without treatment have strength which meet ASTM standards and have good toughness value according to Llyod's Register standards.

Keywords : *ASTM A36, temperature, holding time, quenching, tensile test, impact test, fracture toughness*

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas karunia Yesus Kristus, karena penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS MATERIAL ASTM A36 AKIBAT PENGARUH SUHU DAN *QUENCHING* TERHADAP NILAI KETANGGUANNYA” dengan baik. Selesaiannya laporan ini dengan baik tentunya tidak lepas dari peran berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis ucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Totok Yulianto, S.T, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang dengan sabar telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali atas bimbingannya selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan.
3. Bapak Totok Yulianto, S.T, M.T selaku kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS yang sudah mengizinkan penulis menggunakan fasilitas laboratorium selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Staff Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
5. Kedua orangtua yang tercinta, ayah T. Limbong, S.E dan ibu T. Siregar yang selalu memberikan doa serta dukungan moril dan materil hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa juga untuk abang, adik dan saudara penulis yang selalu menyemangati dan mendoakan penulis sehingga Tugas Akhir terselesaikan.
6. Bang Chrispinus L Sumbayak yang telah membantu dalam pembelian material dan proses pengerjaan di laboratorium dan juga teman-teman jurusan Material-ITS (Sepri, Hendri, Ozha dan Tio), yang telah membantu penulis dalam menganalisa struktur mikro.
7. Teman-teman seperjuangan Batak Perkapalan 2009 : Bryant, Juanda, Libra dan juga Ericson teman seperjuangan Tugas Akhir.
8. Teman-teman P-49 (LAKSAMANA) atas suka duka dan kebersamaannya selama kuliah di Jurusan Teknik Perkapalan.
9. Teman-teman dari Mahasiswa Bona Pasogit, ABISS, Wise Man dan teman-teman kontrakan atas segala kebersamaannya selama penulisan Tugas Akhir ini.
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.



Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 25 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	1
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan	2
I.5 Manfaat	2
I.6 Hipotesis	3
I.7 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Tinjauan Pustaka	5
II.1 Dasar Teori	7
II.1.1 Baja	7
II.1.2 Sifat Baja ASTM A36	8
II.1.3 Perlakuan Panas	9
II.1.5 Uji Tarik	10
II.1.6 Uji <i>Impact</i>	12
II.1.7 <i>Fracture Toughness</i>	14
II.1.8 Struktur Mikro pada Baja	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
III.1 Prosedur Umum	23
III.2 Diagram Alir	25

III.3 Bahan Penelitian.....	27
III.4 Proses Perlakuan Panas dan <i>Quenching</i>	29
III.5 Pembuatan Spesimen.....	33
III.6 <i>Impact Test</i>	34
III.7 <i>Tensile Test</i>	35
III.8 Struktur Mikro.....	37
III.9 Pengukuran Besar Butir.....	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	41
IV.1 Analisa Pengujian Tarik	41
IV.1.1 Hasil Pengujian Tarik akibat pengaruh <i>holding time</i>	41
IV.1.2 Hasil Pengujian Tarik akibat pengaruh suhu	47
IV.2 Analisa Pengujian <i>Impact</i>	51
IV.2.1 Data Hasil pengujian <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i>	51
IV.2.2 Data Hasil pengujian <i>Impact</i> akibat pengaruh suhu.....	56
IV.3 Analisa Nilai <i>Fracture Toughness</i>	60
IV.3.1 Data Nilai <i>Fracture Toughness</i> akibat pengaruh <i>holding time</i>	60
IV.3.1 Data Nilai <i>Fracture Toughness</i> akibat pengaruh suhu.....	65
IV.4 Hasil Struktur Mikro.....	68
IV.4.1 Hasil Struktur Mikro tanpa perlakuan <i>Quenching</i>	68
IV.4.2 Hasil Struktur Mikro dengan perlakuan <i>Quenching</i>	69
IV.5 Perhitungan Besar Butir.....	71
IV.5.1 Perhitungan Besar Butir akibat pengaruh <i>Holding Time</i>	72
IV.5.2 Perhitungan Besar Butir akibat pengaruh Suhu	74
IV.6 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter Butir	75
IV.6.1 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter.....	77
IV.6.2 Perbandingan Diameter Butir Struktur Mikro dengan Diameter Butir Hasil Regresi Linier	77
IV.6.3 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter akibat Pengaruh <i>Holding Time</i>	79
IV.6.4 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter akibat Pengaruh Suhu.....	80
IV.7 Analisa Hasil Keseluruhan Pengujian	82

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
---	----

V.1 Kesimpulan.....	83
---------------------	----

V.2 Saran.....	84
----------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIOGRAFI

DAFTAR GAMBAR

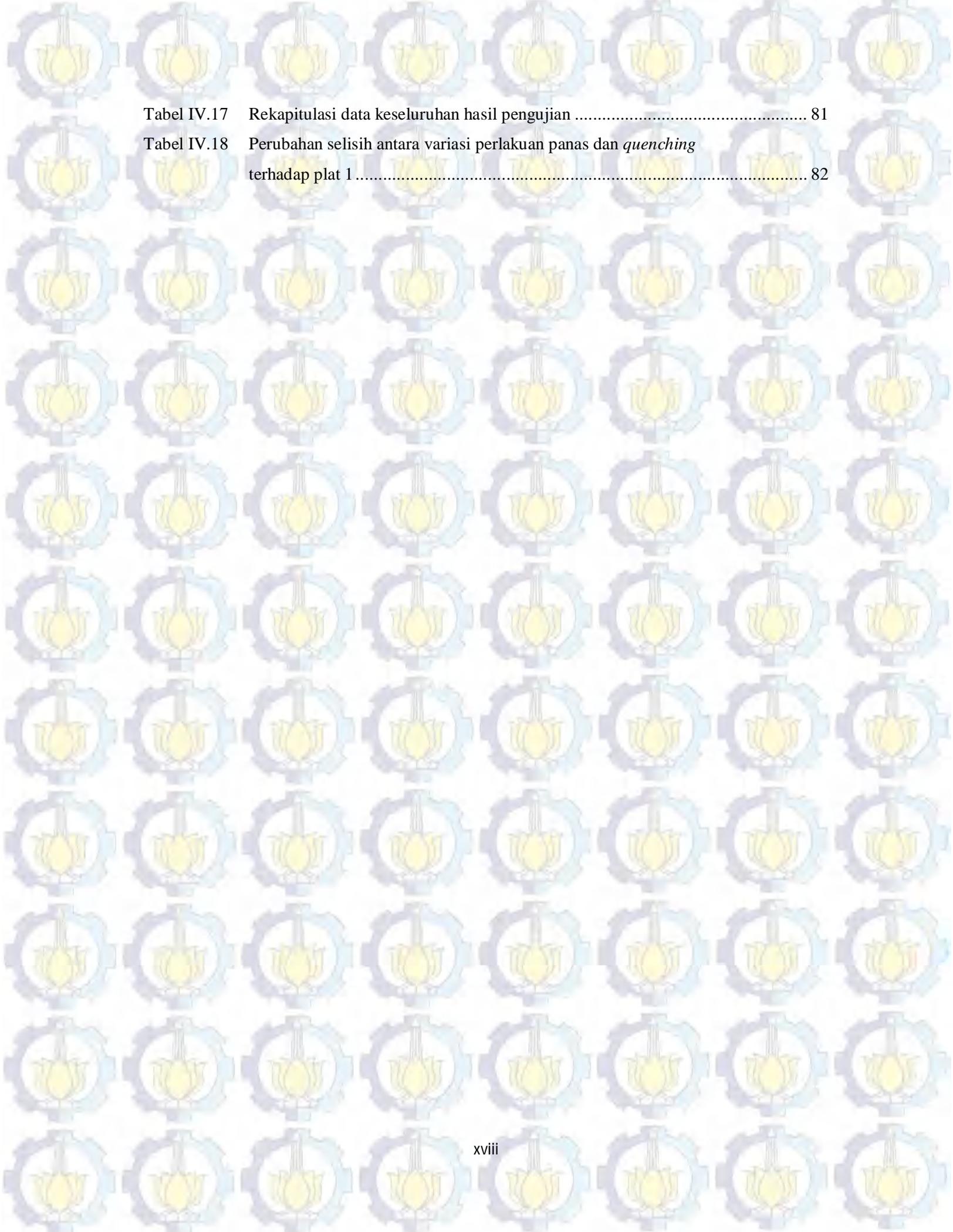
Gambar II.1	Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik.....	11
Gambar II.2	Diagram Tegangan-Regangan.....	11
Gambar II.3	(a) Pengujian <i>Impact Charpy V-notch</i>	13
	(b) Pengujian <i>Impact Izod</i>	13
Gambar II.4	(a) Dimensi Spesimen <i>Charpy V-notch</i>	13
	(b) Dimensi Spesimen <i>Charpy U-notch</i>	13
Gambar II.5	Grafik <i>Transition Temperature</i>	17
Gambar II.6	Diagram Keseimbangan Besi-Karbon.....	18
Gambar II.7	Struktur Mikro Baja Karbon.....	21
Gambar II.8	Hubungan Diagram TTT (garis tebal) dengan Diagram CTT (garis tipis).....	22
Gambar III.1	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	26
Gambar III.2	Material ASTM A36 tanpa perlakuan.....	28
Gambar III.3	Penyetelan suhu oven 750°C.....	30
Gambar III.4	Penyetelan suhu oven 850°C.....	30
Gambar III.5	Penyetelan suhu oven 950°C.....	31
Gambar III.6	Larutan Air Laut.....	31
Gambar III.7	Proses Pengambilan Plat.....	32
Gambar III.8	Proses Pendinginan Plat kedalan larutan Air Laut.....	32
Gambar III.9	Plat yang telah di- <i>quenching</i>	33
Gambar III.10	Spesimen Uji Tarik.....	33
Gambar III.11	Spesimen Uji <i>Impact</i>	33
Gambar III.12	Spesimen Struktur Mikro.....	34
Gambar III.13	Posisi Spesimen pada Landasan.....	35
Gambar III.14	Dimensi Pengukuran pengujian tarik.....	36
Gambar III.15	Dimensi Spesimen Struktur Mikro.....	37
Gambar III.16	Proses Pemolesan Struktur Mikro.....	37
Gambar III.17	Pengambilan foto Optik dengan Mikroskop Optik.....	38
Gambar IV.1	Grafik pengujian tarik akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C.....	41
Gambar IV.2	Grafik <i>elongation</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C.....	42
Gambar IV.3	Grafik pengujian tarik akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C.....	43
Gambar IV.4	Grafik <i>elongation</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C.....	44

Gambar IV.5	Grafik pengujian tarik akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C.....	45
Gambar IV.6	Grafik <i>elongation</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C.....	46
Gambar IV.7	Grafik pengujian tarik akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 120 menit	47
Gambar IV.8	Grafik <i>elongation</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 120 menit.....	48
Gambar IV.9	Grafik pengujian tarik akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 240 menit	49
Gambar IV.10	Grafik pengujian tarik akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 240 menit	50
Gambar IV.11	Grafik pengujian energi <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C.....	52
Gambar IV.12	Grafik pengujian kuat <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C.....	52
Gambar IV.13	Grafik pengujian energi <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C.....	53
Gambar IV.14	Grafik pengujian kuat <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C.....	54
Gambar IV.15	Grafik pengujian energi <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C.....	55
Gambar IV.16	Grafik pengujian kuat <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C.....	55
Gambar IV.17	Grafik energi <i>impact</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 120 menit	57
Gambar IV.18	Grafik kuat <i>impact</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 120 menit	57
Gambar IV.19	Grafik energi <i>impact</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 240 menit	58
Gambar IV.20	Grafik kuat <i>impact</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 240 menit	59
Gambar IV.21	Grafik nilai <i>Fracture Toughness</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C.....	60
Gambar IV.22	Grafik nilai <i>Fracture Toughness</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C.....	62

Gambar IV.23	Grafik nilai <i>Fracture Toughness</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C.....	64
Gambar IV.24	Grafik nilai <i>fracture toughness</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> selama 120 menit.....	65
Gambar IV.25	Grafik nilai <i>fracture toughness</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> selama 120 menit.....	67
Gambar IV.26	Struktur mikro pada plat nomor 1 Perbesaran 400x.....	68
Gambar IV.27	Struktur mikro pada plat nomor 2 Perbesaran 400x.....	69
Gambar IV.28	Struktur mikro pada plat nomor 3 Perbesaran 400x.....	69
Gambar IV.29	Struktur mikro pada plat nomor 4 Perbesaran 400x.....	70
Gambar IV.30	Struktur mikro pada plat nomor 5 Perbesaran 400x.....	70
Gambar IV.31	Struktur mikro pada plat nomor 6 Perbesaran 400x.....	71
Gambar IV.32	Struktur mikro pada plat nomor 7 Perbesaran 400x.....	71
Gambar IV.33	Grafik besar butir pada suhu 750°C akibat pengaruh <i>holding time</i>	72
Gambar IV.34	Grafik besar butir pada suhu 850°C akibat pengaruh <i>holding time</i>	73
Gambar IV.35	Grafik besar butir pada suhu 950°C akibat pengaruh <i>holding time</i>	73
Gambar IV.36	Grafik besar butir akibat pengaruh suhu pada <i>holding time</i> 120 menit.....	74
Gambar IV.37	Grafik besar butir akibat pengaruh suhu pada <i>holding time</i> 240 menit.....	74
Gambar IV.38	Hubungan Kekuatan dengan Diameter Butir	77
Gambar IV.39	Hasil Hubungan Kekuatan dengan Diameter Butir	78
Gambar IV.40	Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada Suhu 750°C	79
Gambar IV.41	Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada Suhu 850°C	79
Gambar IV.42	Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada Suhu 950°C	79
Gambar IV.43	Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada <i>Holding Time</i> 120 menit	80
Gambar IV.44	Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada <i>Holding Time</i> 240 menit	80

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36.....	8
Tabel II.2	Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36.....	8
Tabel II.3	Dimensi Pengujian <i>Impact</i>	14
Tabel II.4	Variasi Model Regresi (S.Taucher).....	16
Tabel III.1	Susunan Pengujian Material	27
Tabel III.2	Komposisi Kimia Larutan Air Laut.....	28
Tabel III.3	Penentuan Dimensi Uji <i>Impact</i>	34
Tabel III.4	Faktor Pengali dalam Metode Jeffries	39
Tabel IV.1	Data pengujian tarik akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C	41
Tabel IV.2	Data pengujian tarik akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C	43
Tabel IV.3	Data pengujian tarik akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C	45
Tabel IV.4	Data pengujian tarik akibat pengaruh suhu pada <i>holding time</i> 120 menit.....	47
Tabel IV.5	Data pengujian tarik akibat pengaruh suhu pada <i>holding time</i> 240 menit.....	49
Tabel IV.6	Data pengujian <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C.....	51
Tabel IV.7	Data pengujian <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C.....	53
Tabel IV.8	Data pengujian <i>impact</i> akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C.....	55
Tabel IV.9	Data pengujian <i>impact</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 120 menit	56
Tabel IV.10	Data pengujian <i>impact</i> akibat pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> 240 menit	58
Tabel IV.11	Data nilai ketangguhan akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 750°C.....	60
Tabel IV.12	Data nilai ketangguhan akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 850°C.....	62
Tabel IV.13	Data nilai ketangguhan akibat pengaruh <i>holding time</i> pada suhu 950°C.....	63
Tabel IV.14	Data nilai ketangguhan pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> selama 120 menit	65
Tabel IV.15	Data nilai ketangguhan pengaruh suhu dengan <i>holding time</i> selama 240 menit	67
Tabel IV.16	Perhitungan Besar Diameter Butir	72
Tabel IV.17	Hasil Kekuatan dengan Diameter Butir.....	76
Tabel IV.18	Hasil Kekuatan dan Diameter	77
Tabel IV.19	Perhitungan Hasil Regresi dengan Diameter Mikro.....	78



Tabel IV.17	Rekapitulasi data keseluruhan hasil pengujian	81
Tabel IV.18	Perubahan selisih antara variasi perlakuan panas dan <i>quenching</i> terhadap plat 1	82

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Penggunaan material baja dan juga pengelasan sering digunakan di dunia Industri Maritim khususnya Industri Perkapalan. Namun, kegagalan pada struktur juga sering terjadi yang disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor tersebut adalah kebakaran.

Kebakaran pada kapal masih sering terjadi di perairan laut Indonesia. Berdasarkan data Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) tahun 2009, kecelakaan kapal yang terbakar mempunyai jumlah sebanyak 26 kasus. Pada tahun 2013, masih terdapat kasus kapal terbakar, salah satunya yaitu KM. Pramudita yang terbakar di perairan pelabuhan khusus Indonesia Power, Banten.

Pada saat terjadinya kebakaran pada kapal, pemadaman dengan cepat dilakukan agar kebakaran pada kapal tidak meluas. Kebakaran dan dilanjutkan dengan pemadaman (dengan air laut) dapat mengakibatkan perubahan struktur pada material. Perubahan struktur tersebut dapat membuat material menjadi *brittle* (getas) dan memiliki kekerasan yang tinggi. Perubahan struktur pada material ini dapat menyebabkan nilai *plastic deformation* kecil atau tidak ada sama sekali. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan struktur. Akibatnya jika terdapat crack pada material *brittle* ini, maka crack dapat menyebar secara cepat dengan sedikit deformasi.

Dari uraian diatas, penelitian ini akan dilakukan dengan simulasi suhu kebakaran menggunakan oven pemanas untuk variasi suhu, waktu dan proses *quenching*. Dan juga penelitian ini dilakukan untuk melihat ketangguhan dari material ASTM A36 dengan melakukan pengujian *impact* dan tarik. Dan untuk *Fracture Toughness* didapatkan dengan konversi hasil pengujian *impact*. Dari hasil konversi inilah didapatkan nilai K_{Ic} untuk melihat keuletan patah dari material yang diuji.

I.2 Perumusan Masalah

Dengan uraian penjelasan dari latar belakang diatas, maka perumusan masalah yang akan dicapai didalam Tugas Akhir ini adalah:

- Berapa besar nilai *fracture toughness* pada material ASTM A36 akibat pengaruh suhu dan *quenching* ?
- Berapa besar kekuatan *impact* dan kekuatan tarik pada material ASTM A 36 akibat pengaruh suhu dan *quenching* ?

- c. Apa hubungan antara kekuatan tarik, kekuatan *impact* dan nilai *fracture toughness* material ASTM A36 akibat pengaruh suhu dan *quenching* ?

I.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang ada dalam penelitian ini adalah:

- a. Baja yang digunakan adalah material ASTM A 36.
- b. Tingkat konsentrasi dan salinitas air laut sama menggunakan ASTM D1141 – 90, “Standart Specification for Substitute Ocean Water” adalah larutan pengganti air laut.
- c. Pengujian menggunakan *impact test* dan *tensile test*.
- d. Variasi suhu perlakuan *Quenching* yang akan digunakan adalah 750°C, dan 850°C, dan 950°C.
- e. *Holding Time* yang akan dilaksanakan didalam Tugas Akhir ini adalah 120 menit dan 240 menit untuk masing-masing variasi suhu.
- f. Penelitian ini dilakukan pada struktur konstruksi yang berdekatan dengan sumber kebakaran.
- g. Proses perlakuan panas material untuk simulasi suhu kebakaran dilakukan pada oven pemanas.

I.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

- a. Untuk mengetahui nilai *fracture toughness* pada material ASTM A36 akibat pengaruh suhu dan *quenching*.
- b. Untuk mengetahui besar kekuatan *impact* dan kekuatan tarik pada material ASTM A36 akibat pengaruh suhu dan *quenching*.
- c. Untuk mengetahui hubungan antara kekuatan tarik, kekuatan impak dan nilai *fracture toughness*

I.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- a. Memberikan pengetahuan tentang proses pengujian *Quenching*.
- b. Memberikan pengetahuan tentang nilai ketangguhan material terhadap proses *Quenching*.

I.6 Hipotesis

Hipotesis awal dari tugas akhir ini adalah material ASTM A36 yang diberikan perlakuan panas dan proses *quenching* maka kekuatan akan bertambah dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Sedangkan keuletan pada material akan berkurang seiring bertambahnya kekuatan.

I.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini meliputi :

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR GRAFIK

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi hal-hal yang menjelaskan tentang kondisi latar belakang yang mempengaruhi penelitian ini harus dilakukan, perumusan masalah dari penjelasan latar belakang penelitian ini yang menjadi permasalahan dan harus dijawab dengan penelitian ini dilakukan, batasan-batasan masalah dari penelitian ini, tujuan atau pencapaian yang digunakan untuk menjawab penelitian ini, manfaat yang akan diperoleh dari penelitian tugas akhir ini, hipotesis awal dari penelitian ini dan gambaran sistematika penulisan laporan yang digunakan didalam penulisan tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian. Dengan tinjauan pustaka sebagai penjelasan singkat hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dan dasar teori berisi tulisan dan cuplikan penemuan ilmu pengetahuan dari peneliti, persamaan-persamaan, dan *code* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir sebagai pedoman seperti yang dijelaskan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan langkah-langkah atau metode-metode yang akan dilakukan selama penelitian tugas akhir ini berlangsung, dari persiapan hingga penyusunan laporan tugas akhir.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan permasalahan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, studi komparatif, dan analisis teknis.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjabarkan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan, rekomendasi, dan saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

II.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang pernah dilakukan dan berhubungan dengan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Donald (2014), melakukan studi eksperimen pengaruh *quenching* terhadap kekuatan dan struktur mikro pada sambungan palt ASTM A36. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa pada sambungan plat ASTM A36 untuk penurunan kekuatan tarik yang tertinggi adalah sambungan las pada suhu 950°C dengan waktu 60 menit, dan dengan media air laut untuk proses *quenching* , yaitu sebesar 326.96 MPa untuk nilai yield strength dan 420.61 MPa untuk nilai UTS.

Baihaqi (2014), melakukan studi eksperimen metode perbaikan konstruksi lambung kapal pasca kebakaran. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil pada pelat ASTM A 36 yang diuji pada suhu 300°C-600°C nilai regangan masih pada batas yang diizinkan yaitu diatas 23%. Sedangkan mulai suhu 650°C-1000°C nilai regangan yang dibawah 23% dan sudah tidak memenuhi standar ASTM, meskipun nilai tegangan luluh dan tegangan puncaknya masih memenuhi standar.

Chrispinus (2014), melakukan studi eksperimen pengaruh *quenching* terhadap kekuatan tarik, kekuatan *impact* dan struktur mikro pada pelat AISI 1045. Pelat AISI 1045 merupakan baja karbon sedang. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai kekuatan tarik terbesar pada pelat yang dipanaskan pada suhu 1100°C dan didinginkan dengan air laut, yaitu 929.94 Mpa untuk nilai *yield strength* dan 1060.98 Mpa untuk nilai UTS. Kekuatan *Impact* terbesar adalah pelat yang dipanaskan pada suhu 850°C dan didinginkan dengan air laut, yaitu 0.37 joule/mm².

Savero (2014), melakukan Analisa Pengaruh Aplikasi *Preheat* dan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) pada Pengelasan Baja Karbon A36 Menggunakan Backing Material dengan Metode FCAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalurgi. Dari penelitian tersebut didapatkan pengaruh harga K_{Ic} tergantung besarnya tegangan luluh. Semakin besar tegangan luluh maka semakin besar harga K_{Ic} yang diterima material tersebut.

Trigondo (2011), tentang pengaruh temperatur canai hangat *multi pass* dan waktu tahan terhadap kekerasan struktur mikro dan besar butir baja karbon rendah. dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin besar suhu yang diberikan, yaitu : 500°C dan 550°C, maka ukuran diameter butir semakin besar, yaitu : 17.19 μm dan 17.74 μm . Semakin lama waktu tahan diberikan maka ukuran diameter butir semakin besar.

Didalam penelitian Smith, et al., (1981) mengenai proses perlakuan panas menggunakan metode kebakaran dengan waktu penahan 1 jam dan 4 jam, dengan suhu 800°C, 900°C, 1000°C pada baja ASTM A572 Grade 50 di suhu 750°C s/d 1000°C. Untuk baja ASTM A572 Grade 50 terjadi penurunan nilai tegangan pada suhu 800°C, nilai tegangan mengalami kenaikan pada suhu 900°C dan 1000°C. semakin lama *holding time* maka regangan semakin besar.

Futichah, et al., (1997), tentang Peningkatan Unjuk Kerja *Zircalloy-4* sebagai Kelongsong Bahan Bakar Nuklir melalui Proses Penghalusan Butir dengan Cara Regang-Anil. Dari hasil penelitian ini, didapatkan hubungan linier antara kekutan tarik dengan ukuran diameter butir. Dimana hubungan linier dapat didekati dengan teori Hall-Petch dengan persamaan $\sigma_u = 77.867 + 33.95 \cdot d^{-0.5}$. Dimana diameter yang semakin mengecil akan meningkatkan kekuatan tariknya.

Suhartono (2004), tentang Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Kuat Fatik Baja menggunakan Proses Simulasi dan Eksperimen. Dari hasil penelitian, didapatkan hubungan kekutan luluh dengan diameter butir dengan menggunakan pendekatan persamaan Hall-Petch dengan persamaan $\sigma_y = 370 + 218 \cdot d^{-0.5}$. Dari persamaan ini didapatkan garis regresi dengan data pengujian untuk melihat hubungan persamaan. Dimana koefisien korelasi (R) berkisar 0 sampai 1. Dimana nilai R semakin mendekati 1 maka kurva yang dibuat dapat dipercaya. Dari hasil penelitian ini, nilai R didapatkan sebesar 0.99. Nilai tersebut mendandakan hubungan yang sangat kuat antara besar butir dan kuat luluh.

II.2 Dasar Teori

II.2.1 Baja

Besi dan baja merupakan logam yang sering digunakan manusia untuk berbagai keperluan. Begitu juga didalam Industri Maritim khususnya Industri Perkapalan, baja sering digunakan sebagai bahan konstruksi didalam pembuatan kapal.

Menurut komposisi kimianya, baja dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu : Baja karbon dan Baja paduan. Adapun klasifikasi baja tersebut antara lain :

a) Baja Karbon

Baja karbon tersusun dari unsur besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif dan murah, oleh karena itu umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya.

Baja karbon digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu:

[1] Baja Karbon Rendah

- Mengandung kandungan karbon $< 0.25\%$.
- Struktur didominasi oleh ferit dan sedikit perlit.
- Mempunyai keuletan yang tinggi dan mudah di-machining.
- Tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk martensit.
- Mempunyai nilai kekerasan rendah.
- Aplikasinya digunakan sebagai pagar pintu rumah, body mobil, dan pipa saluran.

[2] Baja Karbon Menengah

- Mengandung kandungan karbon $0,25\% - 0,6\%$.
- Dapat dinaikkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas austenizing, quenching, dan tempering.
- Lebih kuat dari baja karbon rendah.
- Lebih sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong daripada baja karbon rendah.
- Aplikasinya digunakan sebagai bahan baku pembuatan perangkat mesin seperti roda gigi, poros, dan crankshaft.

[3] Baja Karbon Tinggi

- Mengandung kandungan karbon $0,6\% - 1,7\%$.
- Lebih kuat, lebih keras, lebih getas daripada baja karbon menengah.

- Lebih sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong daripada baja karbon menengah.
- Sulit dibentuk dengan mesin.
- Aplikasinya digunakan untuk gergaji, perkakas potong, pisau cukur, pegas, dan rel kereta api.

b) Baja Paduan

Baja paduan diklasifikasikan menurut kadar paduannya dibagi menjadi:

- [1] Baja paduan rendah (low-alloy-steel), jika elemen paduan $\leq 2.5\%$ misalnya unsur Cr, Mn, S, Si, P dan lain-lain.
- [2] Baja paduan menengah (medium-alloy-steel), jika elemen paduannya $2.5\% - 10\%$ misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain-lain.
- [3] Baja paduan tinggi (high-alloy steel) jika elemen paduannya $> 10\%$ misalnya unsur Cr, Mn, Si, S, P, dan lain-lain. [Amanto,1999]

II.2.2 Sifat Baja ASTM A36

Pada penelitian ini, baja yang digunakan adalah ASTM A36. Pada baja ASTM A36 termasuk baja yang memiliki komposisi karbon rendah (*low carbon steel*), mempunyai komposisi material dan *mechanic property* yang ditunjukkan pada Tabel II.1 dan II.2 yaitu:

Tabel II.1. Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36, (ASTM A36,2004)

Komposisi (%)	Tebal Pelat (mm)				
	≤ 20	20 – 40	40 – 65	65 – 100	> 100
Karbon (C), max	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Mangan (Mn)	0.18 – 1.20	0.08 – 1.20	0.08 – 1.20
Fosfor (P), max	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur (S), max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon (Si)	0.04 max	0.04 max	0.15 – 0.40	0.15 – 0.40	0.15 – 0.40
Tembaga (Cu), Jika ditentukan	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel II.2. Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36, (ASTM A36,2004)

Tegangan Puncak (<i>Ultimate</i>), ksi [Mpa]	55 – 80 [400 – 500]
Tegangan Luluh (<i>Yield</i>), min, ksi [Mpa]	36 [250]
Regangan, min,	% 23

II.2.3 Perlakuan Panas

1. *Annealing*

Annealing (anil) merupakan proses perlakuan panas pada logam/paduan, yang dilakukan dengan memanaskan logam/paduan sampai pada temperatur tertentu kemudian menahan temperatur tersebut selama waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan. Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Adapun tujuan dilakukan anil, antara lain : melunakkan/menaikkan keuletan, menghaluskan butir kristal menghilangkan tegangan dalam, memperbaiki machinability dan memperbaiki sifat kelistrikan/kemagnitan.

2. *Normalizing*

Normalizing (Normalisasi) merupakan suatu proses pemanasan pada baja sampai terbentuknya austenite seluruhnya, kira-kira sekitar 40°C diatas temperature A_3 untuk baja hypoeutekoid ($\%C < 0.8$) atau diatas A_{cm} untuk baja hypereutekoid, kemudian ditahan untuk beberapa saat kemudian didinginkan di udara. Pendinginan ini lebih cepat daripada pendinginan pada anil sempurna.

Penormalan ini menghasilkan struktur mikro lebih halus, sehingga untuk baja dengan komposisi kimia yang sama akan mempunyai kekutan luluh, kekutan tarik maksimum, kekerasan dan kekuatan impak (ketangguhan) lebih tinggi serta daripada proses anil sempurna.

3. *Tempering*

Tempering merupakan proses perlakuan panas kembali yang dilakukan pada logam/paduan yang telah dikeraskan kesuatu temperatur dibawah temperatur kristis bawah A_1 kemudian didinginkan kembali dengan laju pendinginan yang lambat.

Baja yang telah dikeraskan dengan pembentukan struktur martensit, pada kondisi *as-quenced*, biasanya sangat getas, sehingga tidak cukup baik dalam berbagai pemakaian. Oleh karena itu, baja yang telah dikeraskan dilakukan penemperan dengan tujuan, yaitu : untuk mengembalikan sebagian keuletan/ketangguhan dengan mengorbankan kekuatan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan, serta untuk menghilangkan/mengurangi tegangan sisa.

4. *Quenching*

Quenching merupakan proses pendinginan yang cepat terhadap material dari austenizing dari rentang suhu 815°C sampai 870° C untuk baja. Pemilihan media *quenching* tergantung dari kemampuan pengerasan material, ketebalan material, meliputi bentuk material dan jangka pendinginan untuk mencapai mikrostruktur yang diinginkan. Media *quenching* yang digunakan biasanya dalam bentuk larutan atau gas. Media *quenchant* berupa larutan yang digunakan adalah:

- a. Minyak yang dapat terdiri dari berbagai macam zat aditif.
- b. Air.
- c. Larutan polimer.
- d. Air yang mengandung garam atau zat aditif lainnya.

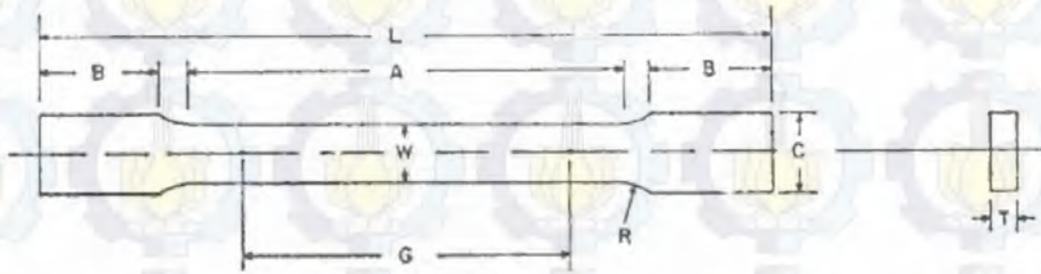
Media *quenching* yang berupa gas biasanya terdiri dari helium, argon, dan nitrogen. [ASM Vol 4, 1991]

Proses *quenching* ini dilakukan dengan pendinginan yang cepat untuk menghasilkan struktur yang diinginkan. Jika proses *quenching* terjadi dengan cepat, maka distorsi dan cracking dapat terjadi. Oleh karena itu maka media *quenching* sangat perlu diperhatikan agar menghasilkan produk yang memuaskan. Salah satu media tersebut adalah air yang memberikan *quenching rate* tiga (3) kali lebih cepat dari oli dan lebih mudah dibersihkan dari oli.

II.2.4 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk melihat keuletan suatu material. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Proses pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban aksial secara berkelanjutan/terus-menerus pada benda uji (spesimen) hingga putus.

Proses pembuatan setiap benda uji harus sesuai dengan standar yang diinginkan. Jika mengacu pada ASTM E8-04 (Gambar II.1), pengukuran benda uji dapat dilakukan. Sebelum melakukan pengujian maka dilakukan pengukuran parameter yang merupakan acuan selama pengujian.

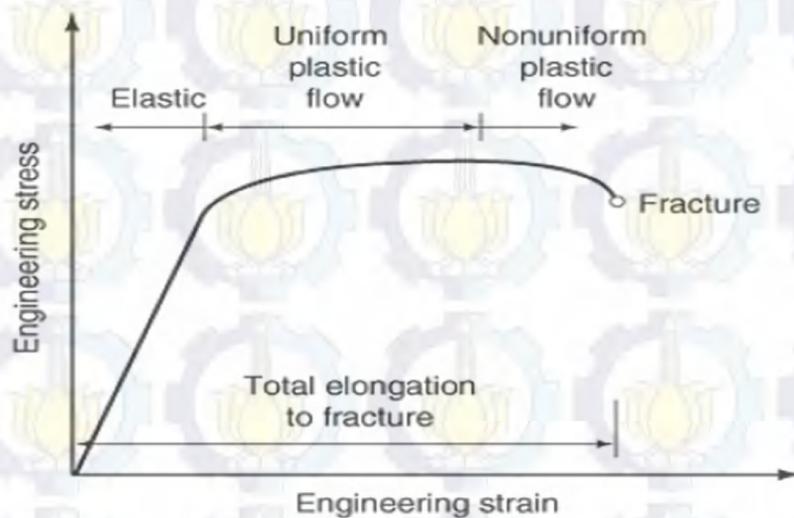


Gambar II.1. Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik
[ASTM E8,2004]

Keterangan dari Gambar II.1:

- G : gauge length (mm)
- A : length reduced section (mm)
- R : radius of fillet (mm)
- C : lebar grip (mm)
- T : tebal (mm)
- L : Panjang spesimen (mm)
- B : Panjang grip (mm)

Hasil pengujian tarik digambarkan dalam sebuah diagram tegangan-regangan. Diagram ini menunjukkan deformasi yang terjadi pada material yaitu deformasi plastis dan elastis. Disebut deformasi elastis, jika material diberi beban (ditarik) lalu beban dihilangkan akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan deformasi plastis terjadi, jika setelah beban dihilangkan material tidak kembali ke bentuk semula.



Gambar II.2. Diagram Tegangan-Regangan

[ASM Vol 8, 1991]

Pada Gambar II.2, deformasi elastis terjadi hingga titik luluh (*yield point*) setelah itu deformasi yang terjadi pada material adalah plastis hingga akhirnya material tersebut patah (*break point*). Titik luluh jika tidak bisa didapatkan secara jelas pada pengamatan alat pengukur maupun diagram (terutama pada alat yang masih manual) bisa dilakukan dengan melakukan offset sebesar 0,2% pada diagram. Titik tegangan maksimum berada pada posisi garis tertinggi dari diagram tersebut. Dari mesin uji tarik nilai tegangan maksimum dan luluh dalam satuan Newton.

Pada perencanaan konstruksi, nilai tegangan luluh ini sangat penting. Karena nilai ini menjadi acuan untuk desain sebuah konstruksi, sehingga beban yang diterima konstruksi tersebut berada di bawah kisaran tegangan luluh material. Jika material tersebut menerima beban melebihi tegangan luluh, maka terjadi deformasi plastis hingga pada akhirnya material tersebut akan mengalami kepecahan.

Sifat mekanis (*mechanical properties*) setelah pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan sesuai rumus berikut:

$$\sigma_{Ultimate} = P_{ultimate} / A_o \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots\dots\dots (II.1)$$

$$\sigma_{Yield} = P_{yield} / A_o \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots\dots\dots (II.2)$$

$$\varepsilon \text{ (Elongation)} = (L_i - L_o) / L_o \text{ [\%]} \dots\dots\dots (II.3)$$

Keterangan :

A_o : Luas penampang (CSA) awal [mm²]

L_o : *Gauge length* awal [mm]

L_i : *Gauge length* setelah pengujian [mm]

$P_{ultimate}$: Beban maksimum [N]

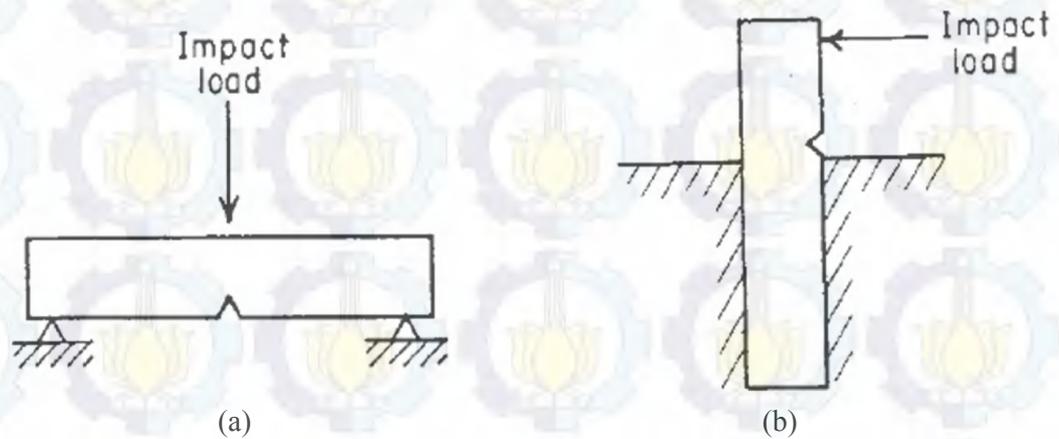
P_{yield} : Beban luluh [N]

II.2.5 Uji Impact

Uji *impact* adalah pengujian yang dilakukan terhadap material untuk mengetahui efek dari beban mendadak terhadap *ductility* suatu material. Pengujian *impact* juga untuk mendapatkan seberapa besar efek daripada suhu energi yang diabsorpsi.

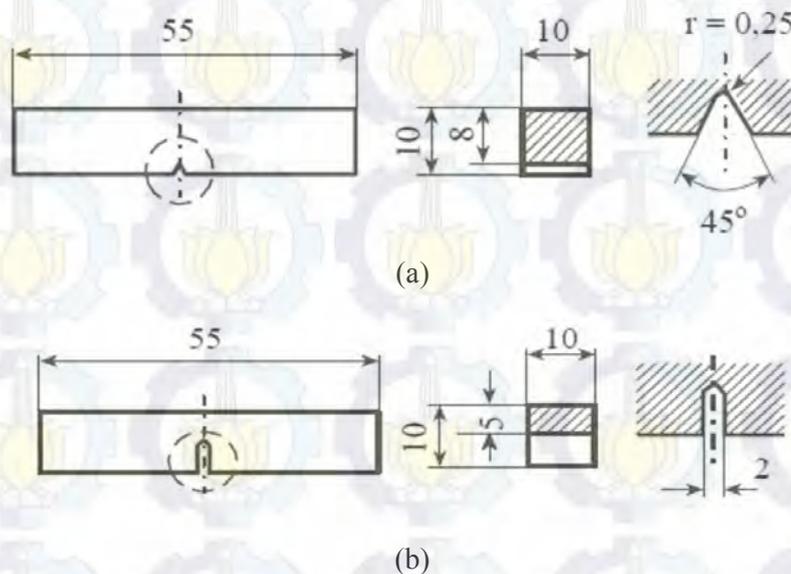
Banyak jenis-jenis pengujian *impact* yang dilakukan untuk mengetahui nilai dari *notch toughness* pada baja, plastic dan juga keramik. Pada umumnya, kategori tes *impact* dapat

diklasifikasikan dalam hal metode pembebanan (pukulan dari pendulum atau *drop weight loading*) dan jenis spesimen dilihat dari bentuk *notch* (takik), misalnya, Charpy V-notch, Charpy U-notch, atau Izod [ASM Vol 8, 1991]. Umumnya pengujian *impact* Charpy V-notch dan Izod paling sering digunakan. Pada Gambar II.3, dapat dilihat jenis-jenis pengujian *impact*.



Gambar II.3. (a) Pengujian Impact Charpy V-notch (b) Pengujian Impact Izod [Dieter, 1988]

Berdasarkan bentuk *notch*-nya, spesimen untuk pengujian *impact* terdiri dari *charpy v-notch specimen*, dan *charpy u-notch specimen*. Dimensi pengukuran spesimen untuk pengujian *impact* dapat dilihat pada Gambar II.4. [BKI Vol V, 2009]



Gambar II.4 (a) Dimensi Spesimen Charpy V-notch (b) Dimensi Spesimen Charpy U-notch [BKI Vol V, 2009]

Tabel II.3 Dimensi pengujian *impact* (BKI Vol V,2009)

Dimensions	V – notch specimen		U – notch specimen	
	Normal size	Tolerance	Normal size	Tolerance
Length of specimen	55 mm	± 0,60 mm	55 mm	± 0,60 mm
Thickness of specimen	10 mm	± 0,06 mm	10 mm	± 0,11 mm
Width of specimen				
– Normal specimen	10 mm	± 0,11 mm	10 mm	± 0,11 mm
– Sub-size specimen	7,5 mm	± 0,11 mm	---	---
– Sub-size specimen	5 mm	± 0,06 mm	---	---
Notch angle	45°	± 2°	---	---
Thickness at base of notch	8 mm	± 0,06 mm	5 mm	± 0,09 mm
Notch radius	0,25 mm	± 0,025 mm	1 mm	± 0,07 mm
Distance of notch centre from ends of specimen ¹⁾	27,5 mm	± 0,42 mm	27,5 mm	± 0,42 mm
Angle between plane of symmetry of notch and longitudinal axis	90°	± 2°	90°	± 2°
Angle between adjacent longitudinal faces	90°	± 2°	90°	± 2°

1) For pendulum impact testing machines which have automatic specimen positioning, a tolerance of ±0,165 is recommended rather than ±0,42.

Pada penelitian ini menggunakan pengujian *Impact* dengan charpy V-Notch. Rumus yang dihasilkan dapat dilihat dari persamaan (II.4), yaitu :

$$Impact\ Strength = Absorbed\ Energy / C.S.A\ under\ the\ notch \ [Joule/mm^2] \dots\dots\dots (II.4)$$

II.2.6. Fracture Toughness

Selain dengan harga *impact* yang ditunjukkan oleh alat uji pengukuran ketangguhan suatu bahan juga dapat ditunjukkan oleh nilai *fracture toughness* (ketangguhan/keuletan patah). *Fracture* atau patahan dapat didefinisikan sebagai pemisahan mekanis dari benda solid karena penerapan tegangan. *Fracture* dalam dunia material teknik dikategori sebagai ulet (*ductile*) atau getas (*brittle*), sedangkan *fracture toughness* dikategori sebagai energi yang dibutuhkan untuk mematahkan permukaan material. Dalam bentuk mudahnya jika material yang rapuh seperti gelas, energi yang dibutuhkan agar permukaan gelas patah adalah lebih kecil dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk mematahkan struktur logam campuran pada suhu ruang. Hal ini disebabkan karena deformasi plastis turut serta dalam proses pematahan. [ASM Vol 8, 2000]

Sebuah retak pada material menghasilkan medan tegangan mengikuti perambatan retak yang tajam, yang mana dapat ditandakan dengan parameter yang bernama *stress intensity* (K). K merupakan parameter tunggal yang mencakup efek dari tegangan yang diterapkan pada bahan uji dan efek dari retak dengan ukuran tertentu pada bahan uji. Dari kombinasi efek tersebut tercipta perambatan retak cepat, yang disebut *critical stress-intensity factor* (K_c). Semakin besar nilai K_c semakin besar juga tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan perambatan retak cepat dan semakin besar pula daya tahan suatu material terhadap *brittle fracture*. [ASM Vol 8, 1991]

Karena *fracture toughness* merupakan skala parameter perubahan retak material yang menjadi getas yang rentan terhadap sedikit retak bervariasi dan geometri yang berbeda dimana magnitude dari tensile stress diujung retak memberikan kepecahan diluar stress kritis yang mengakibatkan terbentuknya retak, jelasnya *fracture toughness* tersebut berbeda dari *stress intensity factor* (SIF) karena SIF dinilai dari geometri dan beban yang dialami material sedangkan *fracture toughness* dinilai dari lingkungan, suhu, beban yang diterima pada saat material bekerja. Jadi, perambatan retak terjadi jika $SIF > K_{Ic}$.

Stress intensity factor, K_I , untuk tip retak pada daerah mana saja mengacu pada tegangan tarik (σ) dari material dapat dihitung dengan persamaan (II.5):

$$K_I = \sigma (a\pi)^{1/2} f(g) \dots \dots \dots (II.5)$$

Dimana:

$f(g)$ = parameter tergantung pada geometri dari retak

σ = tegangan normal yang bekerja (P/A)

a = ukuran panjang retak

Persamaan (II.5) telah membantu dalam upaya pembuatan informasi desain praktis dengan kebutuhan untuk pelayanan kalangan luas atau kebutuhan korelasi. [ASM Vol 8, 2000]

Untuk mencari korelasi antara hasil uji *impact* dengan hasil uji *fracture toughness*, Barsom dan Rolfe melakukan regresi dari beberapa variasi yang dapat dilihat pada Tabel II.4. Model *non linier* ditransformasikan ke persamaan *linier* dengan menggunakan transformasi logaritmatik *natural*. Transformasi ini diasumsikan besar residual stress yang dirubah dan didistribusikan secara merata. Data dari semua material sudah digabungkan menjadi model evaluasi ini. [Tauscher, 1981]

Tabel II.4. Variasi Model Regresi

[S.Tauscher, 1981]

	<u>n</u>	<u>R²</u>
$K_{Ic} = b_1 \text{ CVN } (-40^{\circ}\text{F}) + b_2$	83	.124
$K_{Ic} = b_1 \text{ CVN } (70^{\circ}\text{F}) + b_2$	83	.112
$K_{Ic} = b_1 \sigma_{YS} + b_2$	83	.132
$K_{Ic} = \text{R.A.} + b_2$	83	.012
$K_{Ic} = b_1 \sigma_{YS} b_2 \text{ R.A.} b_3$	83	.347
$K_{Ic} = b_1 \sigma_{YS} b_2 \text{ CVN } (70^{\circ}\text{F}) b_3$	83	.142
$K_{Ic} = b_1 \sigma_{YS} b_2 \text{ CVN } (-40^{\circ}\text{F}) b_3$	83	.024
$K_{Ic} = b_1 (\sigma_{YS} \text{ R.A.}) b_2 \text{ CVN } (70^{\circ}\text{F}) b_3$	83	.138
$K_{Ic} = b_1 \sigma_{YS} + b_2 \text{ CVN } (70^{\circ}\text{F}) + b_3$	83	.420
$K_{Ic} = b_1 \sigma_{YS} + b_2 \text{ R.A.} + b_3$	83	.144
$K_{Ic} = b_1 [5 \sigma_{YS} \text{ CVN} - \sigma_{YS}^2]^{1/2} + b_2$	83	.634
$= b_1 (\text{B.R. } K_{Ic}) + b_2$		
$K_{Ic}^2 = b_1 \text{ CVN } \sigma_{YS} + b_2 \sigma_{YS}^2 + b_3$	83	.643

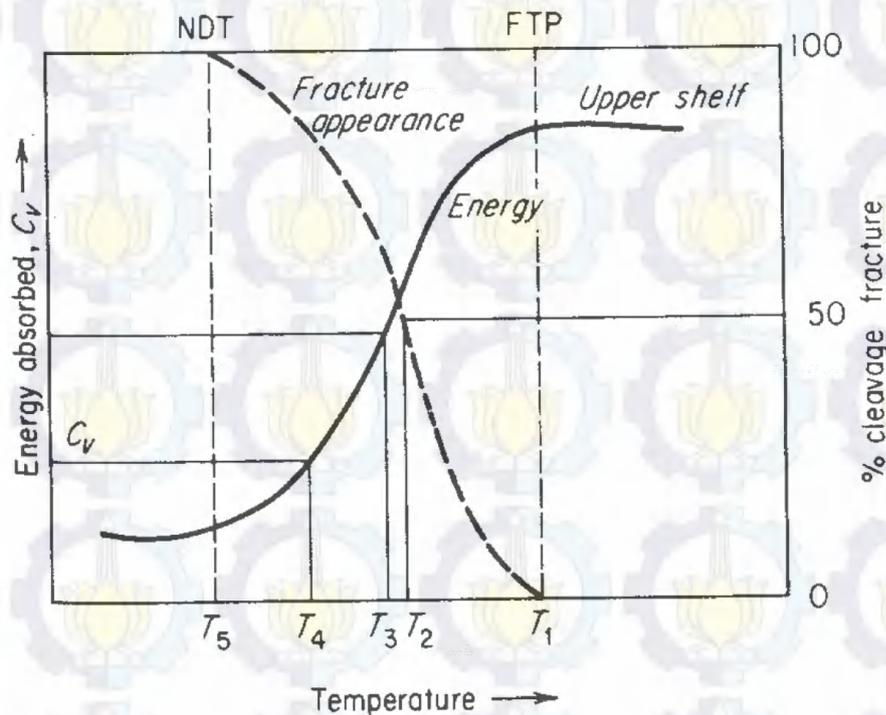
Nilai *fracture toughness* dapat dicari dari pengkonversian hasil *charpy v-notch test* (*impact test*) menurut *Barsom-Rolfe relation*:

$$K_{Ic}^2 = 5 \text{ CVN } \sigma_{ys} - 0.25 \sigma_{ys}^2 \dots\dots\dots (\text{II.6})$$

Dimana :

- K_{Ic} = *Fracture Toughness Mode I* (ksi in^{1/2})
- CVN = *Charpy V-Notch Impact Test* (ft lb)
- σ_{ys} = *Yield Strength* (ksi)

Dari persamaan (II.6) dapat dicari untuk kondisi *upper shelf*, kondisi dimana suatu material berada di titik di atas FATT (*Fracture Appearance Transition Temperature*), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar II.5.



Gambar II.5. Grafik *Transition Temperature* ASTM A36

[Dieter, 1988]

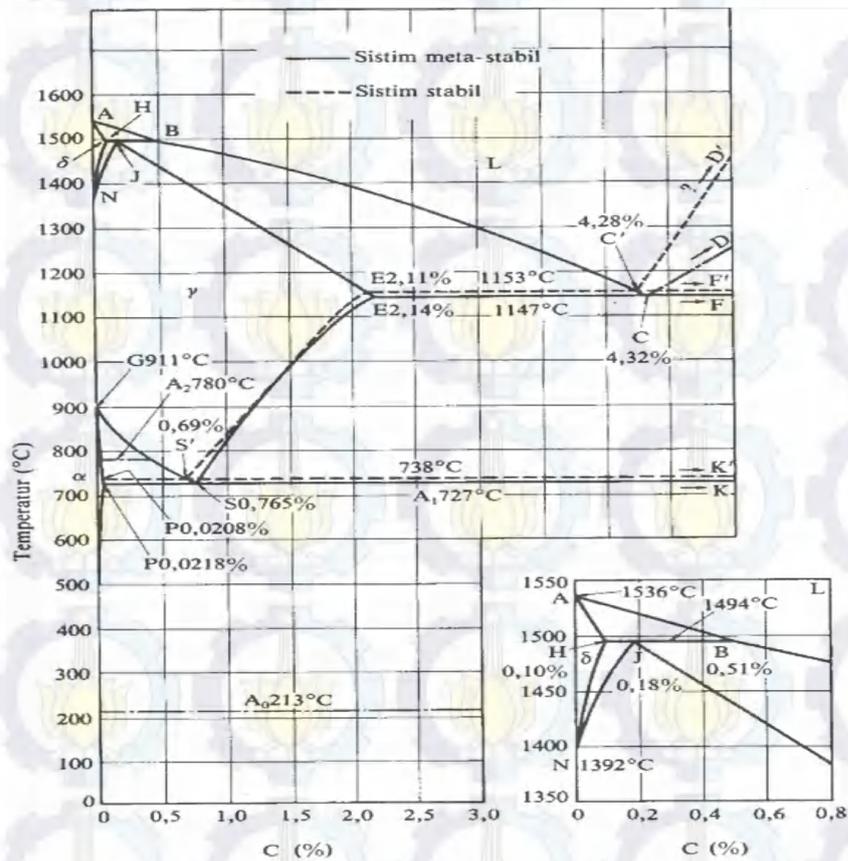
Kriteria yang paling stabil untuk suhu transisi adalah dengan memilih T_1 , dimana hubungan antara *upper self* di *energy fracture* dan suhu di atas dimana patahnya merupakan 100 persen *fibrous* (0 persen *cleavage*). Kriteria suhu transisi ini disebut *Fracture Transition Plastic* (FTP). Penggunaan FTP sangat stabil dan penggunaan di berbagai aplikasi mungkin tidak praktis. Kriteria yang tidak konsisten dan kurang stabil berada pada suhu transisi T_2 , dimana terdapat 50 persen *cleavage* dan 50 persen *shear*. Didaerah T_2 ini merupakan FATT (*Fracture Appearance Transition Temperature*). [Dieter, 1988]

II.2.7 Struktur Mikro Pada Baja

Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam. Dari unsur besi berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut

bahan yang kaya dengan sifat-sifat. Struktur mikro besi dan baja dapat dijelaskan pada dua pembahasan berikut. [Surdia, et al., 1999]

a. Diagram Fasa Besi-Karbon



Gambar II.6 Diagram Keseimbangan Besi-Karbon

[Surdia, et al., 1999]

Diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3% - 1,5% Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S, dan sebagainya. Karena unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa, maka diagram fasa tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut.

Pada paduan besi karbon terdapat fasa karbida yang disebut sementit dan juga grafit, grafit lebih stabil daripada sementit, yang mana sementit mempunyai kadar karbon 6,67%. Titik-titik penting pada diagram fasa Gambar II.6 ini adalah:

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 0,1 %.
- J : Titik peritektik. Selama pendinginan austenit pada komposisi J. Fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N : Titik transformasi dari besi δ dari/ke besi γ , titik transformasi A4 dari besimurni.
- 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 disebut ledeburit.
- E : Titik yang menyatakan fasa γ , ada hubungan dengan reaksi eutektik. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.
- G : Titik transformasi besi γ dari/ke besi α . Titik transformasi A3 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 terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi A1, dan fasa eutektoid ini dinamakan perlit.
- GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dan austenit. Garis ini disebut garis A3.
- ES : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk sementit dari austenit, dinamakan garis Acm.
- A₂ : Titik transformasi magnetik untuk besi atau ferit.
- A₀ : Titik transformasi magnetik untuk sementit.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam diagram keseimbangan besi – karbon, yaitu perubahan fasa perit, austenite, sementit, perlit, dan martensite yang diuraikan dibawah ini :

- Ferit : Merupakan modifikasi struktur besi murni pada suhu ruang, dimana perit menjadi lunak dan ulet karena ferit memiliki struktur BCC, maka ruang antara atom – atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon tertampung hanya sedikit.
- Austenit : Merupakan modifikasi besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan perit. Meski demikian rongga – rongga struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi.

- Sementit : Kondisi dimana karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua yang memiliki komposisi Fe_3C . Karbida pada ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja sifat dasar sementit adalah sangat keras.
- Perlit : Merupakan campuran khusus yang terjadi atas dua fasa yang terbentuk austerisasi, dengan komposisi eutektoid bertransformasi menjadi ferit dan karbida. Ini dikarenakan ferit dan karbida terbentuk secara bersamaan dan keduanya saling bercampur. Apabila laju pendinginan dilakukan secara cepat maka difusi akan terbatas pada jarak yang dekat sehingga akhirnya menghasilkan lapisan tipis lebih banyak.
- Martensit : Fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali dan terjadi pada suhu dibawah eutektoid tetapi masih diatas suhu kamar. Karena struktur austenite tidak stabil maka akan berubah menjadi struktur BCT secara serentak. Semua atom bergerak serentak dan perubahan ini langsung dengan sangat cepat sehingga semua atom yang tinggal tetap pada larutan padat karena terperangkap dalam kisi sehingga sukar menjadi slip, maka martensit akan menjadi kuat dan keras tetapi sifat getas dan rapuh menjadi tinggi. Martensit dapat terjadi apabila austenite didinginkan dengan cepat (dicelup) hingga temperature dibawah pembentukan bainit. Martensit terbentuk karena transformasi tanpa difusi sehingga atom – atom karbon seluruhnya terperangkap dalam larutan super jenuh. Keadaan ini yang menimbulkan distorsi pada struktur kristal martensit. Tingkat distorsi yang terjadi sangat tergantung pada kadar karbon.

Baja yang berkadar karbon sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hipereutektoid. Gambar II.7 menunjukkan struktur mikro baja apabila baja didinginkan perlahan-lahan dari 50-100°C di atas garis GS (A3) dan garis SE (Acm) pada Gambar II.6. Pada baja eutektoid transformasi terjadi pada titik tetap S, menjadi struktur yang disebut perlit. Pada baja hipoeutektoid terbentuk fasa ferit mendekati besi murni yang komposisinya sama dengan P dan perlit, sedangkan pada hipereutektoid terbentuk perlit dan sementit pada batas butir.



Gambar II.7 Struktur Mikro Baja Karbon

[Surdia, et al., 1999]

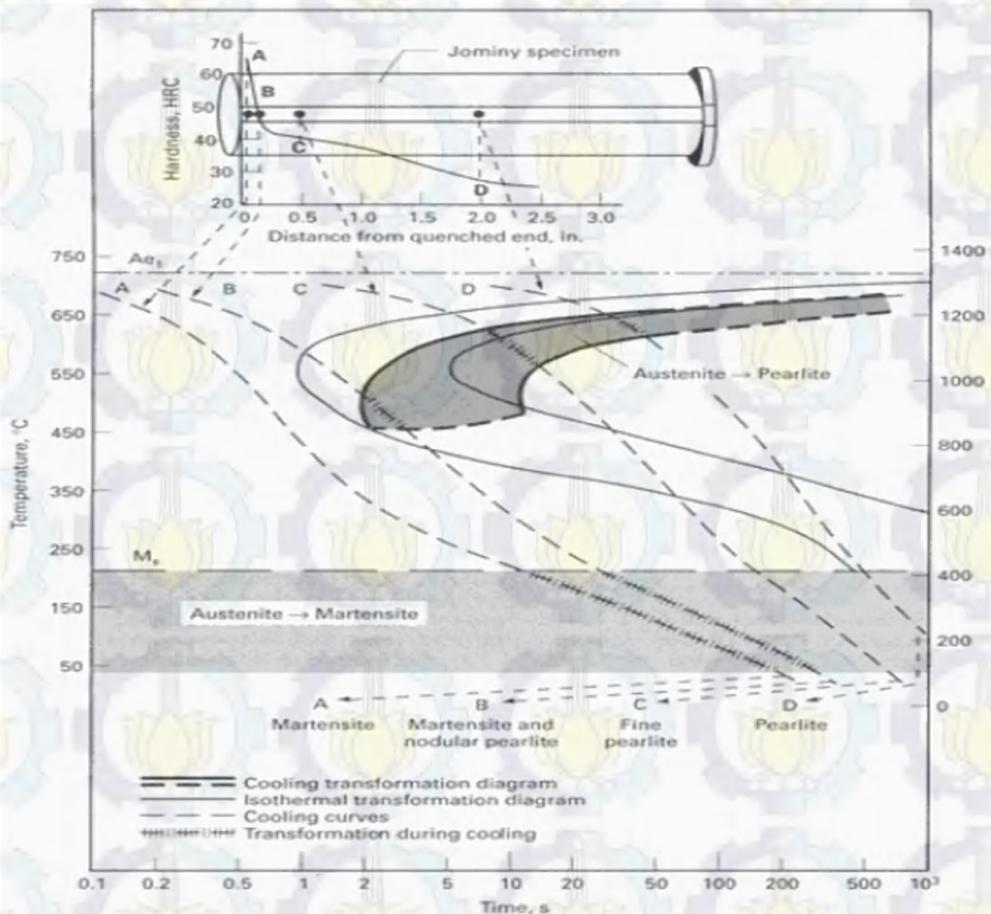
Keterangan Gambar II.7:

- a : 0,06% C, besar butir medium (ASTM no.7) perbesaran 100 kali.
- b : 0,25% C baja dinormalkan pada 930°C perbesaran 500 kali.
- c : 0,3% C baja diaustenitikan pada 930°C ditransformasikan isothermal pada 700°C, ferit dan perlit kasar perbesaran 1000 kali.
- d : 0,45% C baja dinormalkan pada 840°C, ferit dan perlit perbesaran 500 kali .
- e : 0,8% C baja diaustenitikan pada 1150°C, didinginkan di tungku perbesaran 2000 kali.
- f : 1% C baja dirol panas pada 1050°C, pendinginan udara, matriks perlit, sementit pada batas butir (garis putih) perbesaran 500 kali.

b. Diagram TTT dan CTT

Untuk memahami macam – macam fase dan struktur kristal yang terjadi pada saat pendinginan dapat diamati dengan menggunakan diagram Time Temperature Transformation (TTT). Diagram TTT digunakan juga untuk menentukan laju reaksi perubahan fasa.

Untuk menghubungkan kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk dilakukan dengan menggabungkan diagram kecepatan pendinginan kedalam diagram TTT dengan diagram Continuous Cooling Transformation (CCT), hubungan antara grafik TTT dengan grafik CCT dapat dilihat pada Gambar II.8.



Gambar II.8 Hubungan Diagram TTT (garis tebal) dengan Diagram CCT (garis tipis)
[ASM Vol 4, 1991]

Pada Gambar II.8 diatas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik, berarti waktu pendinginan dari suhu austenite turun. Stuktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit – perlit ke campuran ferit – perlit – bainit – martensit, ferit – bainit – martensit, kemudian bainit – martensit, dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur yang terjadi adalah martensit.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Prosedur Umum

Tahapan umum proses pengerjaan Tugas Akhir, yaitu :

A. Uji Kekuatan, Analisa *Fracture Toughness* dan Analisa Struktur Mikro tanpa proses *Quenching*

1. Studi Literatur

Tahapan ini yaitu mengumpulkan sumber-sumber teori dan data yang dibutuhkan sebagai pendukung terlaksananya penelitian dan analisa, yaitu:

- a. Teori umum ASTM A36
- b. Teori uji tarik dan uji Impact
- c. Teori *Fracture Toughness*
- d. Teori Struktur Mikro

2. Persiapan Material

Persiapan yang dilakukan dalam tahapan ini adalah

- a. Pemotongan plat ASTM A36 berukuran 300 mm x 150 mm sebanyak 1 buah.
- b. Memberikan identitas material sebagai bahan uji

3. Uji Kekuatan Plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan dengan uji tarik dan uji impact untuk mengetahui berapa kekuatan tarik, kekuatan *impact* dan ketangguhan pada material ASTM A36.

4. Analisa *Fracture Toughness*

Tahapan ini dilakukan untuk melihat nilai *Fracture Toughness* yang merupakan hasil konversi dari nilai impact.

5. Analisa Struktur Mikro

Tahapan ini dilakukan untuk melihat struktur mikro dari plat ASTM A36 dengan proses pemanasan dan proses *quenching*.

6. Kesimpulan

Tahapan ini dilakukan untuk mengambil kesimpulan hasil dari uji plat ASTM A36 tanpa proses variasi suhu dan juga proses *quenching*.

7. Selesai

B. Uji Kekuatan, Analisa *Fracture Toughness* dan Analisa Struktur Mikro tanpa proses *Quenching*

1. Studi Literatur

Tahapan ini yaitu mengumpulkan sumber-sumber teori dan data yang dibutuhkan sebagai pendukung terlaksananya penelitian dan analisa, yaitu:

- a. Teori umum ASTM A36
- b. Teori uji tarik dan uji *Impact*
- c. Teori *Fracture Toughness*
- d. Teori Struktur Mikro

2. Persiapan material

Persiapan yang dilakukan dalam tahapan ini adalah

- a. Pemotongan plat ASTM A36 berukuran 300 mm x 150 mm sebanyak 6 buah.
- b. Memberikan identitas material sebagai bahan uji

3. Pemanasan Oven

Tahapan ini merupakan proses pemanasan pada plat menggunakan oven listrik dengan kombinasi pemanasan

- Plat 1 dengan suhu 750°C dengan holding time 120 menit
- Plat 2 dengan suhu 850°C dengan holding time 120 menit
- Plat 3 dengan suhu 950°C dengan holding time 120 menit
- Plat 4 dengan suhu 750°C dengan holding time 240 menit
- Plat 5 dengan suhu 850°C dengan holding time 240 menit
- Plat 6 dengan suhu 950°C dengan holding time 240 menit

4. Pendinginan Plat ASTM A36

Tahap ini merupakan proses *quenching* yaitu mendinginkan plat ASTM A36 dengan cara mencelupkan plat yang telah dipanaskan kedalam ember berisi air laut. Larutan pengganti air laut disesuaikan dengan ASTM D1141-98(03).

5. Uji kekuatan plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan dengan uji tarik dan uji *impact* untuk mengetahui berapa kekuatan tarik, kekuatan *impact* dan ketangguhan plat ASTM A36 setelah proses pemanasan dan *quenching*.

6. Analisa *Fracture Toughness*

Tahapan ini dilakukan untuk melihat nilai *Fracture Toughness* yang merupakan hasil konversi dari nilai *impact*.

7. Analisa Struktur Mikro

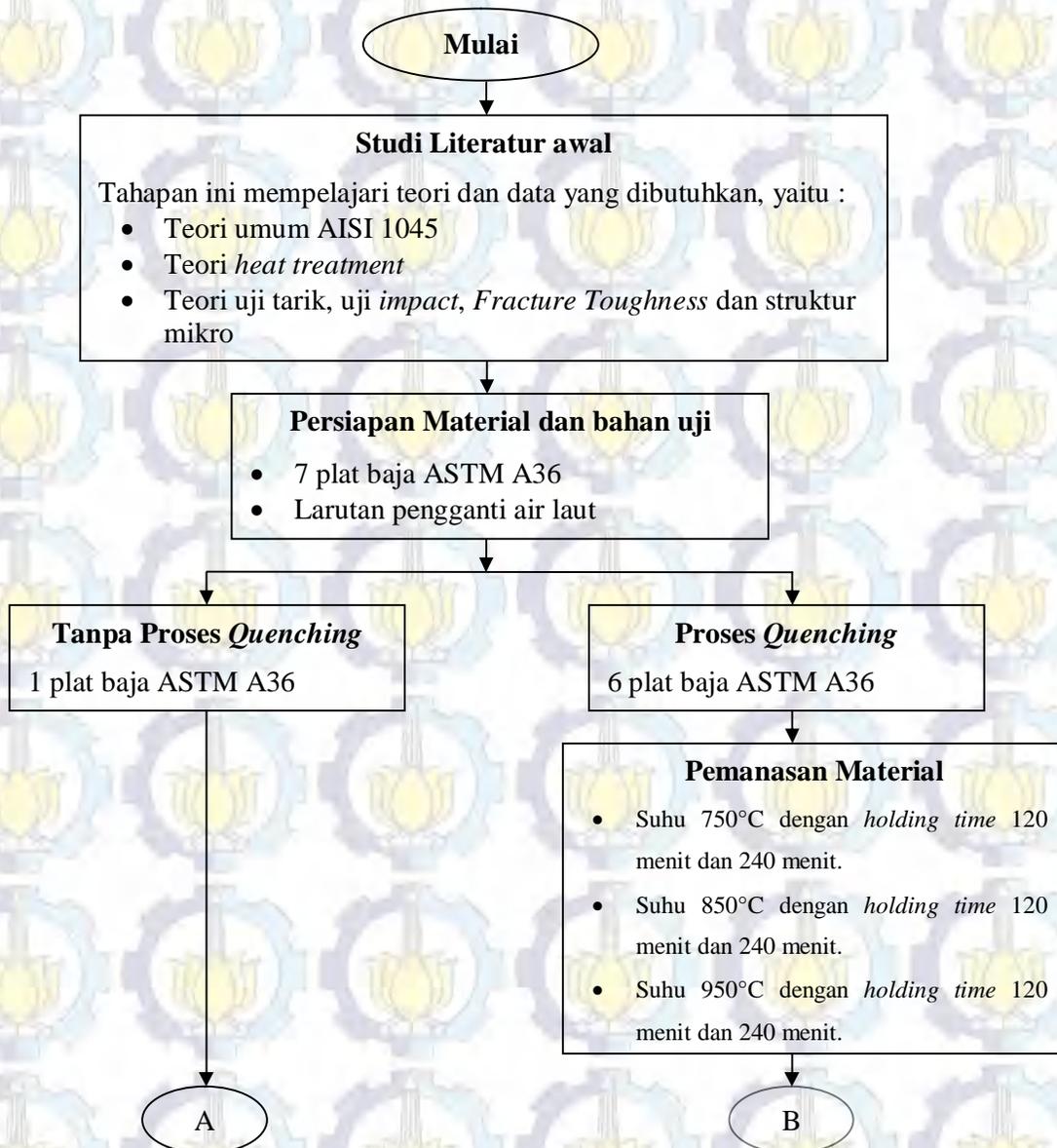
Tahapan ini dilakukan untuk melihat struktur mikro dari plat ASTM A36 dengan proses pemanasan dan proses *quenching*.

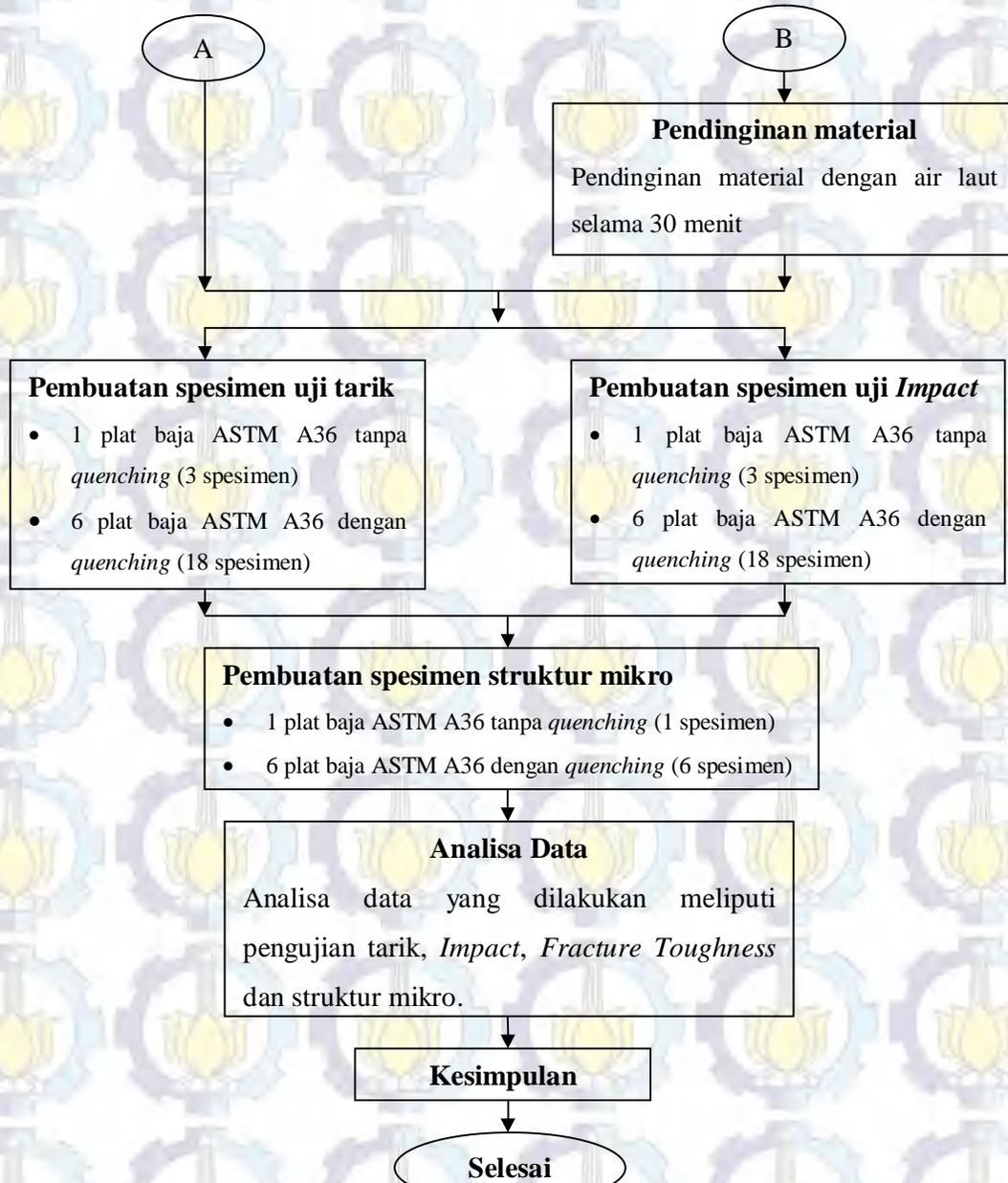
8. Kesimpulan

Tahapan ini dilakukan untuk mengambil kesimpulan hasil dari uji plat ASTM A36 dengan proses pemanasan dan proses *quenching*.

9. Selesai

III.2 Diagram Alir





Gambar III.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

III.3 Bahan penelitian

a. Material

Material yang digunakan didalam penelitian ini, adalah : ASTM A 36 (Gambar III.2). Dengan dimensi material yang akan dilakukan didalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Panjang : 300 mm
- Lebar : 150 mm
- Jumlah : 7 buah

Susunan pengujian material plat ini yang dilakukan didalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel III.1, yaitu :

Tabel III.1 Susunan Pengujian Material

No Plat	Kode	Jenis Perlakuan				
		Variasi Suhu Pemanasan	Lama Pemanasan	Uji Tarik	Uji Impact	Struktur Mikro
1	1 A	-	-	√	√	√
	1 B			√	√	√
	1 C			√	√	√
2	2 A	750° C	120 menit	√	√	√
	2 B			√	√	√
	2 C			√	√	√
3	3 A	750° C	240 menit	√	√	√
	3 B			√	√	√
	3 C			√	√	√
4	4 A	850° C	120 menit	√	√	√
	4 B			√	√	√
	4 C			√	√	√
5	5 A	850° C	240 menit	√	√	√
	5 B			√	√	√
	5 C			√	√	√
6	6 A	950° C	120 menit	√	√	√
	6 B			√	√	√
	6 C			√	√	√
7	7 A	950° C	240 menit	√	√	√
	7 B			√	√	√
	7 C			√	√	√



Gambar III.2 Material ASTM A36 tanpa perlakuan

b. Media Pendingin

Media pendingin untuk proses *quenching* dalam penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi 2. Pembuatan media pendingin dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik D3 Teknik Kimia FTI ITS Surabaya. Media yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu : Larutan pengganti air laut. Pembuatan larutan pengganti air laut dibuat sesuai ASTM D1141, “*Standard Specification for Substitute Ocean Water*”.

Pembuatan bahan untuk larutan air pengganti air laut sesuai dengan ASTM D1141 dengan kondisi salinitas 35 (35%). Untuk menghasilkan 10 liter larutan pengganti air laut pada salinitas 35 %, maka prosedur yang harus dilakukan sebagai berikut:

- a. Larutan 1 bervolume 200 ml terdiri dari:
MgCl₂, CaCl₂ , dan SrCl₂
- b. Larutan 2 bervolume 100 ml terdiri dari:
KCl, NaHCO₃, KBr, H₃BO₄, SrCl₂, NaF

Cara pencampurannya yaitu : 245.3 gram NaCl dan 40.9 gram Na₂SO₄ dilarutkan pada 8 hingga 9 liter air murni (*aquades*). Kemudian larutan 1 dan 2 dimasukkan perlahan dengan vigorous stirring, sehingga dihasilkan 10 liter larutan pengganti air laut dengan salinitas 35 %, dengan komposisi kimia pada Tabel III.2.

Tabel III.2 Komposisi Kimia Larutan Air Laut ^{A,B} (ASTM D1141,2003)

Larutan	Konsentrasi, g/L
NaCl	24.53
CaCl ₂	1.16
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201

KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba (NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₃) ₂	0.0000340
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.00000049

^A Klorinitas = 19.38

^B pH (setelah disesuaikan dengan 0.1 N *sodium hydroxide*)= 8.2

III.4 Proses perlakuan panas dan proses *Quenching*

A. Proses perlakuan panas

Proses perlakuan panas ini dilakukan untuk melihat kondisi plat akibat suhu yang terjadi didalam simulasi kebakaran. Kondisi plat yang akan dilihat adalah plat yang berdekatan dengan pusat kebakaran.

Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Alat-alat yang digunakan didalam proses perlakuan panas ini yaitu :

1. *Oven* pemanas merk *Naber, Germani* dengan kapasitas maksimum 1100°C.
2. Tang penjepit
3. Sarung tangan
4. *Timer*

Adapun hal-hal yang dilakukan didalam proses ini, antara lain :

1. Persiapan material

Sebelum material diuji, material tersebut diberikan tanda atau penomoran. Untuk plat pada suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit diberikan tanda atau penomoran 2A s/d 2C, untuk plat pada suhu 750°C dengan *holding time* 240 menit diberikan tanda atau penomoran 3A s/d 3C, untuk plat pada suhu 850°C dengan

holding time 120 menit diberikan tanda atau penomoran 4A s/d 4C, untuk plat pada suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit diberikan tanda atau penomoran 5A s/d 5C, untuk plat pada suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit diberikan tanda atau penomoran 6A s/d 6C, untuk plat pada suhu 950°C dengan *holding time* 240 menit diberikan tanda atau penomoran 7A s/d 7C

2. Penyusunan plat

Penyusunan plat pada oven dilakukan untuk mempermudah pengambilan plat dari oven ketika selesai dipanaskan.

3. Pengaturan suhu Oven

Pengaturan suhu pada oven ini dilakukan pada suhu 750°C, 850°C, dan 950°C. Dapat dilihat pada Gambar III.3, Gambar III.4 dan Gambar III.5.

4. Perhitungan *holding time*

Perhitungan *holding time* ini dilakukan dengan menggunakan *timer*. Proses *holding time* dilakukan pada saat suhu sudah mencapai 750°C, 850°C, dan 950°C. Perhitungan *holding time* dilakukan dengan menggunakan 2 variasi, yaitu : 120 menit dan 240 menit.



Gambar III.3 Penyetelan suhu oven 750°C



Gambar III.4 Penyetelan suhu oven 850°C



Gambar III.5 Penyetelan suhu oven 950°C

B. Proses *quenching*

Pada proses pengujian ini dilakukan pada saat pemanasan oven telah selesai dilakukan. Setelah proses *holding time* telah mencapai waktu 120 menit dan 240 menit pada proses pemanasan dengan temperatur 750°C, 850°C dan 950°C, plat dikeluarkan dari oven dengan menggunakan penjepit dan dimasukkan kedalam media pendingin. Media pendingin yang dipakai dalam pengujian ini adalah larutan pengganti air laut sesuai standar ASTM D1141 “*Standard Specification for Substitute Ocean Water*”.

Persiapan dan tahapan pengujian *quenching* adalah :

1. Persiapan media pendingin

Persiapan media pendingin yang berupa larutan pengganti air laut dengan memasukkan kedalam panci aluminium. Tong putih/biru berisi larutan pengganti air laut (Gambar III.6).



Gambar III.6 Larutan Air Laut

2. Pengambilan plat dari oven

Proses ini dilakukan dengan penjepit setelah waktu pemanasan selesai (Gambar III.7). Proses ini dilakukan sebanyak 6 kali, yaitu:

- Mengeluarkan plat pada pemanasan 750°C dengan waktu 120 menit
- Mengeluarkan plat pada pemanasan 750°C dengan waktu 240 menit
- Mengeluarkan plat pada pemanasan 850°C dengan waktu 120 menit
- Mengeluarkan plat pada pemanasan 850°C dengan waktu 240 menit
- Mengeluarkan plat pada pemanasan 950°C dengan waktu 120 menit
- Mengeluarkan plat pada pemanasan 950°C dengan waktu 240 menit



Gambar III.7 Proses pengambilan plat

3. Memasukkan plat ke dalam media pendingin

Setelah plat dikeluarkan dari oven dengan menggunakan penjepit, kemudian plat tersebut dimasukkan ke dalam tong berisi media pendingin. dapat dilihat pada Gambar III.8.



Gambar III.8 Proses pendinginan plat ke dalam larutan air laut

4. Menghitung waktu pendinginan

Waktu pendinginan diukur saat plat telah dimasukkan kedalam media pendingin. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *timer*, dengan waktu pengukuran pendinginan adalah 30 menit.

5. Mengeluarkan plat dari media pendingin

Setelah waktu pengukuran selesai, plat dikeluarkan dari dalam media pendingin (Gambar III.9).



Gambar III.9 Plat yang telah di-*quenching*

III.5 Pembuatan spesimen

Pembuatan bahan uji dilakukan di CV.Putra Jaya. Berikut daftar bahan uji yang dipakai dalam penelitian:

- *Tensile Test* sebanyak 21 buah (3 buah/plat), Gambar III.10
- *Impact Test* sebanyak 21 buah (3 buah/plat), Gambar III.11
- Struktur mikro sebanyak 7 buah (1 buah/specimen), Gambar III.12



Gambar III.10 Spesimen uji tarik



Gambar III.11 Spesimen uji *Impact*



Gambar III.12 Spesimen struktur mikro

III.5 Impact test

A. Penentuan ukuran spesimen

Proses pengujian pada plat ini menggunakan metode *Charpy* dan juga untuk dimensi spesimen yang digunakan merupakan sub-size spesimen. Didalam penentuan dimensi spesimen ini menggunakan standar BKI Vol. V, Sec. 2-E.2 2012, dapat dilihat pada Tabel III.3.

Tabel III.3 Penentuan Dimensi Uji *Impact*

Dimensions	V – notch specimen		U – notch specimen	
	Normal size	Tolerance	Normal size	Tolerance
Length of specimen	55 mm	± 0,60 mm	55 mm	± 0,60 mm
Thickness of specimen	10 mm	± 0,06 mm	10 mm	± 0,11 mm
Width of specimen				
– Normal specimen	10 mm	± 0,11 mm	10 mm	± 0,11 mm
– Sub-size specimen	7,5 mm	± 0,11 mm	---	---
– Sub-size specimen	5 mm	± 0,06 mm	---	---
Notch angle	45°	± 2°	---	---
Thickness at base of notch	8 mm	± 0,06 mm	5 mm	± 0,09 mm
Notch radius	0,25 mm	± 0,025 mm	1 mm	± 0,07 mm
Distance of notch centre from ends of specimen ¹⁾	27,5 mm	± 0,42 mm	27,5 mm	± 0,42 mm
Angle between plane of symmetry of notch and longitudinal axis	90°	± 2°	90°	± 2°
Angle between adjacent longitudinal faces	90°	± 2°	90°	± 2°

1) For pendulum impact testing machines which have automatic specimen positioning, a tolerance of ±0,165 is recommended rather than ±0,42.

B. Proses Uji *Impact*

Proses pengujian *Impact* ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Proses pengujian ini dilakukan sebanyak 21 kali. Dimana 3 kali untuk spesimen tanpa perlakuan dan 18 kali untuk spesimen dengan variasi kombinasi perlakuan panas dan variasi kombinasi *holding time*.

Adapun langkah-langkah didalam proses uji *impact* ini adalah sebagai berikut :

1. Proses pengujian dilakukan pada suhu ruangan yaitu 29°C
2. Spesimen yang akan diuji harus diukur kembali dimensinya menggunakan jangka sorong. Ulangi agar lebih teliti dalam pengukurannya.
3. Letakkan spesimen pada landasan, celah dari notch harus berada tepat ditengah-tengah menggunakan centre notch dengan arah menghadap ke dalam (Gambar III.13).
4. Bandul (beban) dinaikkan setinggi h atau sebesar sudut α (disini diambil sekitar 156 derajat).
5. Atur posisi jarum penunjuk pada posisi nol
6. Bandul dilepas hingga memukul spesimen
7. Setelah memukul spesimen, bandul masih akan terayun setinggi h atau sebesar sudut β , amati dan catat dalam Tabel pengamatan.
8. Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dapat dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat dalam Tabel hasil pengamatan, atau dihitung secara teoretis dengan rumus yang telah diberikan.

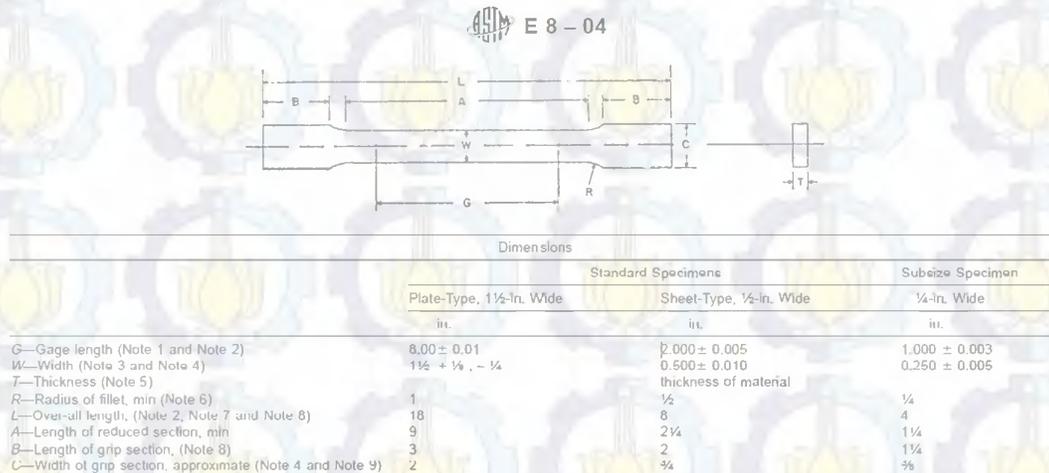


Gambar III.13 Posisi spesimen pada landasan

III.6 Tensile Test

A. Penentuan ukuran spesimen

Didalam proses pengujian tarik (*tensile test*) ini berbentuk *flat tensile spesimen*. Untuk penentuan ukuran spesimen uji tarik (*tensile test*) menggunakan standar ASTM E 8 - 04, dapat dilihat pada Gambar III.14.



Gambar III.14 Dimensi Pengukuran pengujian tarik

[ASTM E8, 2004]

B. Proses uji tarik

Proses uji tarik ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Proses pengujian ini dilakukan sebanyak 21 kali. Dimana 3 kali untuk spesimen tanpa perlakuan dan 18 kali untuk spesimen dengan variasi kombinasi perlakuan panas dan variasi kombinasi *holding time*. Adapun langkah-langkah didalam proses uji tarik ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan spesimen yang menggunakan standar ASTM E 8 - 04.
2. Pembersihan permukaan spesimen dengan menggunakan gerinda.
3. Melakukan pengukuran luas penampang tengah dan juga *gage length*.
4. Spesimen uji dipasang pada mesin tarik, dijepit dengan pencekam (*grip*) dari mesin tarik pada ujung-ujungnya dan ditarik ke arah memanjang secara perlahan sampai putus.
5. Selama penarikan setiap saat tercatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja sebagai akibat dari gaya tarik tersebut.
6. Setelah proses pengujian tarik dilakukan pengukuran akhir pada spesimen

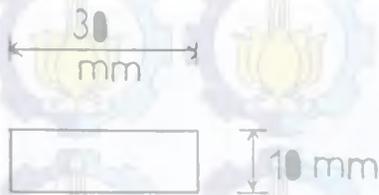
III.7 Analisa Struktur Mikro

A. Penentuan ukuran struktur mikro

Dimensi ukuran struktur mikro, (Gambar III.15) yang dibuat adalah :

Panjang : 30 mm

Lebar : 10 mm



Gambar III.15 Dimensi Spesimen struktur mikro

B. Proses Analisa Struktur Mikro

Proses analisa struktur mikro dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Proses pengujian ini dilakukan sebanyak 7 kali. Dimana 1 kali untuk spesimen tanpa perlakuan dan 6 kali untuk spesimen dengan variasi kombinasi perlakuan panas dan variasi kombinasi *holding time*. Adapun langkah-langkah didalam proses uji tarik ini adalah sebagai berikut :

1. *Grinding*, yaitu proses penghalusan spesimen dengan mesin *grinder*. Kemudian spesimen yang telah digerinda digosok menggunakan kertas gosok.
2. *Polishing*, yaitu proses pemolesan spesimen. Pemolesan spesimen ini dilakukan dengan menekan spesimen pada permukaan piringan yang berputar dengan cepat. Piringan tersebut dilapisi dengan penggosok yang telah ditaburi alumina. Dapat dilihat pada Gambar III.16.



Gambar III.16 Proses pemolesan untuk spesimen mikro

3. Bagian permukaan spesimen yang telah dipolish, kemudian dicelupkan pada larutan nital. Tujuan pencelupan permukaan spesimen adalah agar kontur struktur mikro terbentuk pada saat diteliti menggunakan mikroskop optik.
4. Spesimen diteliti menggunakan mikroskop optik dengan memfoto potongan specimen (Gambar III.17), untuk mengetahui bentuk struktur mikro pada spesimen.



Gambar III.17 Pengambilan foto optik dengan mikroskop optik

III.8 Pengukuran Besar Butir

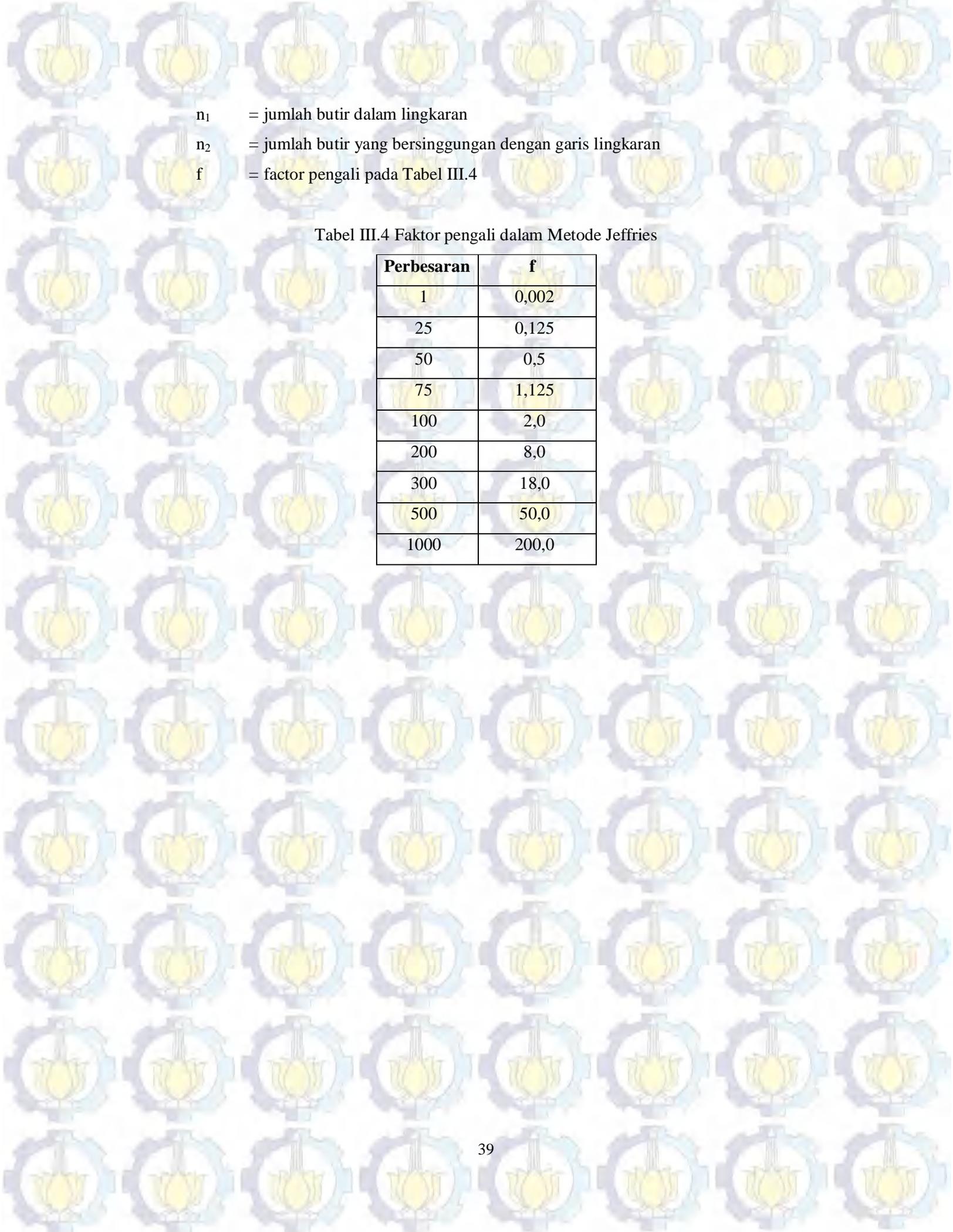
Pengujian dan pengukuran besar butir dilakukan dengan menggunakan *Standart Test Methods for Detirmining Average Grain Size* (ASTM E112-96). Terdapat berbagai metode yang digunakan didalam ASTM E112, namun didalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menghitung besar butir, yaitu : Metode Planimetri (Jeffries' Method).

Metode ini menggunakan lingkaran yang umumnya memiliki luas 5000 mm². Perbesaran dipilih sedemikian sehingga ada sedikitnya 50 butir yang berada di dalam lingkaran. Kemudian hitung jumlah total semua butir dalam lingkaran di tambah setengah dari jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran. Besar butir dihitung dengan mengalikan jumlah butir dengan pengali Jefferies (f) pada Tabel III.4.

$$\text{Rumus Empiris : } G = [3,322 \text{ Log } (N_a) - 2,95] \text{ dan } N_a = f(n_1+n_2/2) \dots\dots\dots (III.1)$$

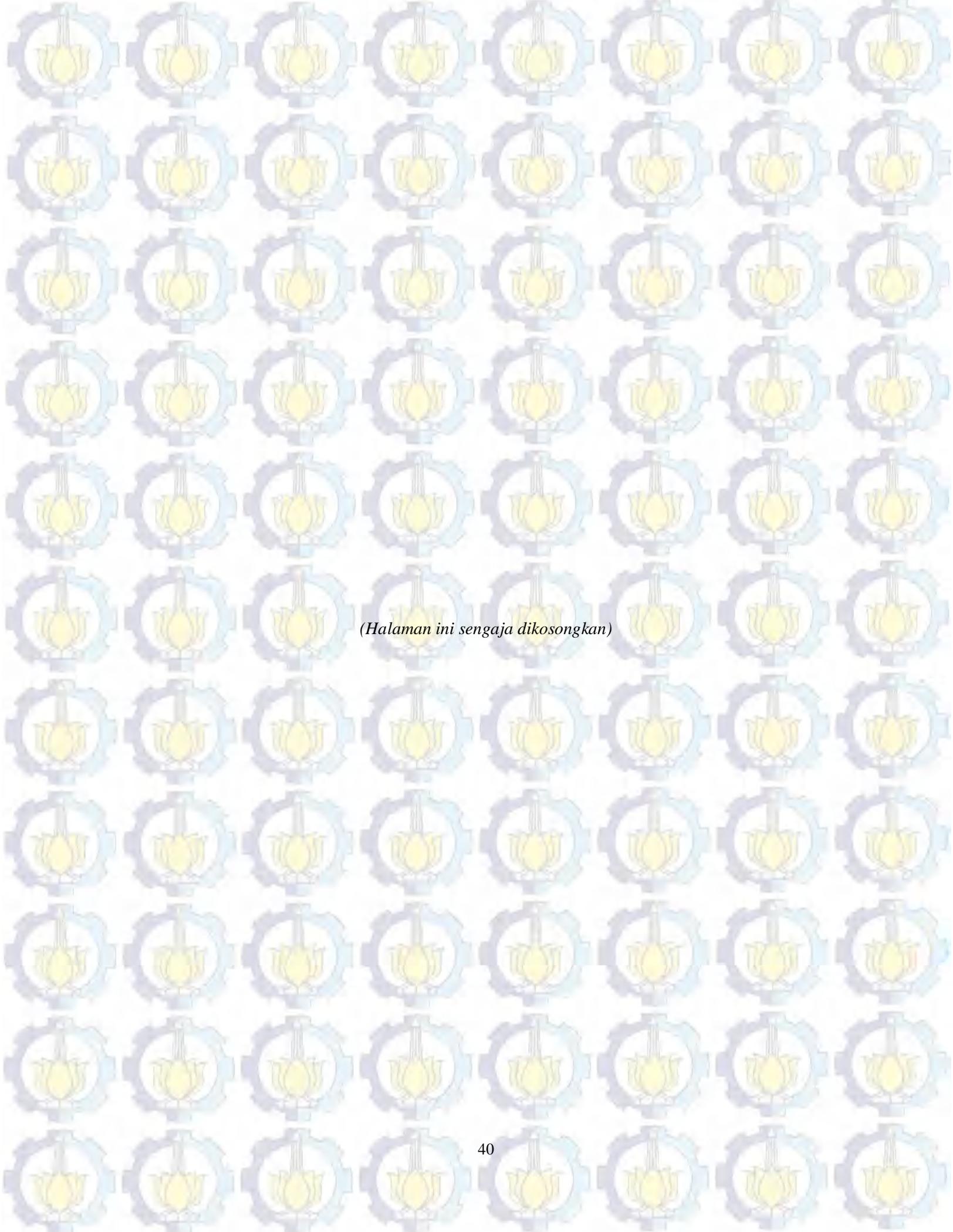
Dengan:

- G = besar butir dirujuk ke Tabel ASTM E-112 untuk mencari nilai diameter butir
- N_a = jumlah butir

- 
- n_1 = jumlah butir dalam lingkaran
 - n_2 = jumlah butir yang bersinggungan dengan garis lingkaran
 - f = factor pengali pada Tabel III.4

Tabel III.4 Faktor pengali dalam Metode Jeffries

Perbesaran	f
1	0,002
25	0,125
50	0,5
75	1,125
100	2,0
200	8,0
300	18,0
500	50,0
1000	200,0



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Analisa Pengujian Tarik

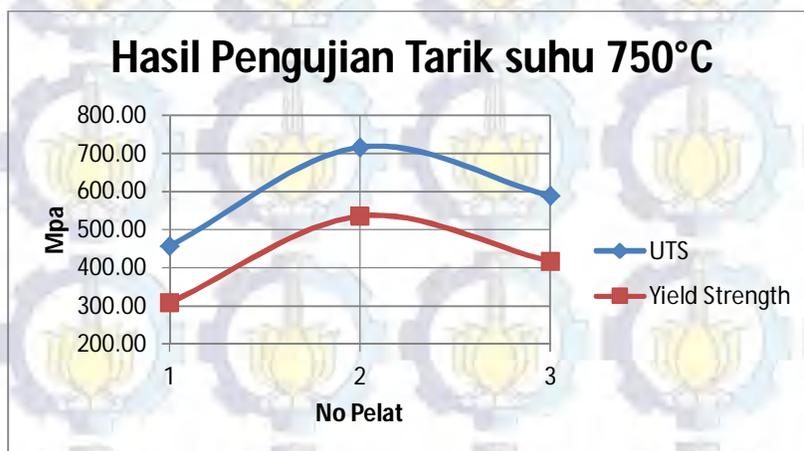
Pengujian tarik ini dilakukan pada material ASTM A 36 dengan menggunakan standar ASTM E8-04. Dari pengujian tarik yang dilakukan didalam penelitian ini, maka diperoleh data-data sebagai berikut :

IV.1.1 Hasil pengujian tarik akibat pengaruh *holding time*

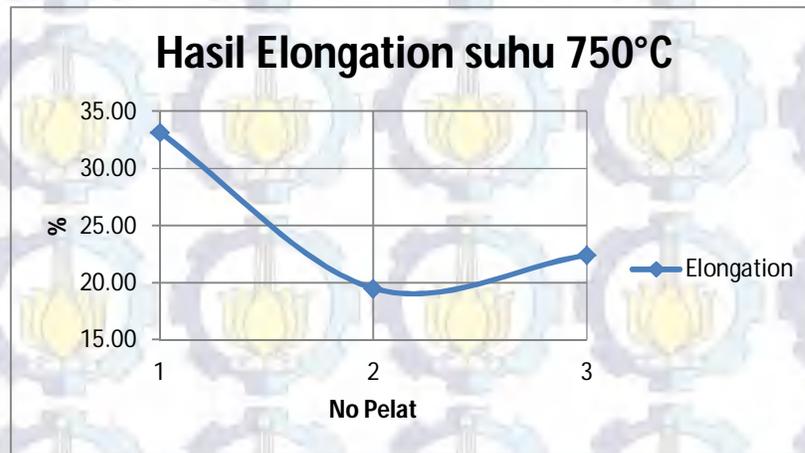
1. Pengaruh *holding time* pada suhu 750°C

Tabel IV.1 Data Pengujian Tarik akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 750°C

No Plat	Perlakuan	σ_u (Mpa)	Faktor Perubah σ_u	σ_y (Mpa)	Faktor Perubah σ_y	ϵ (%)	Faktor Perubah ϵ
1	tanpa perlakuan	457.35	1.000	308.59	1.000	33.18	1.000
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	716.69	1.567	535.71	1.736	19.51	0.588
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	588.44	1.287	416.79	1.351	22.42	0.676



Gambar IV.1 Grafik Pengujian Tarik akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 750°C



Gambar IV.2 Grafik *Elongation* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 750°C

Pada suhu 750°C didapatkan data hasil pengujian tarik (Tabel IV.1) dan juga dari grafik hasil pengujian tarik (Gambar IV.1 dan Gambar IV.2), bahwa nilai *yield strength* dan *tensile strength* terbesar didapat pada plat nomor 2 (perlakuan suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 535.71 Mpa (*yield strength*) dan 716.16 Mpa (*tensile strength*). Sedangkan nilai *yield strength* dan *tensile strength* terendah didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 308.99 N/mm² (*yield strength*) dan 457.96 Mpa (*tensile strength*). Untuk nilai regangan yang terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 33.18% sedangkan nilai regangan yang terkecil didapat pada plat nomor 3 (perlakuan suhu 750°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 19.51%.

Jika dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 2 dan plat nomor 3, terjadi kenaikan tegangan dari plat nomor 1 ke plat nomor 2. Kenaikan tegangan itu kembali turun dari plat nomor 2 ke plat nomor 3. Jadi, kekuatan pada material untuk perubahan *holding time* antara 120 menit dengan 240 menit mengalami penurunan. Tetapi untuk nilai regangan yang diperoleh mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada suhu 750°C disertai proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut menghasilkan butiran ferit dan perlit. Dengan diameter butiran yang semakin membesar menyebabkan kekuatan semakin turun.

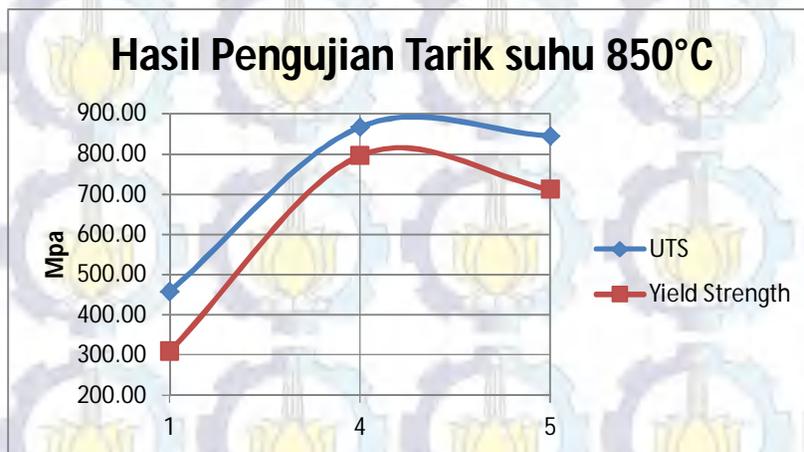
Pada penelitian Smith, et al., (1981) mengenai proses perlakuan panas menggunakan metode kebakaran dengan waktu penahan 1 jam dan 4 jam pada baja ASTM A572 Grade 50 di suhu 750°C. Untuk baja ASTM A572 Grade 50 terjadi penurunan nilai tegangan puncak dan nilai tegangan luluh sedangkan untuk nilai regangan mengalami kenaikan. Sehingga semakin besar waktu penahan yang diberikan pada baja ASTM A572 Grade 50, menghasilkan keuletan yang besar.

Jika dibandingkan dengan penelitian tugas akhir ini, nilai tegangan menjadi semakin naik. Perbedaan ini disebabkan oleh perlakuan panas yang berbeda dan jenis baja yang digunakan berbeda.

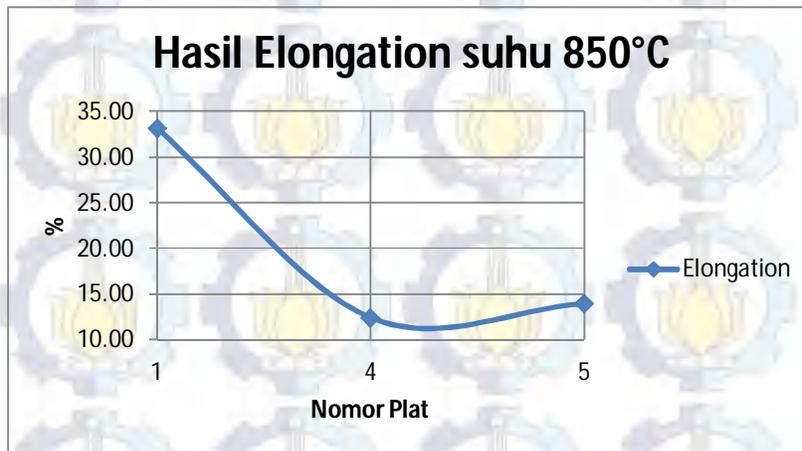
2. Pengaruh *holding time* pada suhu 850°C

Tabel IV.2 Data Pengujian Tarik akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 850°C

No Plat	Perlakuan	σ_u (Mpa)	Faktor Perubah σ_u	σ_y (Mpa)	Faktor Perubah σ_y	ϵ (%)	Faktor Perubah ϵ
1	tanpa perlakuan	457.35	1	308.59	1	33.18	1
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	867.08	1.896	795.52	2.578	12.42	0.375
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	844.96	1.848	711.68	2.306	13.95	0.421



Gambar IV.3 Grafik Pengujian Tarik akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 850°C



Gambar IV.4 Grafik *Elongation* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 850°C

Pada suhu 850°C didapatkan data hasil pengujian tarik (Tabel IV.2) dan juga dari grafik hasil pengujian tarik (Gambar IV.3 dan Gambar IV.4), bahwa nilai *yield strength* dan *tensile strength* terbesar didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 795.52 Mpa (*yield strength*) dan 867.08 Mpa (*tensile strength*). Sedangkan nilai *yield strength* dan *tensile strength* terendah didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 308.99 N/mm² (*yield strength*) dan 457.96 Mpa (*tensile strength*). Untuk nilai regangan yang terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 33.18% sedangkan nilai regangan yang terkecil didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 12.42%.

Jika dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 4 dan plat nomor 5, terjadi kenaikan tegangan dari plat nomor 1 ke plat nomor 4. Kenaikan tegangan itu kembali turun dari plat nomor 4 ke plat nomor 5. Jadi, kekuatan pada material untuk perubahan *holding time* antara 120 menit dengan 240 menit mengalami penurunan. Tetapi untuk nilai regangan yang diperoleh mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada suhu 850°C disertai proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut menghasilkan butiran ferit dan perlit. Dengan diameter butiran yang semakin membesar menyebabkan kekuatan semakin turun.

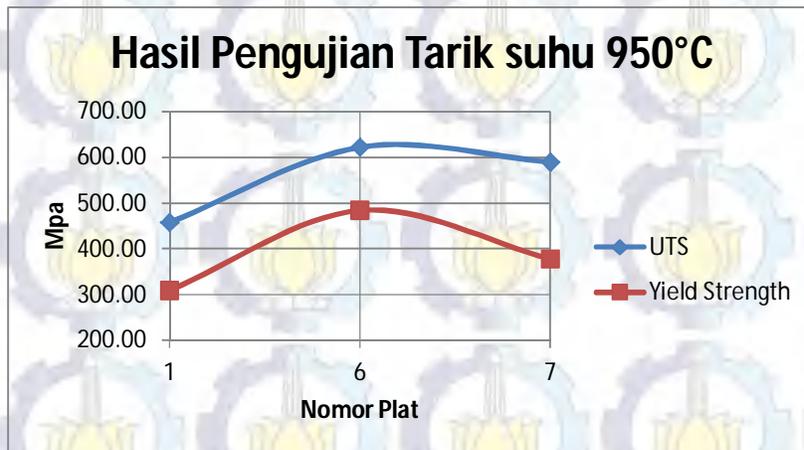
Pada penelitian Smith, et al., (1981) mengenai proses perlakuan panas menggunakan metode kebakaran dengan waktu penahan 1 jam dan 4 jam pada baja ASTM A572 Grade 50 di suhu 800°C. Untuk baja ASTM A572 Grade 50 terjadi penurunan nilai tegangan puncak dan nilai tegangan luluh sedangkan untuk nilai regangan mengalami kenaikan. Sehingga semakin lama waktu penahan yang diberikan pada baja ASTM A572 Grade 50, menghasilkan keuletan yang besar.

Jika dibandingkan dengan penelitian tugas akhir ini, nilai tegangan menjadi semakin turun. Perbedaan ini disebabkan oleh perlakuan panas yang berbeda dan jenis baja yang digunakan berbeda.

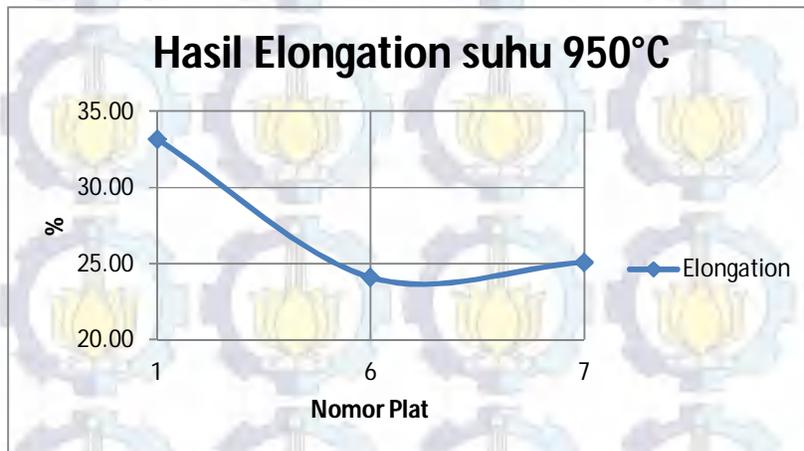
3. Pengaruh *holding time* pada suhu 950°C

Tabel IV.3 Data Pengujian Tarik akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 950°C

No Plat	Perlakuan	σ_u (Mpa)	Faktor Perubah σ_u	σ_y (Mpa)	Faktor Perubah σ_y	ϵ (%)	Faktor Perubah ϵ
1	tanpa perlakuan	457.35	1.000	308.59	1.000	33.18	1.000
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	622.22	1.360	484.01	1.568	24.10	0.727
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	590.16	1.290	377.94	1.225	25.11	0.757



Gambar IV.5 Grafik Pengujian Tarik akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 950°C



Gambar IV.6 Grafik *Elongation* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 950°C

Pada suhu 950°C didapatkan data hasil pengujian tarik (Tabel IV.3) dan juga dari grafik hasil pengujian tarik (Gambar IV.5 dan Gambar IV.6), bahwa nilai *yield strength* dan *tensile strength* terbesar didapat pada plat nomor 6 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 484.01 Mpa (*yield strength*) dan 622.22 Mpa (*tensile strength*). Sedangkan nilai *yield strength* dan *tensile strength* terendah didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 308.99 N/mm² (*yield strength*) dan 457.96 Mpa (*tensile strength*). Untuk nilai regangan yang terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 33.18% sedangkan nilai regangan yang terkecil didapat pada plat nomor 6 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 24.10%.

Jika dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 6 dan plat nomor 7, terjadi kenaikan tegangan dari plat nomor 1 ke plat nomor 6. Kenaikan tegangan itu kembali turun dari plat nomor 6 ke plat nomor 7. Jadi, kekuatan pada material untuk perubahan *holding time* antara 120 menit dengan 240 menit mengalami penurunan. Tetapi untuk nilai regangan yang diperoleh mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada suhu 950°C disertai proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut menghasilkan butiran ferit dan perlit. Dengan diameter butiran yang semakin membesar menyebabkan kekuatan semakin turun.

Pada penelitian Smith, et al., (1981) mengenai proses perlakuan panas menggunakan metode kebakaran dengan waktu penahan 1 jam dan 4 jam pada baja ASTM A572 Grade 50 di suhu 1000°C. Untuk baja ASTM A572 Grade 50 terjadi kenaikan nilai tegangan puncak dan nilai tegangan luluh sedangkan untuk nilai regangan relatif sama atau tanpa penurunan regangan. Sehingga semakin besar waktu penahan yang diberikan pada baja ASTM A572 Grade 50, menghasilkan kekuatan yang besar.

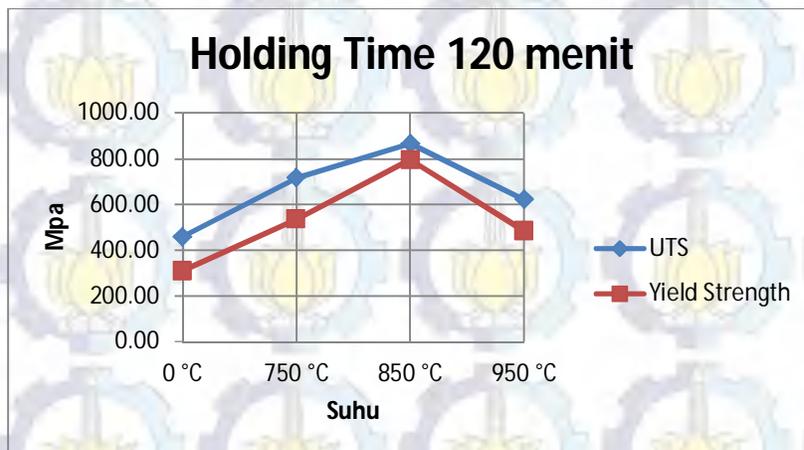
Jika dibandingkan dengan penelitian tugas akhir ini, nilai tegangan menjadi semakin turun. Perbedaan ini disebabkan oleh perlakuan panas yang berbeda dan jenis baja yang digunakan berbeda.

IV.1.2 Hasil Pengujian Tarik akibat Pengaruh Suhu

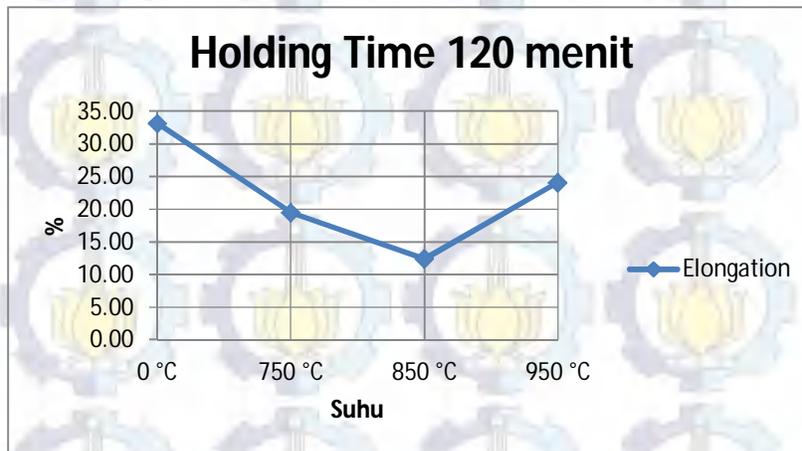
1. Pengaruh suhu dengan *holding time* material selama 120 menit

Tabel IV.4 Data Pengujian Tarik akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 120 menit

No Plat	Perlakuan	σ_u (Mpa)	Faktor Perubah σ_u	σ_y (Mpa)	Faktor Perubah σ_y	ϵ (%)	Faktor Perubah ϵ
1	tanpa perlakuan	457.35	1.000	308.59	1.000	33.18	1.000
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	716.69	1.567	535.71	1.736	19.51	0.588
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	867.08	1.896	795.52	2.578	12.42	0.375
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	622.22	1.360	484.01	1.568	24.10	0.727



Gambar IV.7 Grafik Pengujian Tarik akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 120 menit



Gambar IV.8 Grafik *Elongation* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 120 menit

Pada *holding time* 120 menit didapatkan data hasil pengujian tarik (Tabel IV.4) dan juga dari grafik hasil pengujian tarik (Gambar IV.7 dan Gambar IV.8), bahwa nilai *yield strength* dan *tensile strength* terbesar didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 795.52 Mpa (*yield strength*) dan 867.08 Mpa (*tensile strength*). Sedangkan nilai *yield strength* dan *tensile strength* terendah didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 308.99 N/mm² (*yield strength*) dan 457.96 Mpa (*tensile strength*). Untuk nilai regangan yang terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 33.18% sedangkan nilai regangan yang terkecil didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 12.42%.

Jika membandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 2, kekuatan material mengalami kenaikan dan kekuatan paling besar terdapat pada plat nomor 4 tetapi terjadi penurunan kekuatan pada plat nomor 6. Sedangkan untuk nilai regangan yang diperoleh mengalami penurunan dan mengalami kenaikan pada plat nomor 6. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut menghasilkan baja menjadi keras sehingga nilai tegangannya menjadi tinggi sedangkan nilai regangannya menjadi turun. Pada plat 4 yang kekuatannya tertinggi, memiliki keuletan yang rendah sehingga bersifat getas.

Pada penelitian Baihaqi, I (2014) mengenai proses perlakuan panas disertai pendinginan cepat menggunakan air laut pada baja ASTM A36. Perubahan nilai tegangan dan regangan terjadi cukup signifikan pada suhu 650°C s/d 1000°C. Dimana nilai tegangan naik seiring bertambahnya suhu sedangkan nilai regangan semakin berkurang. Untuk nilai tegangan pada suhu 650°C s/d 1000°C diatas dari nilai tegangan baja tanpa perlakuan.

Pada penelitian Smith, et al., (1981) mengenai proses perlakuan panas menggunakan metode kebakaran dengan waktu penahan 1 jam pada baja ASTM A572 Grade 50 di suhu 750°C

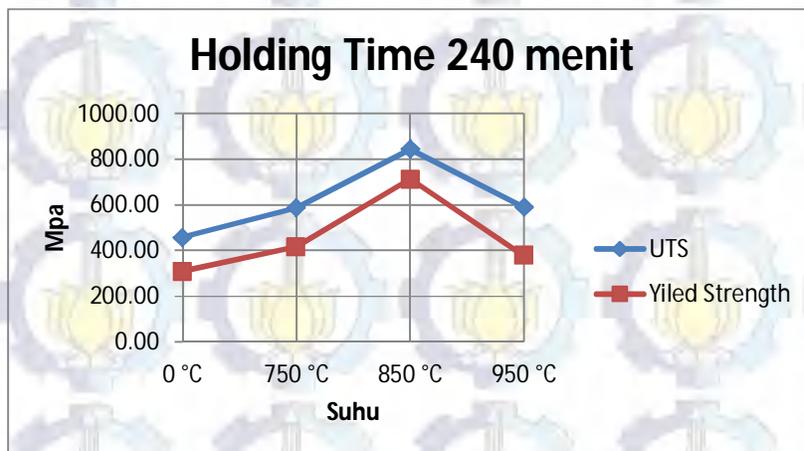
s/d 1000°C. Untuk baja ASTM A572 Grade 50 terjadi penurunan nilai tegangan pada suhu 800°C, nilai tegangan mengalami kenaikan pada suhu 900°C dan 1000°C.

Jika dibandingkan penelitian Smith, et al; dengan penelitian tugas akhir ini, nilai tegangan naik pada suhu 850°C tetapi mengalami penurunan di suhu 950°C. Tetapi jika dibandingkan dengan penelitian Baihaqi, adanya kesamaan penelitian tugas akhir ini dengan penelitian Baihaqi, yaitu : terjadi kenaikan tegangan pada suhu diatas 750°C dibandingkan dengan baja tanpa perlakuan.

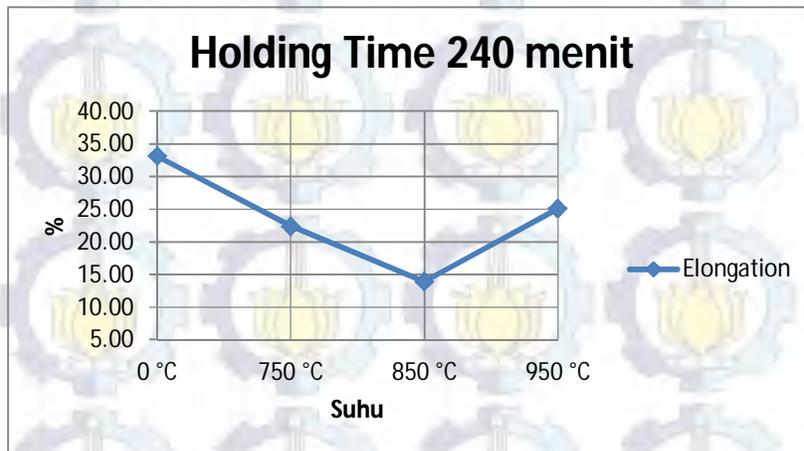
2. Pengaruh suhu dengan *holding time* material selama 240 menit

Tabel IV.5 Data Pengujian Tarik akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 240 menit

No Plat	Perlakuan	σ_u (Mpa)	Faktor Perubah σ_u	σ_y (Mpa)	Faktor Perubah σ_y	ϵ (%)	Faktor Perubah ϵ
1	tanpa perlakuan	457.35	1.000	308.59	1.000	33.18	1.000
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	588.44	1.287	416.79	1.351	22.42	0.676
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	844.96	1.848	711.68	2.306	13.95	0.421
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	590.16	1.290	377.94	1.225	25.11	0.757



Gambar IV.9 Grafik Pengujian Tarik akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 240 menit



Gambar IV.10 Grafik *Elongation* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 240 menit

Pada holding time 240 menit didapatkan data hasil pengujian tarik (Tabel IV.5) dan juga dari grafik hasil pengujian tarik (Gambar IV.9 dan Gambar IV.10), bahwa nilai *yield strength* dan *tensile strength* terbesar didapat pada plat nomor 5 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 711.68 Mpa (*yield strength*) dan 844.96 Mpa (*tensile strength*). Sedangkan nilai *yield strength* dan *tensile strength* terendah didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 308.99 N/mm² (*yield strength*) dan 457.96 Mpa (*tensile strength*). Untuk nilai regangan yang terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 33.18% sedangkan nilai regangan yang terkecil didapat pada plat nomor 5 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 13.95%.

Jika membandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 3, kekuatan material mengalami kenaikan dan kekuatan paling besar terdapat pada plat nomor 5 tetapi terjadi penurunan kekuatan pada plat nomor 7. Sedangkan untuk nilai regangan yang diperoleh mengalami kenaikan pada plat nomor 7. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut menghasilkan baja menjadi keras sehingga nilai tegangannya menjadi tinggi sedangkan nilai regangannya menjadi turun. Pada plat 5 yang kekuatannya tertinggi, memiliki keuletan yang rendah sehingga bersifat getas.

Pada penelitian Baihaqi, I (2014) mengenai proses perlakuan panas disertai pendinginan cepat menggunakan air laut pada baja ASTM A36. Perubahan nilai tegangan dan regangan terjadi cukup signifikan pada suhu 650°C s/d 1000°C. Dimana nilai tegangan naik seiring bertambahnya suhu sedangkan nilai regangan semakin berkurang. Untuk nilai tegangan pada suhu 650°C s/d 1000°C diatas dari nilai tegangan baja tanpa perlakuan.

Pada penelitian Smith, et al., (1981) mengenai proses perlakuan panas menggunakan metode kebakaran dengan waktu penahan 4 jam pada baja ASTM A572 Grade 50 di suhu 750°C s/d 1000°C. Untuk baja ASTM A572 Grade 50 terjadi penurunan nilai tegangan pada suhu 800°C, nilai tegangan mengalami kenaikan pada suhu 900°C dan 1000°C.

Jika dibandingkan penelitian Smith, et al; dengan penelitian tugas akhir ini, nilai tegangan naik pada suhu 850°C tetapi mengalami penurunan di suhu 950°C. Tetapi jika dibandingkan dengan penelitian Baihaqi, adanya kesamaan penelitian tugas akhir ini dengan penelitian Baihaqi, yaitu : terjadi kenaikan tegangan pada suhu diatas 750°C dibandingkan dengan baja tanpa perlakuan.

IV.2 Analisa pengujian *Impact*

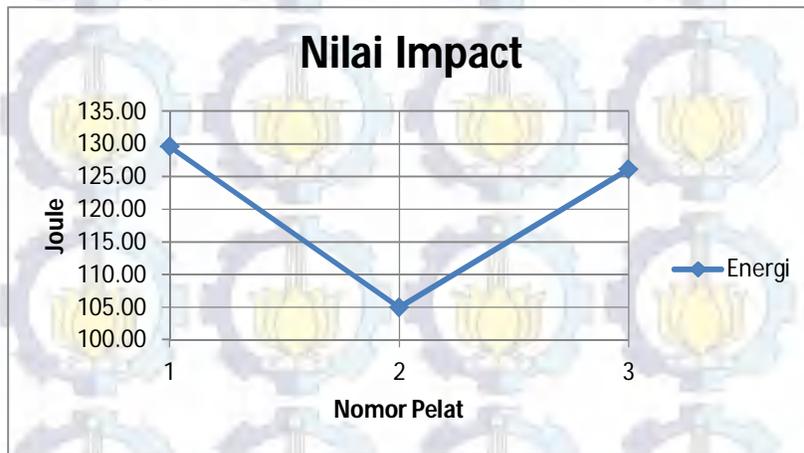
Pengujian *Impact* ini dilakukan pada material ASTM A 36 dengan menggunakan standar BKI Vol. V, Sec. 2-E.2 2012. Dari pengujian *impact* yang dilakukan didalam penelitian ini, maka diperoleh data-data sebagai berikut :

IV.2.1 Data hasil pengujian *impact* akibat pengaruh *holding time*

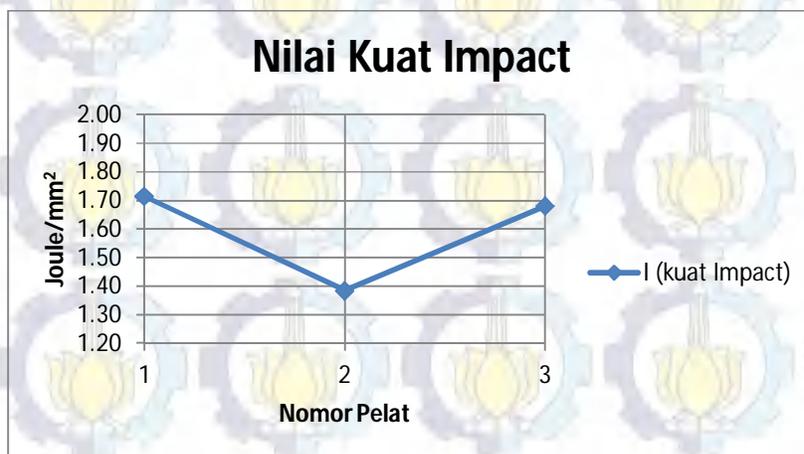
1. Pengaruh *Holding time* pada suhu 750°C

Tabel IV.6 Data Pengujian *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* Pada Suhu 750°C

No Pelat	Perlakuan	Kode Pelat	Energi (Joule)	Faktor Perubah Energi	I (Joule/mm ²)	Faktor Perubah I
1	tanpa perlakuan	1A	129.67	1.00	1.71	1.00
		1B				
		1C				
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	2A	105.00	0.810	1.38	0.807
		2B				
		2C				
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	3A	126.17	0.973	1.68	0.980
		3B				
		3C				



Gambar IV.11 Grafik Pengujian Energi *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 750°C



Gambar IV.12 Grafik Pengujian Kuat *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 750°C

Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.6) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.11), dapat dianalisa bahwa nilai *energy* terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 129.67 joule sedangkan nilai *energy* terendah didapat pada plat nomor 2 (perlakuan suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 105.00 joule.

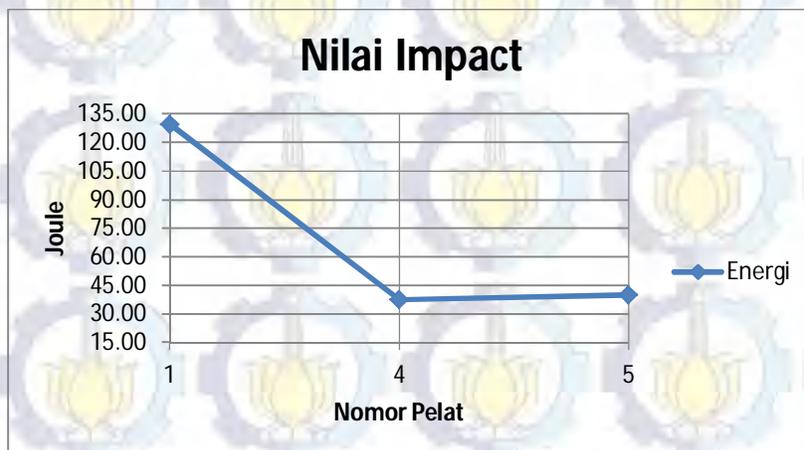
Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.6) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang terbesar diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.12), dapat dianalisa bahwa nilai I (kuat *impact*) terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 1.71 joule/mm² sedangkan nilai I (kuat *impact*) terendah didapat pada plat nomor 2 (perlakuan suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 1.38 Joule/mm².

Jika membandingkan hasil pengujian *impact* pada plat nomor 1 dengan plat nomor 2 dan plat nomor 3, pada plat nomor 1 energi *absorb* yang besar dibandingkan dengan plat nomor 2 tetapi pada plat nomor 3 mengalami kenaikan energi *absorb* dari pada plat nomor 2. Hal ini disebabkan karena pengaruh pemanasan dan waktu penahan serta proses pendinginan cepat pada plat nomor 2 dan plat nomor 3, menyebabkan bertambahnya keuletannya, sehingga plat nomor 2 memiliki ketangguhan yang kecil dari pada plat nomor 3. Pengaruh berkurangnya ketangguhan ini juga disebabkan adanya ferit widmansten yang menurunkan keuletan/ketangguhan. Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1.

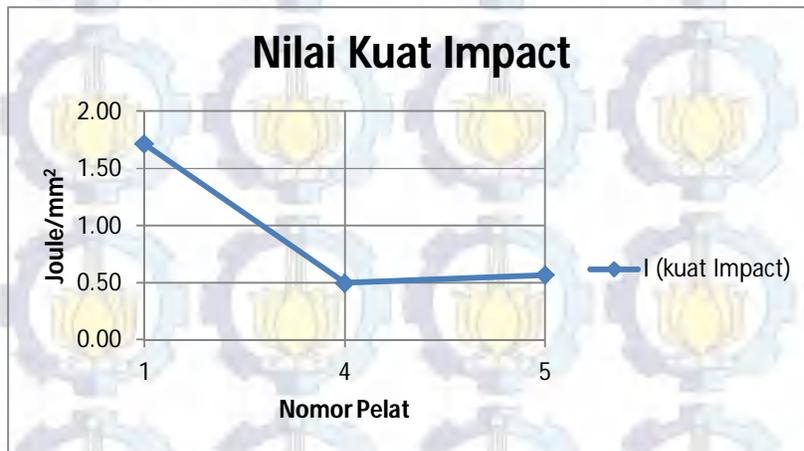
2. Pengaruh *holding time* pada Suhu 850°C

Tabel IV.7 Data Pengujian *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* Pada Suhu 850°C

No Pelat	Perlakuan	Kode Pelat	Energi (Joule)	Faktor Perubah Energi	I (Joule/mm ²)	Faktor Perubah I
1	tanpa perlakuan	1A	129.67	1.00	1.71	1.00
		1B				
		1C				
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	4A	37.50	0.289	0.50	0.290
		4B				
		4C				
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	5A	40.00	0.308	0.57	0.331
		5B				
		5C				



Gambar IV.13 Grafik Pengujian Energi *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 850°C



Gambar IV.14 Grafik Pengujian Kuat *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 850°C

Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.7) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.13), dapat dianalisa bahwa nilai *energy* terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 129.67 joule sedangkan nilai *energy* terendah didapat pada plat nomor 2 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 37.5 joule.

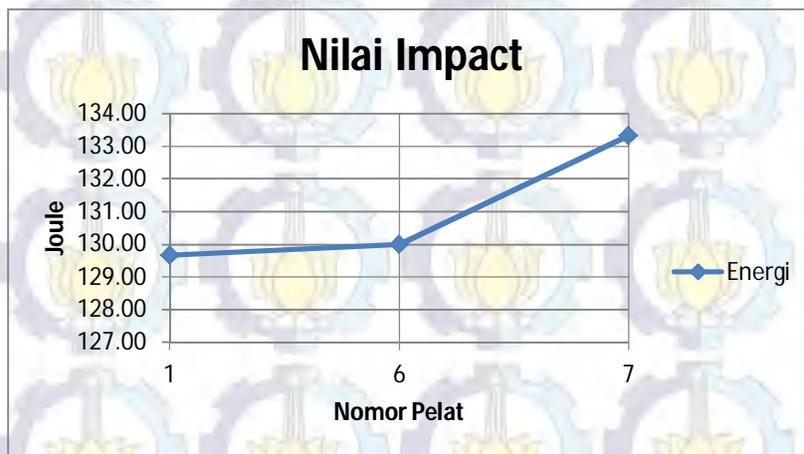
Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.7) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang terbesar diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.14), dapat dianalisa bahwa nilai I (kuat *impact*) terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 1.71 joule/mm² sedangkan nilai I (kuat *impact*) terendah didapat pada plat nomor 2 (perlakuan suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 0.5 Joule/mm².

Jika membandingkan hasil pengujian *impact* pada plat nomor 1 dengan plat nomor 5 dan plat nomor 4, pada plat nomor 1 energi *absorb* lebih besar dibandingkan dengan plat nomor 4 tetapi pada plat nomor 4 mengalami perubahan energi *absorb* yang besar dari pada plat nomor 5, walaupun selisihnya kecil. Hal ini disebabkan karena pengaruh pemanasan dan waktu penahan serta proses pendinginan cepat pada plat nomor 4 dan plat nomor 5 menyebabkan berkurangnya keuletannya sehingga plat nomor 4 memiliki ketangguhan yang kecil dari pada plat nomor 5. Pengaruh berkurangnya ketangguhan ini juga disebabkan adanya ferit widmansten yang menurunkan keuletan/ketangguhan. Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1.

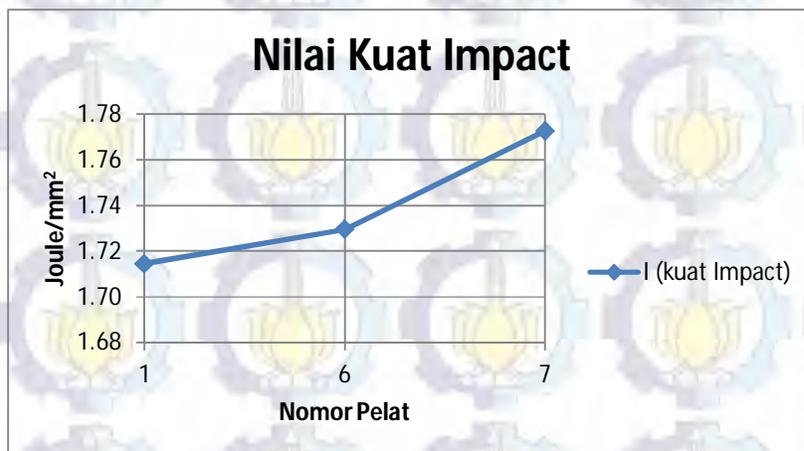
3. Pengaruh *holding time* pada suhu 950°C

Tabel IV.8 Data Pengujian *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* Pada Suhu 950°C

No Pelat	Perlakuan	Kode Pelat	Energi (Joule)	Faktor Perubah Energi	I (Joule/mm ²)	Faktor Perubah I
1	tanpa perlakuan	1A	129.67	1.00	1.71	1.00
		1B				
		1C				
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	6A	130.00	1.003	1.73	1.009
		6B				
		6C				
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	7A	133.33	1.028	1.77	1.034
		7B				
		7C				



Gambar IV.15 Grafik Pengujian Energi *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 950°C



Gambar IV.16 Grafik Pengujian Kuat *Impact* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 950°C

Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.8) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.15), dapat dianalisa bahwa nilai *energy* terbesar didapat pada plat 7 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 133.33 joule sedangkan nilai *energy* terendah didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 129.67 joule.

Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.8) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang terbesar diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.16), dapat dianalisa bahwa nilai I (kuat *impact*) terbesar didapat pada plat nomor 6 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit, yaitu sebesar 1.77 joule/mm² sedangkan nilai I (kuat *impact*) terendah didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 1.71 Joule/mm².

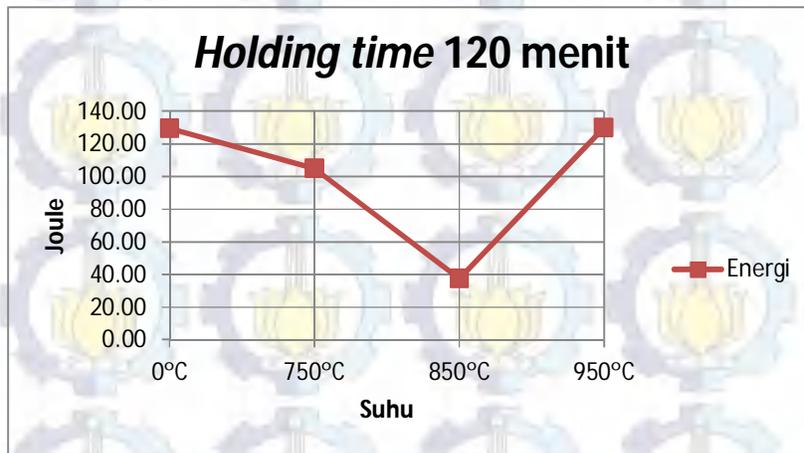
Jika membandingkan hasil pengujian *impact* pada plat nomor 1 dengan plat nomor 6 dan plat nomor 7, pada plat nomor 1 energi *absorb* yang besar dibandingkan dengan plat nomor 2 tetapi pada plat nomor 3 mengalami kenaikan energi *absorb* dari pada plat nomor 2. Hal ini disebabkan karena pengaruh pemanasan dan waktu penahan serta proses pendinginan cepat pada plat nomor 6 dan plat nomor 7, menyebabkan bertambahnya keuletan, sehingga plat nomor 6 memiliki ketangguhan yang kecil dari pada plat nomor 7. Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1.

IV.2.2 Data hasil pengujian *Impact* akibat pengaruh suhu

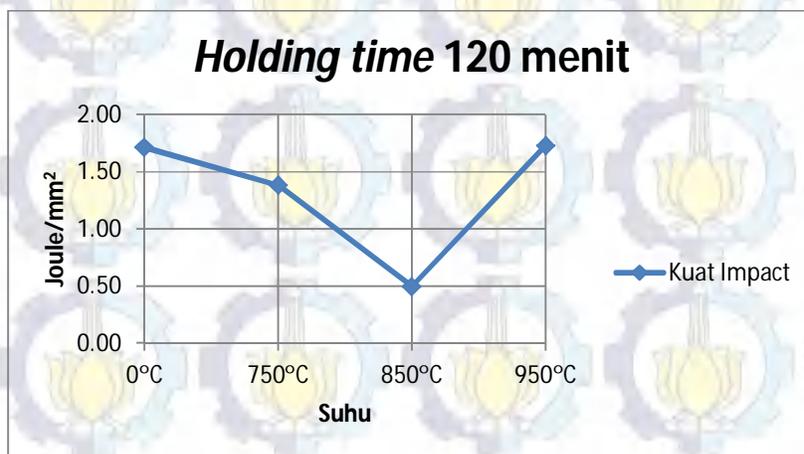
1. Pengaruh suhu dengan *holding time* selama 120 menit

Tabel IV.9 Data Pengujian *Impact* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 120 menit

No Pelat	Perlakuan	Kode Pelat	Energi (Joule)	Faktor Perubah Energi	I (Joule/mm ²)	Faktor Perubah I
1	tanpa perlakuan	1A	129.67	1.00	1.71	1.00
		1B				
		1C				
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	2A	105.00	0.810	1.38	0.807
		2B				
		2C				
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	4A	37.50	0.289	0.50	0.290
		4B				
		4C				
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	6A	130.00	1.003	1.73	1.009
		6B				
		6C				



Gambar IV.17 Grafik Energi *Impact* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 120 menit



Gambar IV.18 Grafik Kuat *Impact* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 120 menit

Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.9) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.17), dapat dianalisa bahwa nilai *energy* terbesar didapat pada 6 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 130 joule sedangkan nilai *energy* terendah didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 37.5 joule.

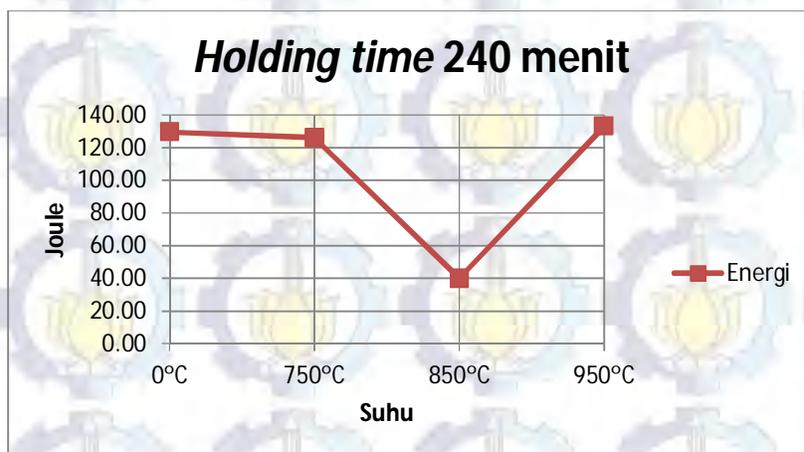
Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.10) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang terbesar diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.18), dapat dianalisa bahwa nilai I (kuat *impact*) terbesar didapat pada plat nomor 6 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit, yaitu sebesar 1.73 joule/mm² sedangkan nilai I (kuat *impact*) terendah didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 0.5 Joule/mm².

Jika membandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 2, kekuatan material mengalami penurunan dan penurunan paling besar terdapat pada plat nomor 4 tetapi terjadi peningkatan kekuatan pada plat nomor 6. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut menghasilkan baja menjadi keras sehingga nilai tegangannya menjadi tinggi sedangkan nilai regangannya menjadi turun. Pada plat 4 yang kekuatannya tertinggi tetapi memiliki keuletan yang sangat rendah sehingga bersifat getas. Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1.

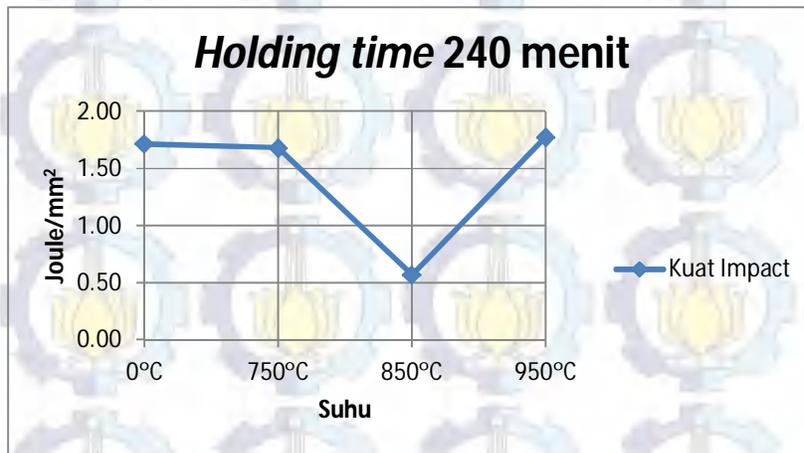
2. Pengaruh suhu dengan *holding time* selama 240 menit

Tabel IV.10 Data Pengujian *Impact* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 240 menit

No Pelat	Perlakuan	Kode Pelat	Energi (Joule)	Faktor Perubah Energi	I (Joule/mm ²)	Faktor Perubah I
1	tanpa perlakuan	1A	129.67	1.00	1.71	1.00
		1B				
		1C				
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	3A	126.17	0.973	1.68	0.980
		3B				
		3C				
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	5A	40.00	0.308	0.57	0.331
		5B				
		5C				
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	7A	133.33	1.028	1.77	1.034
		7B				
		7C				



Gambar IV.19 Grafik Energi *Impact* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 240 menit



Gambar IV.20 Grafik Kuat *Impact* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 240 menit

Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.4) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.19), dapat dianalisa bahwa nilai *energy* terbesar didapat pada plat nomor 7 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit, yaitu sebesar 133.33 joule sedangkan nilai *energy* terendah didapat pada plat nomor 5 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 40.0 joule.

Dari data yang dihasilkan pada hasil pengujian *impact* (dapat dilihat pada Tabel IV.4) dan juga dari grafik hasil uji *impact* pada raw material yang terbesar diperoleh (dapat dilihat pada Gambar IV.20), dapat dianalisa bahwa nilai I (kuat *impact*) terbesar didapat pada plat nomor 7 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit, yaitu sebesar 1.77 joule/mm² sedangkan nilai I (kuat *impact*) terendah didapat pada plat nomor 5 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 0.57 Joule/mm².

Jika membandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 3, kekuatan material mengalami penurunan dan penurunan paling besar terdapat pada plat nomor 5 tetapi terjadi peningkatan kekuatan pada plat nomor 7. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut menghasilkan baja menjadi keras sehingga nilai tegangannya menjadi tinggi sedangkan nilai regangannya menjadi turun. Pada plat 5 yang kekuatannya tertinggi tetapi memiliki keuletan yang rendah sehingga bersifat getas. Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1.

IV.3 Analisa Nilai *Fracture Toughness*

Hasil pengujian *impact* yang telah dilakukan dapat dikonversikan ke nilai *fracture toughness* dengan persamaan (IV.1) oleh J.M. Barsom dan S.T. Rolfe (1970) yang diberikan di bawah. Untuk mendapatkan hasil konversi diperlukan nilai CVN (*charpy v-notch*, lb ft) dan nilai *yield strength* (σ_{ys} , ksi).

J.M. Barsom dan S.T. Rolfe (1970)

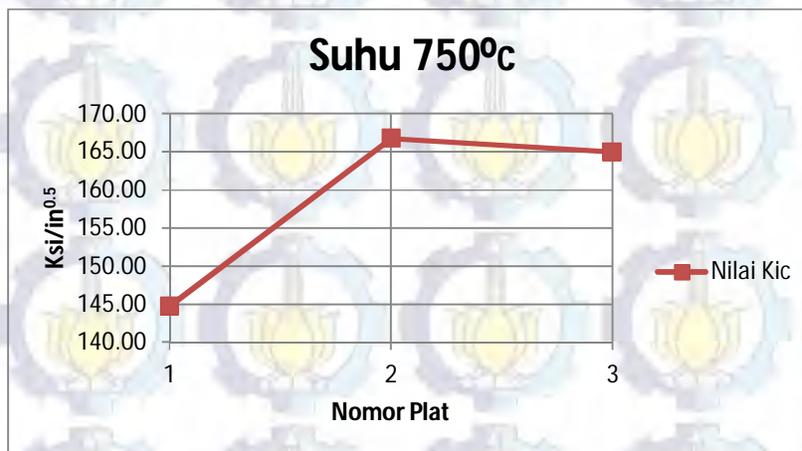
$$K_{Ic}^2 = 5 CVN \sigma_{ys} - 0.25 \sigma_{ys}^2 \text{ (ksi in}^{1/2}\text{)} \dots\dots\dots (IV.1)$$

IV.3.1 Data Nilai *Fracture Toughness* akibat pengaruh *holding time*

1. Pengaruh *holding time* pada suhu 750°C

Tabel IV.11 Data nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 750°C

No Pelat	Perlakuan	Kode	K _{Ic} (ksi in ^{0.5})	Faktor Perubahan K _{Ic}
1	tanpa perlakuan	1 A	144.71	1
		1 B		
		1 C		
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	2 A	166.74	1.152
		2 B		
		2 C		
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	3 A	164.99	1.140
		3 B		
		3 C		



Gambar IV.21 Grafik Nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 750°C

Dari data yang dihasilkan pada hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*), Tabel IV.11 dan juga dari grafik hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*) Gambar IV.21, dapat dianalisa bahwa nilai ketangguhan patah terbesar didapat pada plat nomor 2 (perlakuan suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 166.74 ksi in^{0.5} sedangkan untuk nilai ketangguhan yang terkecil didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 144.71 ksi in^{0.5}.

Jika dilihat dari data pengujian K_{Ic} maka dapat dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 2 dan plat nomor 3. Untuk harga K_{Ic} pada plat nomor 1 lebih kecil dibandingkan dengan plat nomor 2 dan mengalami kenaikan harga K_{Ic} pada plat nomor 3. Dimana plat nomor 2 memiliki harga K_{Ic} yang paling besar. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut pada plat nomor 2 dan plat nomor 3 menghasilkan baja dengan nilai tegangannya tinggi. Dimana tegangan luluh terbesar ada pada plat nomor 2. Tetapi karena harga dampak pada plat nomor 2 lebih kecil dari pada plat nomor 3 menyebabkan harga K_{Ic} berkurang.

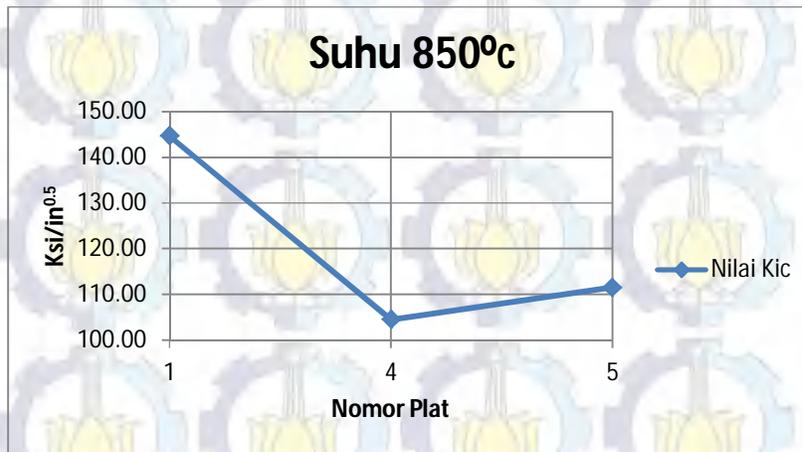
Dari penelitian tugas akhir Irvansyah,S (2014) yaitu : pengaruh preheat dan post weld heat treatment (PWHT) pada pengelasan baja ASTM A36 mengenai pengaruh harga K_{Ic} tergantung besarnya tegangan luluh. Semakin besar tegangan luluh maka semakin besar harga K_{Ic} yang diterima material tersebut.

Penelitian tugas akhir ini tentang harga K_{Ic} mirip dengan penelitian Irvansyah, bahwa perlakuan panas dengan waktu tahan disertai pendinginan cepat dengan menggunakan air laut, membuat tegangan luluh pada material ini menjadi naik. Kenaikan ini memberikan pengaruh terhadap harga K_{Ic} menjadi besar. Tetapi harga K_{Ic} juga dipengaruhi energi dampak. Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1 dan pengujian *impact* yang dibahas pada sub bab IV.2.

2. Pengaruh *holding time* pada suhu 850°C

Tabel IV.12 Data nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 850°C

No Pelat	Perlakuan	Kode	K _{IC} (ksi in ^{0.5})	Faktor Perubah K _{IC}
1	tanpa perlakuan	1 A	144.71	1
		1 B		
		1 C		
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	4 A	104.53	0.722
		4 B		
		4 C		
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	5 A	111.53	0.771
		5 B		
		5 C		



Gambar IV.22 Grafik Nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 850°C

Dari data yang dihasilkan pada hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*), Tabel IV.12 dan juga dari grafik hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*) Gambar IV.22, dapat dianalisa bahwa nilai ketangguhan patah terbesar didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 144.71 ksi in^{0.5} sedangkan untuk nilai ketangguhan patah yang terkecil didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 104.53 ksi in^{0.5}.

Jika dilihat dari data pengujian K_{IC} maka dapat dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 4 dan plat nomor 5. Untuk harga K_{IC} pada plat nomor 1 lebih besar dibandingkan dengan plat nomor 4 tetapi harga K_{IC} mengalami kenaikan pada plat nomor 5. Hal ini disebabkan oleh

perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut pada plat nomor 4 dan plat nomor 5 menghasilkan baja dengan nilai tegangannya tinggi. Dimana tegangan luluh terbesar ada pada plat nomor 4. Tetapi karena plat nomor 4 dan nomor 5 bersifat getas, maka harga energi *absorb*-nya lebih rendah. Sehingga harga K_{Ic} plat nomor 4 dan plat nomor 5 menjadi lebih rendah.

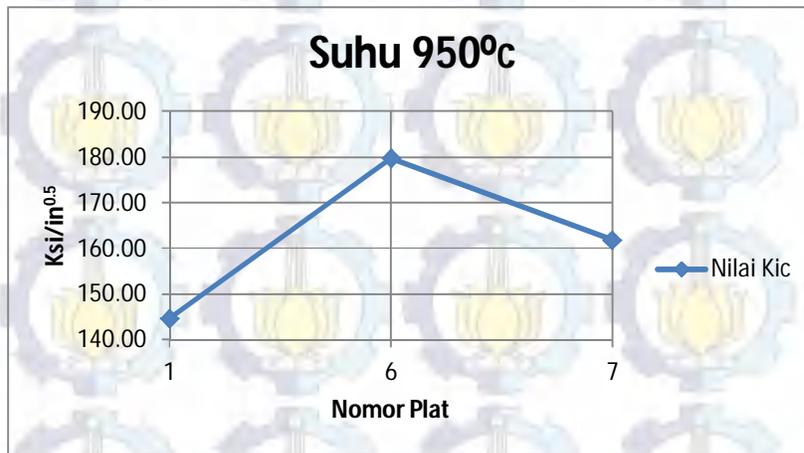
Dari penelitian tugas akhir Irvansyah,S (2014) yaitu : pengaruh preheat dan post weld heat treatment (PWHT) pada pengelasan baja ASTM A36 mengenai pengaruh harga K_{Ic} tergantung besarnya tegangan luluh. Semakin besar tegangan luluh maka semakin besar harga K_{Ic} yang diterima material tersebut.

Penelitian tugas akhir ini tentang harga K_{Ic} mirip dengan penelitian Irvansyah, bahwa perlakuan panas dengan waktu tahan disertai pendinginan cepat dengan menggunakan air laut, membuat tegangan luluh pada material ini menjadi naik. Kenaikan ini memberikan pengaruh terhadap harga K_{Ic} menjadi besar akan tetapi energi *absorb* juga mempengaruhi besarnya harga K_{Ic} . Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1 dan pengujian *impact* yang dibahas pada sub bab IV.2.

3. Pengaruh *holding time* pada suhu 950°C

Tabel IV.13 Data nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 950°C

No Pelat	Perlakuan	Kode	K_{Ic} (ksi in ^{0.5})	Faktor Perubah K_{Ic}
1	tanpa perlakuan	1 A	144.71	1
		1 B		
		1 C		
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	6 A	179.72	1.242
		6 B		
		6 C		
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	7 A	161.89	1.119
		7 B		
		7 C		



Gambar IV.23 Grafik Nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh *Holding Time* pada Suhu 950°C

Dari data yang dihasilkan pada hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*), Tabel IV.13 dan juga dari grafik hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*) Gambar IV.23, dapat dianalisa bahwa nilai ketangguhan patah terbesar didapat pada plat nomor 6 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 179.72 ksi in^{0.5} sedangkan untuk nilai ketangguhan patah yang terkecil didapat pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 144.71 ksi in^{0.5}.

Jika dilihat dari data pengujian K_{IC} maka dapat dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 6 dan plat nomor 7. Untuk harga K_{IC} pada plat nomor 1 lebih kecil dibandingkan dengan plat nomor 6 tetapi mengalami penurunan harga K_{IC} pada plat nomor 7. Dimana plat nomor 6 memiliki harga K_{IC} yang paling besar. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut pada plat nomor 6 dan plat nomor 7 menghasilkan baja dengan nilai tegangannya tinggi. Dimana tegangan luluh terbesar ada pada plat nomor 6.

Dari penelitian tugas akhir Irvansyah, S (2014) yaitu : pengaruh preheat dan post weld heat treatment (PWHT) pada pengelasan baja ASTM A36 mengenai pengaruh harga K_{IC} tergantung besarnya tegangan luluh. Semakin besar tegangan luluh maka semakin besar harga K_{IC} yang diterima material tersebut.

Penelitian tugas akhir ini tentang harga K_{IC} mirip dengan penelitian Irvansyah, bahwa perlakuan panas dengan waktu tahan disertai pendinginan cepat dengan menggunakan air laut, membuat tegangan luluh pada material ini menjadi naik. Kenaikan ini memberikan pengaruh terhadap harga K_{IC} menjadi besar. Tetapi harga K_{IC} juga dipengaruhi energi impak. Pernyataan ini

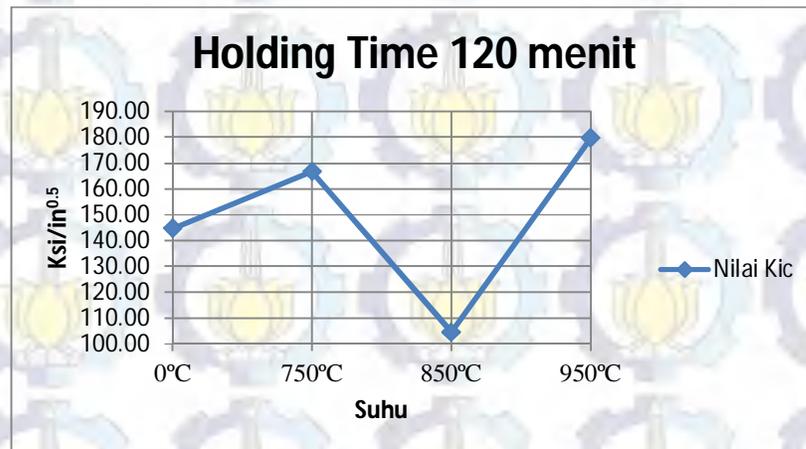
didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1 dan pengujian *impact* yang dibahas pad sub bab IV.2.

IV.3.2 Data Nilai *Fracture Toughness* akibat pengaruh suhu

1. Pengaruh suhu dengan *holding time* selama 120 menit

Tabel IV.14 Data Nilai Ketangguhan akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 120 menit

No Pelat	Perlakuan	Kode	Kic (ksi in ^{0.5})	Faktor Perubah Kic
1	tanpa perlakuan	1 A	144.71	1
		1 B		
		1 C		
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	2 A	166.74	1.152
		2 B		
		2 C		
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	4 A	104.53	0.722
		4 B		
		4 C		
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	6 A	179.72	1.242
		6 B		
		6 C		



Gambar IV.24 Grafik Nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* selama 120 menit

Dari data yang dihasilkan pada hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*), Tabel IV.14 dan juga dari grafik hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah

(*Fracture Toughness*) Gambar IV.24, dapat dianalisa bahwa nilai ketangguhan patah terbesar didapat pada plat nomor 6 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 179.72 ksi in^{0.5} sedangkan untuk nilai ketangguhan yang terkecil didapat pada plat nomor 4 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 104.53 ksi in^{0.5}.

Jika dilihat dari data pengujian K_{Ic} maka dapat dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 2, plat nomor 4 dan plat nomor 6. Untuk harga K_{Ic} pada plat nomor 1 lebih besar dibandingkan dengan plat nomor 2 tetapi harga K_{Ic} mengalami penurunan pada plat nomor 4 dilanjutkan dengan kenaikan yang signifikan pada plat nomor 6. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut pada plat nomor 2, plat nomor 4 dan plat nomor 6 menghasilkan baja dengan nilai tegangan luluh yang tinggi. Dimana tegangan luluh terbesar ada pada plat nomor 4. Tetapi karena plat nomor 4 bersifat getas, maka harga energi *absorb*-nya lebih rendah. Sehingga harga K_{Ic} plat nomor 4 menjadi lebih rendah.

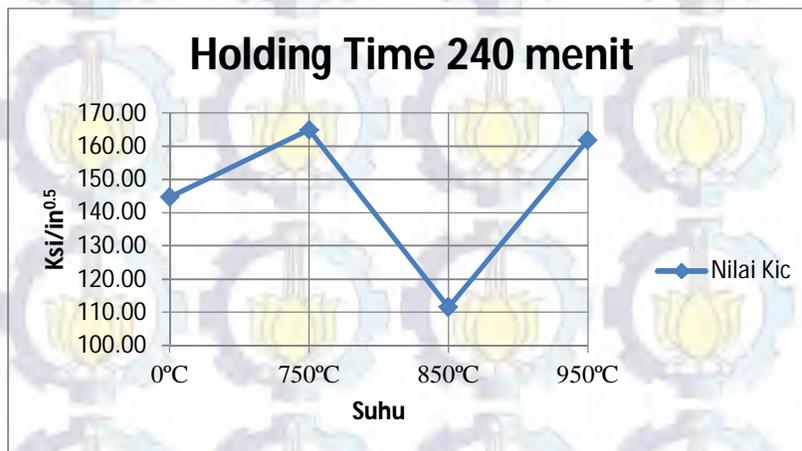
Dari penelitian tugas akhir Irvansyah,S (2014); yaitu : pengaruh preheat dan post weld heat treatment (PWHT) pada pengelasan baja ASTM A36 mengenai pengaruh harga K_{Ic} tergantung besarnya tegangan luluh. Semakin besar tegangan luluh maka semakin besar harga K_{Ic} yang diterima material tersebut.

Penelitian tugas akhir ini tentang harga K_{Ic} mirip dengan penelitian Irvansyah. Bahwa perlakuan panas dengan waktu tahan disertai pendinginan dapat dengan menggunakan air laut, membuat tegangan luluh pada material ini menjadi naik. Kenaikan ini memberikan pengaruh terhadap harga K_{Ic} menjadi besar akan tetapi energi *absorb* juga mempengaruhi besarnya harga K_{Ic} . Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1 dan pengujian *impact* yang dibahas pada sub bab IV.2.

2. *Holding time* selama 240 menit

Tabel IV.15 Data Nilai Ketangguhan akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* 240 menit

No Pelat	Perlakuan	Kode	Kic (ksi in ^{0.5})	Faktor Perubah Kic
1	tanpa perlakuan	1 A	144.71	1
		1 B		
		1 C		
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	3 A	164.99	1.140
		3 B		
		3 C		
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	5 A	111.53	0.771
		5 B		
		5 C		
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	7 A	161.89	1.119
		7 B		
		7 C		



Gambar IV.25 Grafik Nilai *Fracture Toughness* akibat Pengaruh Suhu dengan *Holding Time* selama 120 menit

Dari data yang dihasilkan pada hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*), Tabel IV.15 dan juga dari grafik hasil konversi pengujian tarik dan pengujian *impact* untuk mendapat nilai ketangguhan patah (*Fracture Toughness*) Gambar IV.25, dapat dianalisa bahwa nilai ketangguhan patah terbesar didapat pada plat nomor 3 (perlakuan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 164.99 ksi in^{0.5} sedangkan untuk nilai ketangguhan yang terkecil didapat pada plat nomor 5 (perlakuan suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit dan *quenching* 30 menit), yaitu sebesar 111.53 ksi in^{0.5}.

Jika dilihat dari data pengujian K_{Ic} maka dapat dibandingkan plat nomor 1 dengan plat nomor 3, plat nomor 5 dan plat nomor 7. Untuk harga K_{Ic} pada plat nomor 1 lebih besar dibandingkan dengan plat nomor 3 tetapi harga K_{Ic} mengalami penurunan pada plat nomor 5 dilanjutkan dengan kenaikan yang signifikan pada plat nomor 7. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas dan proses pendinginan yang cepat yang dilakukan dengan air laut pada plat nomor 2, plat nomor 4 dan plat nomor 6 menghasilkan baja dengan nilai tegangan luluh yang tinggi. Dimana tegangan luluh terbesar ada pada plat nomor 4. Tetapi karena plat nomor 4 bersifat getas, maka harga energi *absorb*-nya lebih rendah. Sehingga harga K_{Ic} plat nomor 4 menjadi lebih rendah.

Dari penelitian tugas akhir Irvansyah,S (2014) yaitu : pengaruh preheat dan post weld heat treatment (PWHT) pada pengelasan baja ASTM A36 mengenai pengaruh harga K_{Ic} tergantung besarnya tegangan luluh. Semakin besar tegangan luluh maka semakin besar harga K_{Ic} yang diterima material tersebut.

Penelitian tugas akhir ini tentang harga K_{Ic} mirip dengan penelitian Irvansyah. Bahwa perlakuan panas dengan waktu tahan disertai pendinginan cepat dengan menggunakan air laut, membuat tegangan luluh pada material ini menjadi naik. Kenaikan ini memberikan pengaruh terhadap harga K_{Ic} menjadi besar akan tetapi energi *absorb* juga mempengaruhi besarnya harga K_{Ic} . Pernyataan ini didukung dengan pengujian tarik yang dibahas pada sub bab IV.1 dan pengujian *impact* yang dibahas pada sub bab IV.2.

IV.4 Hasil Struktur Mikro

IV.4.1 Hasil struktur mikro tanpa perlakuan *Quenching*

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan) menghasilkan struktur ferit (berwarna putih) dan perlit (berwarna gelap). Dengan diameter butir yang semakin besar, mengakibatkan kekuatan semakin turun.



Gambar IV.26 Struktur mikro pada plat nomor 1 (Perbesaran 400x)

IV.4.2 Hasil Struktur Mikro dengan perlakuan *Quenching*

1. Suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 2 (suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit) menghasilkan butiran ferit (berwarna putih terang), ferit Widmanstatten (ferit yang sejajar) dan butiran perlit (berwarna gelap). Ferit Widmanstatten menurunkan keuletan/ketangguhan.



Gambar IV.27 Struktur mikro pada plat nomor 2 (Perbesaran 400x)

2. Suhu 750°C dengan *holding time* 240 menit

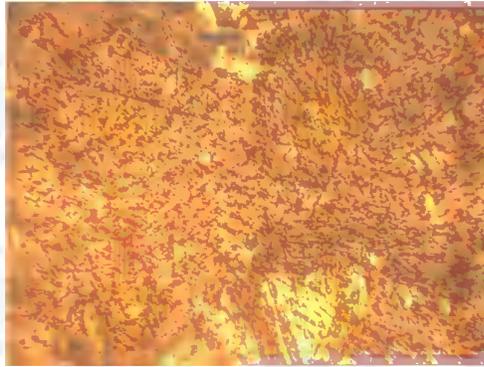
Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 3 (suhu 750°C dengan *holding time* 240 menit) menghasilkan struktur ferit (berwarna putih) dan butiran perlit (berwarna gelap). Akibat proses waktu tahan ini, diameter butiran semakin besar.



Gambar IV.28 Struktur mikro pada plat nomor 3 (Perbesaran 400x)

3. Suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit

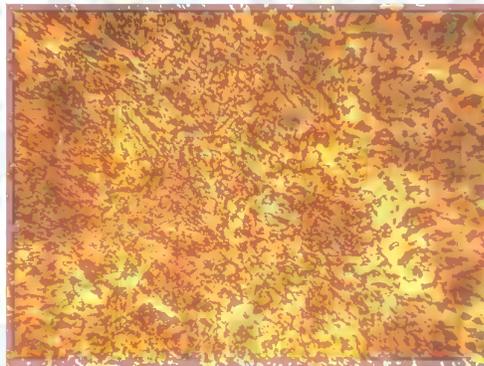
Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 4 (suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit) menghasilkan butiran (berwarna putih), ferit Widmanstatten (ferit yang sejajar) dan butiran perlit (berwarna gelap). Ferit Widmanstatten menurunkan keuletan/keangguhan.



Gambar IV.29. Struktur mikro pada plat nomor 4 (Perbesaran 400x)

4. Suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit

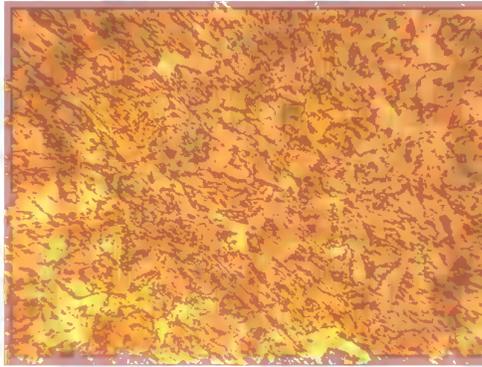
Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 5 (suhu 850°C dengan *holding time* 240 menit) menghasilkan butiran ferit (berwarna putih), ferit Widmanstatten (ferit yang sejajar) dan butiran perlit (berwarna gelap). Ferit Widmanstatten menurunkan keuletan. Akibat proses waktu tahan ini, diameter butiran bertambah besar.



Gambar IV.30. Struktur mikro pada plat nomor 5 (Perbesaran 400x)

5. Suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 6 (suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit) menghasilkan butiran ferit (berwarna putih) dan butiran perlit (berwarna gelap).



Gambar IV.31. Struktur mikro pada plat nomor 6 (Perbesaran 400x)

6. Suhu 950°C dengan *holding time* 240 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 7 (suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit) menghasilkan butiran ferit (berwarna putih) dan butiran perlit (berwarna gelap). Dengan ukuran butiran yang semakin membesar.



Gambar IV.32. Struktur mikro pada plat nomor 7 (Perbesaran 400x)

IV.5. Perhitungan Besar Butir

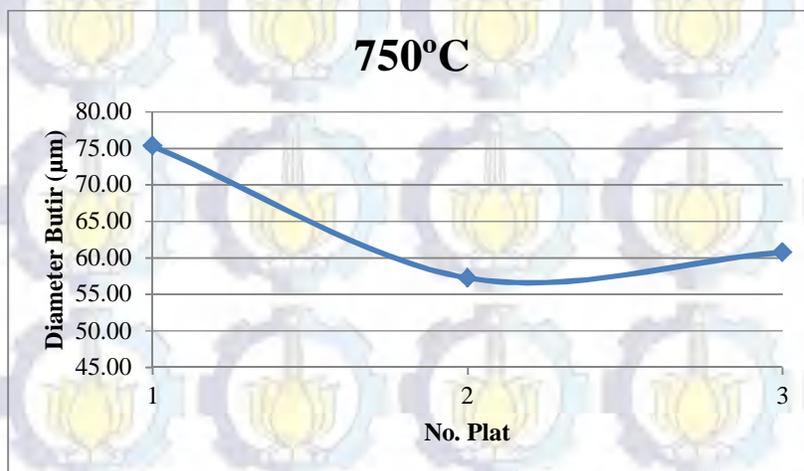
Perhitungan besar butir dilakukan dengan mengolah data hasil metalografi pada baja tanpa perlakuan dan juga pada baja dengan perlakuan waktu tahan dan proses pendinginan cepat dengan air laut. Perhitungan besar butir ini dilakukan dengan menggunakan metode Jeffries.

Hasil perhitungan besar diameter butir dapat dilihat pada Tabel IV.4.16

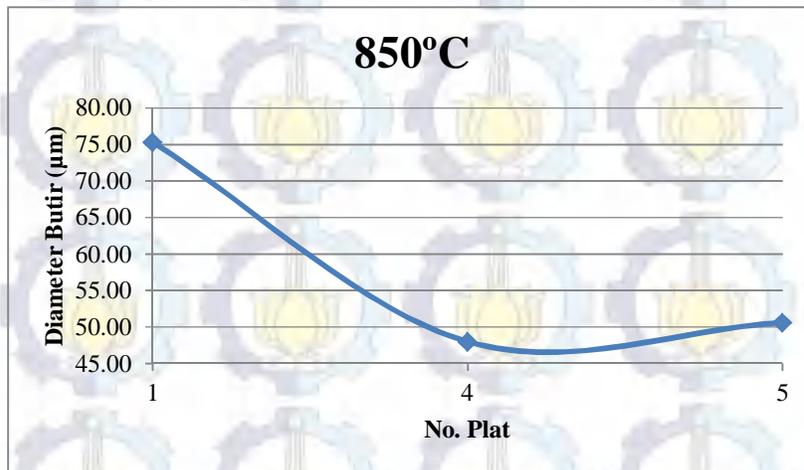
Tabel.IV.16. Perhitungan Besar Diameter Butir

No Plat	Perlakuan	G	d (μm)
1	tanpa perlakuan	4.508	75.296
2	Oven suhu 750°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	5.310	57.238
3	Oven suhu 750°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	5.137	60.738
4	Oven suhu 850°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	5.819	47.980
5	Oven suhu 850°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	5.666	50.579
6	Oven suhu 950°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	5.220	59.056
7	Oven suhu 950°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	4.939	

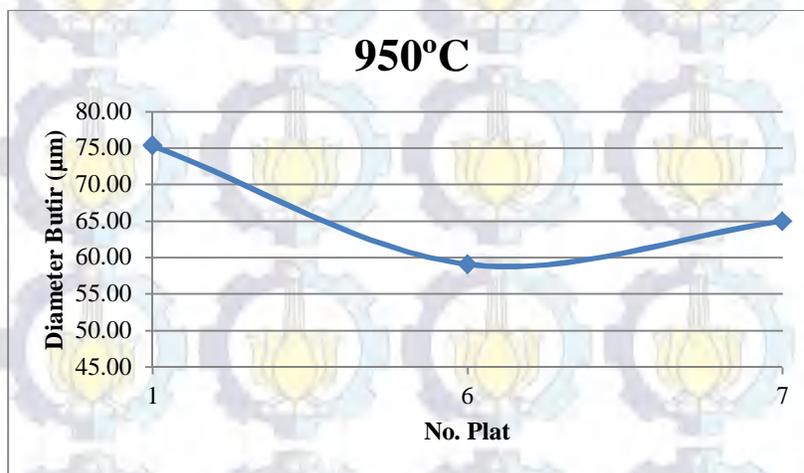
IV.5.1 Perhitungan Besar Butir akibat Pengaruh *Holding Time*.



Gambar IV.33. Grafik Besar Butir pada Suhu 750°C akibat Pengaruh *Holding Time*



Gambar IV.34. Grafik Besar Butir pada Suhu 750°C akibat Pengaruh *Holding Time*



Gambar IV.35. Grafik Besar Butir pada Suhu 750°C akibat Pengaruh *Holding Time*

Pada suhu 750°C, dari Gambar IV.33 dapat dilihat bahwa diameter butir yang terbesar berada pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan) yang bernilai 75.296 µm dan yang terkecil berada pada plat nomor 2 yang bernilai 57.238 µm. Hal ini disebabkan karena butir akan membesar seiring semakin lamanya waktu tahan. Sehingga pada plat nomor 2 memiliki diameter butir yang lebih kecil dari pada plat nomor 3.

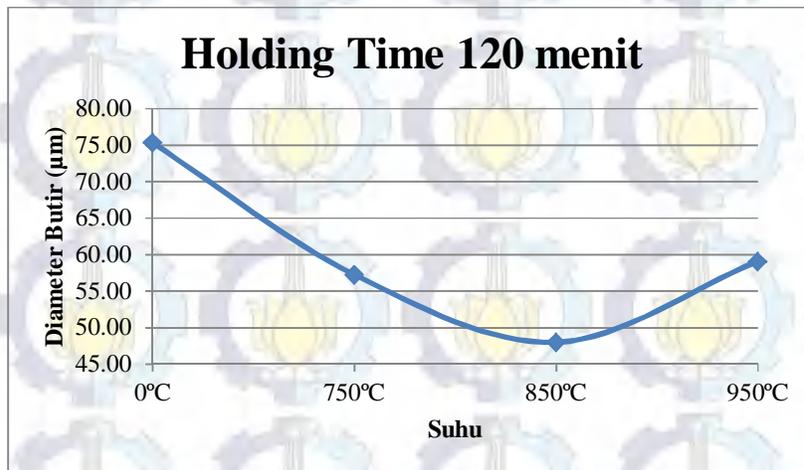
Pada suhu 850°C, dari data Gambar IV.34 dapat dilihat bahwa diameter butir yang terbesar berada pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan) yang bernilai 75.296 µm dan yang terkecil berada pada plat nomor 4 yang bernilai 47.98 µm. Hal ini disebabkan karena butir akan membesar seiring semakin lamanya waktu tahan. Sehingga pada plat nomor 4 memiliki diameter butir yang lebih kecil dari pada plat nomor 5.

Pada suhu 950°C, dari Gambar IV.35 dapat dilihat bahwa diameter butir yang terbesar berada pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan) yang bernilai 75.296 µm dan yang terkecil berada

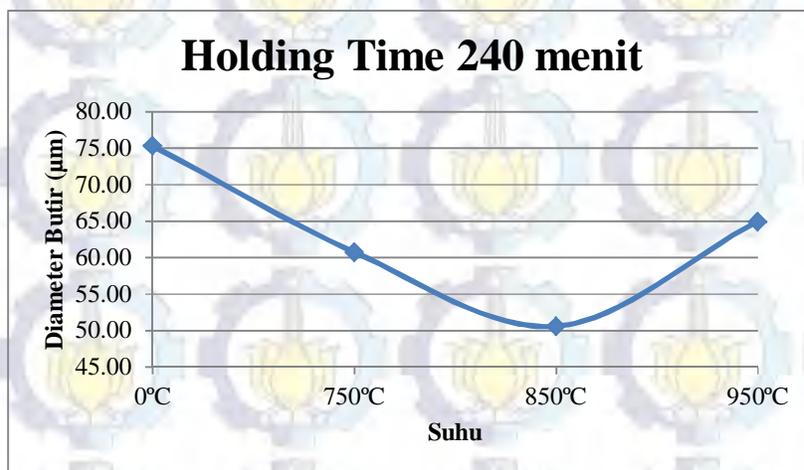
pada plat nomor 6 yang bernilai 47.98 μm . Hal ini disebabkan karena butir akan membesar seiring semakin lamanya waktu tahan. Sehingga pada plat nomor 4 memiliki diameter butir yang lebih kecil dari pada plat nomor 7.

Pada penelitian tugas akhir Trigondo,L (2011) tentang pengaruh temperatur canai hangat *Multi Pass* dan waktu tahan terhadap besar butir dan temperatur. Waktu tahan akan memperbesar ukuran butir, hal ini disebabkan waktu tahan yang semakin lama akan memberi kesempatan atom-atom untuk bergabung sehingga meningkatkan ukuran butir semakin besar. Pada penelitian tugas akhir ini memiliki kesamaan dengan penelitian tugas akhir Trigondo, L (2011). Bahwa waktu tahan yang semakin lama akan menambah ukuran butir.

IV.5.2 Perhitungan Besar Butir akibat Pengaruh Suhu



Gambar IV.36. Grafik Besar Butir akibat Pengaruh Suhu pada *Holding Time* 120 menit



Gambar IV.37. Grafik Besar Butir akibat Pengaruh Suhu pada *Holding Time* 240 menit

Pada suhu waktu tahan 120 menit, dari Gambar IV.36 dapat dilihat bahwa diameter butir yang terbesar berada pada suhu 0°C (tanpa perlakuan) yang bernilai 75.296 µm dan yang terkecil berada pada suhu 850°C yang bernilai 47.98 µm. Tetapi mengalami kenaikan pada suhu 950°C sebesar 59.056 µm.

Pada suhu waktu tahan 120 menit, dari Gambar IV.37 dapat dilihat bahwa diameter butir yang terbesar berada pada suhu 0°C (tanpa perlakuan) yang bernilai 75.296 µm dan yang terkecil berada pada suhu 850°C yang bernilai 47.98 µm. Tetapi mengalami kenaikan pada suhu 950°C sebesar 59.056 µm.

Pada penelitian tugas akhir Trigondo, L (2011), tentang pengaruh temperatur canai hangat *Multi Pass* dan waktu tahan terhadap besar butir dan temperatur, bahwa temperatur mempengaruhi besar ukuran butir, jika suhu semakin naik maka untuk ukuran diameter akan semakin besar. Adanya perbedaan penelitian ini dengan penelitian Trigondo, L (2011), pada penelitian ini suhu 850°C memiliki ukuran butir kecil dari pada 950°C. Hal ini disebabkan pada suhu 850°C dan akibat proses pendinginan yang cepat mengakibatkan atom-atom berdifusi secara tidak merata sehingga butir-butir yang berpindah menjadi tidak merata. Hal ini dapat dilihat dari struktur mikro pada plat 850°C yang getas, sub bab IV.4.

IV.6 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter Butir

Persamaan Hell-Petch

$$\sigma_y = \sigma_i + k \cdot d^{-0.5} \dots\dots\dots (IV.2)$$

Dimana :

σ_y = tegangan luluh

σ_i = tegangan geser kisi

k = konstanta

d = diameter butir

Pada persamaan Hall-Petch (IV.2), menunjukkan hubungan kekuatan material dengan diameter butir. Dimana formula ini dapat memberi Gambaran tentang sifat mekanik lain misalnya kekerasan logam yang merupakan sifat kemampuan logam untuk menahan deformasi. Deformasi logam pada dasarnya merupakan hasil pergerakan dislokasi. Karena orientasi/arrah bidang geser antar butir tidak seragam, maka gerakan dislokasi akan terhambat oleh batas butir. Makin halus ukuran butir maka presentasi batas butir akan makin banyak pula, sehingga ketahanan deformasi logam akan meningkat. [Suhartono, 2004]

Persamaan (IV.2) didapatkan grafik hubungan kekuatan tarik dengan diameter butir. Dari grafik tersebut dapat dilihat garis regresi kurva hubungan antara hubungan kekuatan dengan diameter, disertai dengan perhitungan koefisien determinasi, R^2 (R-squared value) dan koefisien korelasi (R). Dari koefisien-koefisien tersebut dapat menjadi indikator, apakah nilai perkiraan yang didapat dari hasil penarikan garis kurva (garis regresi) dengan data pengujian memiliki hubungan yang erat. Nilai koefisien korelasi berkisar antara 0 hingga 1. Semakin dekat dengan 1 maka nilai perkiraan berdasarkan kurva yang kita buat semakin dapat dipercaya.

Secara kuantitatif dinyatakan bahwa :

- $0,90 < R < 1,00$: hubungan sangat kuat
- $0,70 < R < 0,90$ hubungan kuat
- $0 < R < 0,50$ hubungan lemah dan sangat lemah. [Budiono, 2001]

Tabel IV.17 Hasil Kekuatan dengan Diameter Butir

No Pelat	Perlakuan	σ_y (Kuat Luluh) [Mpa]	d [μm]	$d^{-0.5}$ [$\mu\text{m}^{-0.5}$]
1	tanpa perlakuan	308.59	75.30	0.1152
2	Oven suhu 750°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	535.71	57.24	0.1322
3	Oven suhu 750°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	416.79	60.74	0.1283
4	Oven suhu 850°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	795.52	47.98	0.1444
5	Oven suhu 850°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	711.68	50.58	0.1406
6	Oven suhu 950°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	484.01	59.06	0.1301
7	Oven suhu 950°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	377.94	64.96	0.1241

IV.6.1 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter



Gambar IV.38. Hubungan Kekuatan dengan Diameter Butir

Dari Tabel IV.17 dan Gambar IV.38, menunjukkan bahwa adanya hubungan linier antara kekuatan tarik dengan diameter butir. Dari grafik pada Gambar IV.38, dapat diambil pendekatan dengan persamaan Hell-Petch. Persamaan (IV.3) yang dapat diambil dari grafik pada Gambar IV.38, yaitu :

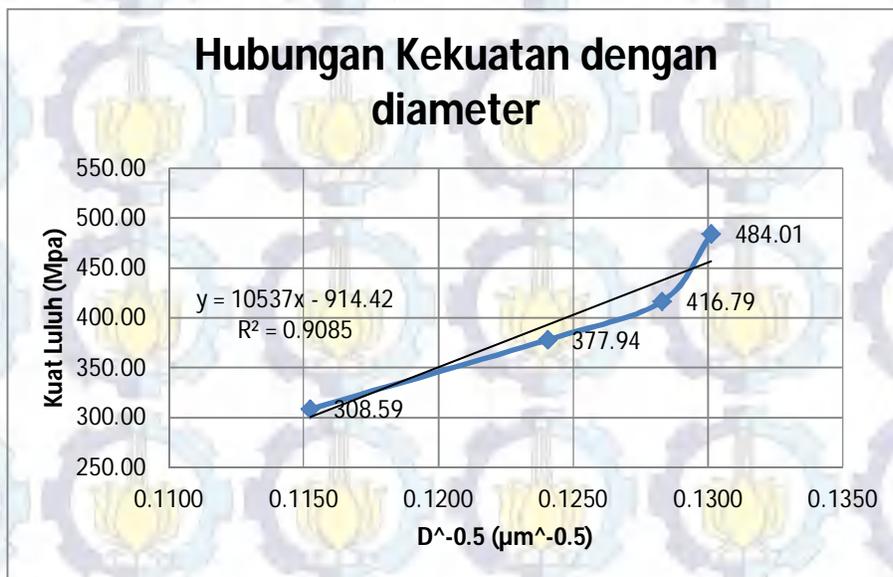
$$\sigma_y = 17644 \cdot d^{-0.5} - 1787.5 \dots\dots\dots(IV.3)$$

Dimana dari grafik pada Gambar 1, didapatkan R^2 adalah sebesar 0,9455, dan nilai koefisien korelasi R adalah sebesar 0,894. Dari nilai yang telah didapatkan menandakan bahwa hubungan antara besar butir dan kuat luluh dapat diwakili oleh persamaan (IV.3) memiliki keterkaitan hubungan yang kuat.

IV.6.2 Perbandingan Diameter Butir Struktur Mikro dengan Diameter Butir Hasil Regresi Linier.

Tabel IV.18. Hasil Kekuatan dan Diameter

No Pelat	UTS (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	d (μm)	$d^{0.5} (\mu m^{0.5})$
1	457.35	308.59	75.30	0.1152
7	590.16	377.94	64.96	0.1241
3	588.44	416.79	60.74	0.1283
6	622.22	484.01	59.06	0.1301



Gambar IV.39 Hasil Hubungan Kekuatan dengan Diameter Butir

Dimana dari grafik pada Gambar IV.39, didapatkan R^2 adalah sebesar 0,9085, dan nilai koefisien korelasi R adalah sebesar 0,8254. Dari nilai yang telah didapatkan menandakan bahwa hubungan antara besar butir dan kuat luluh dapat diwakili oleh persamaan (IV.4) memiliki keterkaitan hubungan yang kuat.

Dari grafik pada Gambar IV.4, didapatkan persamaan (IV.4), sebagai berikut :

$$\sigma_y = 10537 \cdot d^{-0.5} - 914.42 \dots\dots\dots(IV.4)$$

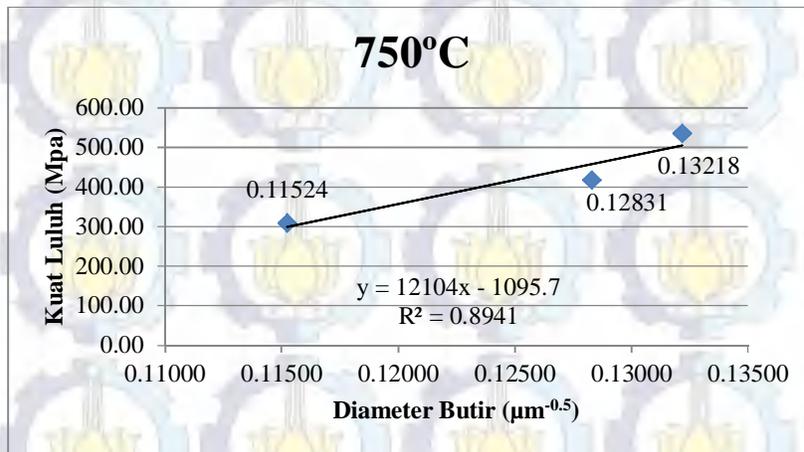
Dari persamaan matematis (IV.4) dilakukan hasil regresi linier untuk mendapatkan diameter hasil regresi. Hasil tersebut dibandingkan dengan diameter struktur mikro pada Tabel IV.19.

Tabel IV.19. Perhitungan Hasil Regresi dengan Diameter Mikro

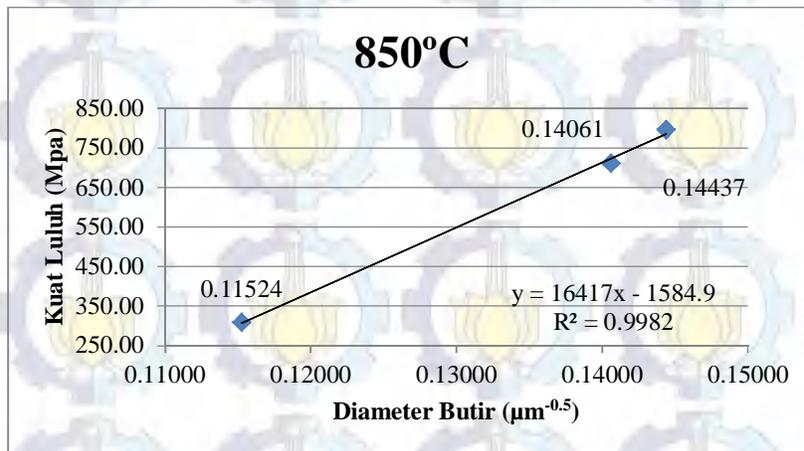
No	y =	10537	x	-914.42	d (µm)	Selisih
1	308.59		0.1161		0.1152	-0.0008
7	377.94		0.1226		0.1241	0.0014
3	416.79		0.1263		0.1283	0.0020
6	484.01		0.1327		0.1301	-0.0026
2	535.71		0.1376		0.1322	-0.0054
5	711.68		0.1543		0.1406	-0.0137
4	795.52		0.1623		0.1444	-0.0179

Dari Tabel IV.19, didapatkan hasil selisih antara diameter butir mikro dengan diameter hasil regresi memiliki perubahan selisih yang kecil.

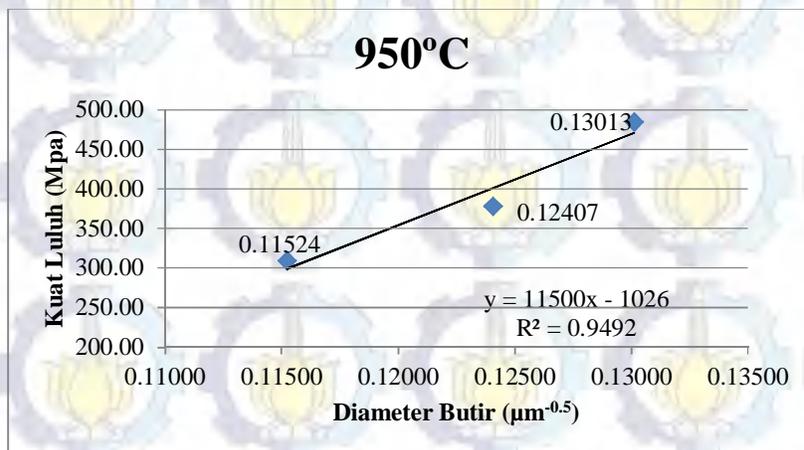
IV.6.3 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter akibat Pengaruh *Holding Time*



Gambar IV.40 Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada Suhu 750°C



Gambar IV.41 Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada Suhu 850°C



Gambar IV.42 Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada Suhu 950°C

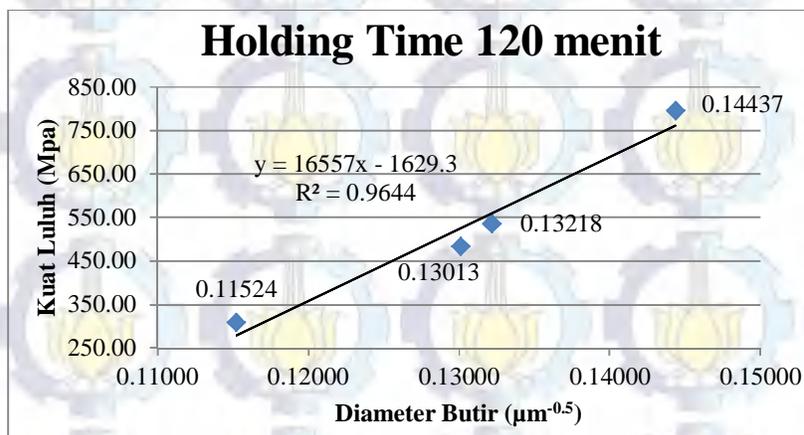
Pada suhu 750°C, dari Gambar IV.40 dapat dilihat bahwa nilai R^2 adalah sebesar 0,8941, dan nilai koefisien korelasi R adalah sebesar 0,9456. Dari nilai yang telah didapatkan

menandakan bahwa hubungan antara besar butir dan kuat luluh memiliki keterkaitan hubungan yang sangat kuat. Dapat dilihat bahwa pengaruh waktu tahan menyebabkan ukuran diameter butir semakin besar. Pernyataan ini didukung pada sub bab IV.1 dan IV.5.

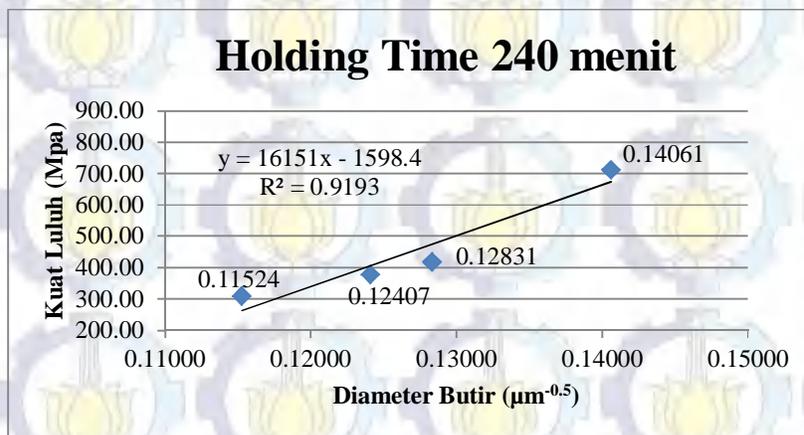
Pada suhu 850°C, dari Gambar IV.41 dapat dilihat bahwa nilai R^2 adalah sebesar 0,9982, dan nilai koefisien korelasi R adalah sebesar 0,9991. Dari nilai yang telah didapatkan menandakan bahwa hubungan antara besar butir dan kuat luluh memiliki keterkaitan hubungan yang sangat kuat. Dapat dilihat bahwa pengaruh waktu tahan menyebabkan ukuran diameter butir semakin besar. Pernyataan ini didukung pada sub bab IV.1 dan IV.5.

Pada suhu 950°C, dari Gambar IV.42 dapat dilihat bahwa nilai R^2 adalah sebesar 0,9492, dan nilai koefisien korelasi R adalah sebesar 0,9743. Dari nilai yang telah didapatkan menandakan bahwa hubungan antara besar butir dan kuat luluh memiliki keterkaitan hubungan yang sangat kuat. Dapat dilihat bahwa pengaruh waktu tahan menyebabkan ukuran diameter butir semakin besar. Pernyataan ini didukung pada sub bab IV.1 dan IV.5.

IV.6.4 Hubungan Kekuatan dengan Besar Diameter akibat Pengaruh Suhu



Gambar IV.44 Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada *Holding Time* 120 menit



Gambar IV.45 Grafik Hubungan Kuat Luluh dengan Besar Butir pada *Holding Time* 240 menit

Pada *holding time* 120 menit, dari Gambar IV.44 dapat dilihat bahwa nilai R^2 adalah sebesar 0,9492, dan nilai koefisien korelasi R adalah sebesar 0,9743. Dari nilai yang telah didapatkan menandakan bahwa hubungan antara besar butir dan kuat luluh memiliki keterkaitan hubungan yang sangat kuat. Dapat dilihat bahwa pengaruh waktu tahan menyebabkan ukuran diameter butir semakin besar. Pernyataan ini didukung pada sub bab IV.1 dan IV.5.

Pada *holding time* 120 menit, dari Gambar IV.45 dapat dilihat bahwa nilai R^2 adalah sebesar 0,9492, dan nilai koefisien korelasi R adalah sebesar 0,9743. Dari nilai yang telah didapatkan menandakan bahwa hubungan antara besar butir dan kuat luluh memiliki keterkaitan hubungan yang sangat kuat. Dapat dilihat bahwa pengaruh waktu tahan menyebabkan ukuran diameter butir semakin besar. Pernyataan ini didukung pada sub bab IV.1 dan IV.5.

IV.7 Analisa Hasil Keseluruhan Pengujian

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, tersajikan data hasil pengujian masing-masing. Untuk itu diperlukan analisa keseluruhan data dari setiap hasil pengujian tersebut untuk membandingkan secara langsung, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel IV.20.

Tabel IV.20 Rekapitulasi Data Keseluruhan Hasil Pengujian

No Plat	Uji Tarik			Uji Impact		Fracture Toughness	d (μm)
	σ luluh (Mpa)	σ puncak (Mpa)	Regangan (%)	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm ²)	Kic (Ksi in ^{1/2})	
1	308.99	457.96	33.18	129.67	1.71	144.71	75.3
2	535.71	716.69	19.51	105.00	1.38	166.74	57.2
3	416.79	588.44	22.42	126.17	1.68	164.99	60.7
4	795.52	867.08	12.42	37.50	0.50	104.53	48.0
5	711.68	844.96	13.95	40.00	0.57	111.53	50.6
6	484.01	622.22	24.10	130.00	1.73	179.72	59.1
7	377.94	590.16	25.11	133.33	1.77	161.89	65.0

Jika masing-masing material dengan perlakuan panas dan *quenching* dibandingkan dengan material yang tidak diberi perlakuan, maka akan didapat hasil persentase selisih yang dapat dilihat pada Tabel IV.21.

Tabel IV.21 Perubahan Selisih antara Variasi Perlakuan Panas dan *Quenching* terhadap Plat 1

No Plat	Faktor Perubahan						
	Uji Tarik			Uji Impact		Fracture Toughness Kic	d
	σ luluh (%)	σ puncak (Mpa)	Regangan (%)	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm ²)		
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.734	1.565	0.588	0.810	0.807	1.152	0.760
3	1.349	1.285	0.676	0.973	0.980	1.140	0.807
4	2.575	1.893	0.375	0.289	0.290	0.722	0.637
5	2.303	1.845	0.421	0.308	0.331	0.771	0.672
6	1.566	1.359	0.727	1.003	1.009	1.242	0.784
7	1.223	1.289	0.757	1.028	1.034	1.119	0.863

Dari Tabel IV.20 dan Tabel IV.21 didapatkan hasil pengujian tarik dari setiap perlakuan, nilai tegangan luluh dan tegangan puncak memenuhi standar ASTM A36, 2004., yaitu : tegangan luluh minimal 250 Mpa dan tegangan puncak sebesar 400 – 550 Mpa, untuk nilai tegangan puncak pada setiap perlakuan sudah memenuhi nilai minimal tetapi diatas range dari syarat tegangan puncak. Untuk nilai minimal regangan sesuai ASTM A36-04 yaitu 23%, plat yang memenuhi adalah plat nomor 1 (tanpa perlakuan), plat nomor 6 (suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit) dan plat nomor 7 (suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit). Untuk nilai uji *impact* sesuai dengan Llyod's Register, 2009., pengujian *impact* V-Charpy notch minimal 125 Joule, maka plat yang memenuhi regulasi adalah plat nomor 1 (tanpa perlakuan), plat nomor 2 (suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit), plat nomor 6 (suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit) dan plat nomor 7 (suhu 950°C dengan *holding time* 240 menit) Jika ditinjau dari hasil semua penelitian maka plat nomor 1 (tanpa perlakuan) yang paling bagus. Akan tetapi, jika ditinjau dari hasil semua penelitian dan dibandingkan dengan plat nomor 1 (tanpa perlakuan), maka plat nomor 6 (suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit) dan plat nomor 7 (suhu 950°C dengan *holding time* 240 menit) memiliki nilai kekuatan dan *impact* yang lebih tinggi dibandingkan plat nomor 1 walaupun untuk nilai regangan lebih kecil tetapi masih memenuhi syarat minimal.

BAB V

KESIMPULAN

V.1 Kesimpulan

1. Untuk nilai kekuatan tarik akibat pengaruh suhu 750°C, 850°C dan 950°C mengalami kenaikan tetapi pada suhu 950°C mengalami penurunan kekuatan tarik. Dimana kekuatan tarik terbesar terdapat pada suhu 850°C dan bersifat getas. Hal ini juga dapat dilihat dari struktur mikro dengan ukuran diameter butiran yang kecil membuat kekuatan semakin meningkat.
2. Untuk nilai kekuatan tarik akibat pengaruh antara *holding time* 120 menit dengan *holding time* 240 menit mengalami penurunan. Hal ini disebabkan pengaruh diameter butiran, dimana semakin besar waktu tahan maka diameter semakin besar sehingga kekuatan tarik semakin menurun. Dan juga dari dapat dilihat dari struktur mikro yang mengalami perubahan dengan ukuran diameter butiran yang semakin membesar.
3. Untuk nilai energi impact akibat pengaruh suhu 750°C, 850°C dan 950°C mengalami kenaikan energi impact. Dimana energi impact terbesar terdapat pada suhu 950°C. Hal ini disebabkan pada suhu ini bersifat ulet, berbeda dengan pada suhu 850°C yang mengalami penurunan karena sifat dari plat pada suhu 850°C ini bersifat getas. Dimana nilai kekuatan tarik berbanding terbalik dengan nilai regangan. Dari regangan ini dapat dilihat keuletan material, semakin besar nilai regangan maka keuletan semakin besar. Perbedaan keuletan akibat pengaruh suhu ini dapat dilihat dari nilai regangan masing-masing plat setiap pengaruh suhu.
4. Untuk nilai energi impact akibat pengaruh antara *holding time* 120 menit dengan *holding time* 240 menit mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan pengaruh nilai regangan rendah pada *holding time* 120 dibandingkan pada *holding time* 240 menit sehingga nilai impact membesar, hal ini disebabkan sifat getas dari plat tersebut.
5. Untuk nilai *Fracture Toughness* (ketangguhan patah) akibat pengaruh suhu 750°C, 850°C dan 950°C mengalami kenaikan nilai *Fracture Toughness* tetapi pada suhu 850°C mengalami penurunan nilai *Fracture Toughness* dan dilanjutkan dengan kenaikan pada suhu 950°C. Dimana nilai *Fracture Toughness* tergantung dari nilai tegangan luluh dan nilai impact.

6. Untuk nilai *Fracture Toughness* (ketangguhan patah) akibat pengaruh *holding time* 120 menit dengan *holding time* 240 menit mengalami penurunan nilai *Fracture Toughness* tetapi pada suhu 850°C *holding time* 240 menit mengalami penurunan nilai *Fracture Toughness* dan dilanjutkan dengan kenaikan pada suhu 950°C *holding time* 240 menit. Dimana nilai *Fracture Toughness* tergantung dari nilai tegangan luluh dan nilai impact.
7. Untuk hubungan kekuatan tarik, kekuatan impact dan nilai ketangguhan patah bahwa jika nilai kekuatan tarik semakin besar maka nilai energi impact semakin kecil. Untuk nilai ketangguhan patah berpengaruh terhadap nilai tegangan luluh dan nilai energi impact. Semakin besar tegangan luluh maka ketangguhan patah semakin besar, tetapi nilai ketangguhan patah juga dipengaruhi oleh energi impact.
8. Material baja karbon yang terkena panas akibat kebakaran dan juga proses pendinginan cepat masih bisa dilakukan perbaikan pada batasan-batasan tertentu. Dari hasil semua penelitian maka plat nomor 1 (tanpa perlakuan) mempunyai nilai ketangguhan yang paling bagus. Untuk material pada suhu 750°C dan 850°C memiliki nilai impact sesuai syarat minimal Lloyd's Register yaitu minimal 125 Joule dan juga memiliki nilai kekuatan yang bagus tetapi untuk hasil regangan masih dibawah syarat regangan ASTM yaitu 23%. Dari hasil semua penelitian dan dibandingkan dengan plat nomor 1 (tanpa perlakuan), maka plat nomor 6 (suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit) dan plat nomor 7 (suhu 950°C dengan *holding time* 240 menit) memiliki nilai ketangguhan yang masih bagus dibandingkan plat nomor 1 walaupun untuk nilai regangan lebih kecil dibanding plat nomor 1 tetapi masih memenuhi syarat minimal regangan ASTM yaitu 23%. Jadi pada suhu 950°C, material masih dapat digunakan, akan tetapi masih banyak aspek yang perlu dipertimbangkan seperti laju korosi akibat suhuan *quenching*.

V.2 Saran

1. Pada penulisan Tugas Akhir ini dapat dikembangkan lebih lanjut tentang masalah variasi suhu serta *quenching* untuk kekerasan material terhadap nilai ketangguhannya.
2. Pada penulisan Tugas Akhir ini dapat dikembangkan lebih lanjut tentang masalah kadar karbon material terhadap nilai ketangguhannya.
3. Pada penulisan Tugas Akhir ini dapat dikembangkan lebih lanjut tentang masalah variasi waktu *quenching* dan laju korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Committee. (1991). *ASM Handbook Volume 1-Properties and Selection-Ferrous*. Ohio: American Society for Metals.
- ASM Handbook Committee. (1991). *ASM Handbook Volume 4-Heat Treating*. Ohio: American Society for Metals.
- ASM Handbook Committee. (1991). *ASM Handbook Volume 8-Mechanical Testing and Evaluation*. Ohio: American Society for Metals.
- ASTM.A36. (2004). *Standard Specification of Carbon Structural Steel*. New York: American Society for Testing and Materials.
- ASTM.D1141. (2003). *Standard Practice for Preparation of Substitue Ocean Water*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM.E8. (2004). *Standart Test Methods for Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM.E112. (2004). *Standart Test Methods for Detairmining Average Grain Size*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- Baihaqi, I. (2014). Tesis. *Studi Metode Perbaikan Konstruksi Lambung Kapal Pasca Kebakaran*. Surabaya: Jurusan Teknik Produksi dan Material Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Biro Klasifikasi Indonesia Volume V. (2012). *Rules for Materials*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Dieter, George. E. (1988). *Mechanical Metallurgy (SI Metric ed./adapted by David Bacon)*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Donald. (2014). Undergraduate Thesis. *Studi Eksperimen Pengaruh Quenching terhadap Kekuatan dan Struktur Mikro pada Sambungan Plat ASTM A36*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Futichah, Siswosuwarno, M, Wuryanto. Peningkatan Unjuk Kerja *Zircalloy-4* sebagai Kelongsong Bahan Bakar Nuklir melalui Proses Penghalusan Butir dengan Cara Regng-Anil. *Prosiding Pertemuan Ilmu Sains Materi 1997*, (125-128). Indonesia.
- Irvansyah, S. (2014). Undergraduate Thesis. *Analisa Pengaruh Aplikasi PreHeat dan Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Pengelasan Baja Karbon A36 Menggunakan Backing Material dengan Metode FCAW terhadap sifat Mekanik dan Metalurgi*. Surabaya:

- Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- KNKT. (2014). *Laporan Investigasi Kecelakaan Peayaran Kebakaran KM. Pramudita*. Jakarta: Komite Nasional Keselamatan Transportasi.
- KNKT. (2009, Desember 31). *Rekapitulasi Kecelakaan Kapal bulan Januari 2009 sampai dengan Desember 2009*. Diambil Januari 26, 2016, dari web site KNKT: http://kemhubri.dephub.go.id/knkt/ntsc_maritime/maritime.htm
- Llyod's Register (LR). (July, 2009). Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials. *Rulefinder Version.9.12*
- Suhartono, A.H (2004). Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Kuat Fatik Baja : Simulasi dan Eksperimen. *Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi 2005*, (21-32). Serpong, Indonesia.
- Surdia, T. and Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Smith, C.I., Kirby, B.R., Lapwood, D.G., Cole, K.J., Cunningham, A.P., Preston, R.R. (1981). The Resistatement of Fire Damaged Steel Framed Structures. *Fire Safety Jurnal*, 4, 21-62.
- Sumbayak, C.L. (2015). Tugas Akhir. *Studi Ekspserimen Pengaruh Quenching dan Struktur Mikro pada Plat Baja AISI 1045*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Taucher, S. (1981). *The Correlation of Fracture Toughness With Charpt V-Notch Impact Test Data*. New Jersey: Benet Weapons Laboratory.
- Trigondo, L. (2011). Tugas Akhir. *Pengaruh Temperature Canai Hangat Multi Pass dan Waktu Tahan terhadap Kekerasan, Struktur Mikro dan Besar Butir Baja Karbon Rendah*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

A. Proses *Quenching*

1. Furnace Naber N11-64351



2. Air Laut



3. Pendinginan cepat/*Quenching*



4. Plat tanpa perlakuan dan plat dengan perlakuan *quenching*



B. Proses Pengujian

1. Spesimen Uji Tarik



2. Spesimen Uji Impak



3. Spesimen Struktur Mikro



4. Mesin Uji Tarik



5. Mesin Uji Impak



6. Alat Polishing



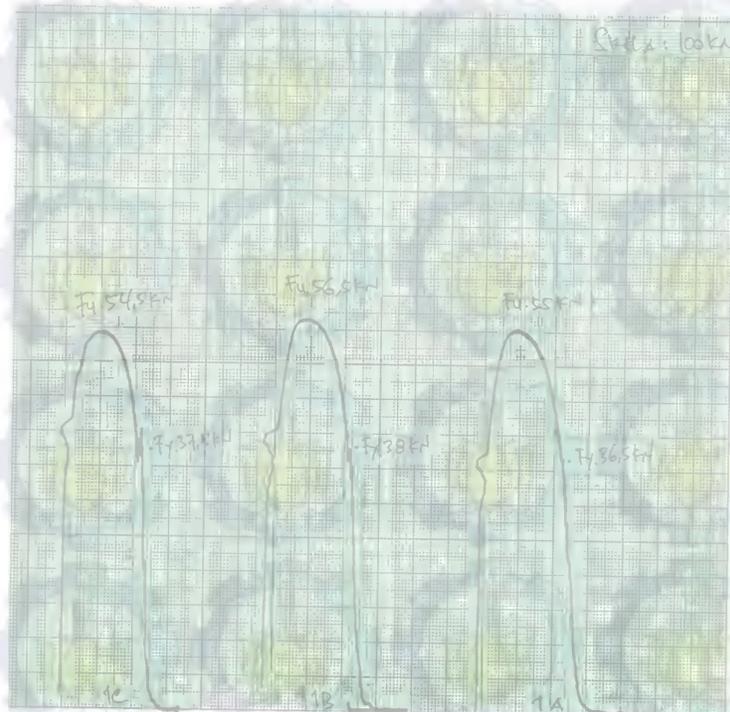
7. Mikroskop Optik



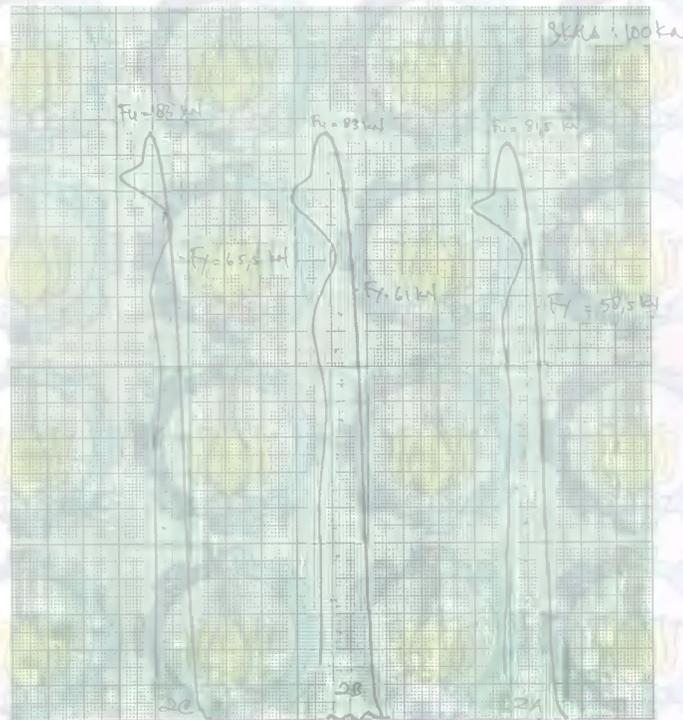
C. Hasil Pengujian Tarik

1. Grafik Hasil Pengujian Tarik

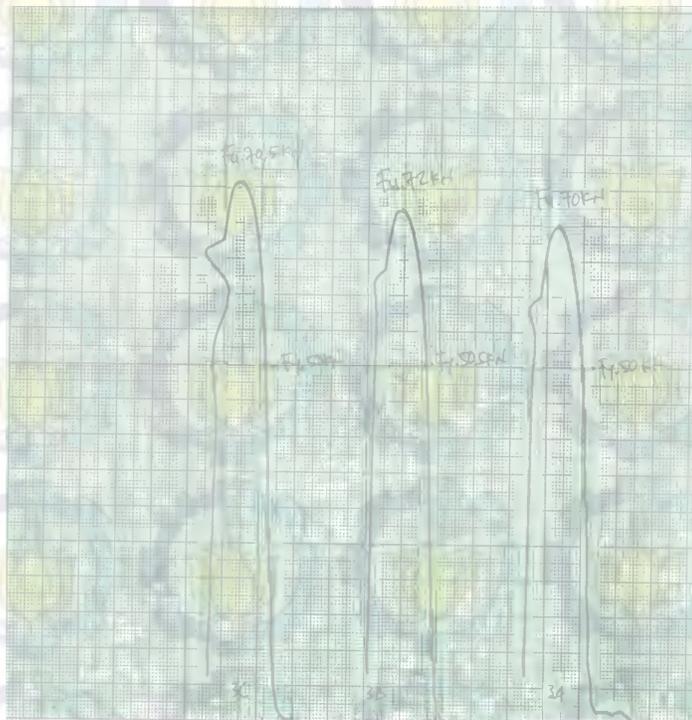
a. Tanpa Perlakuan



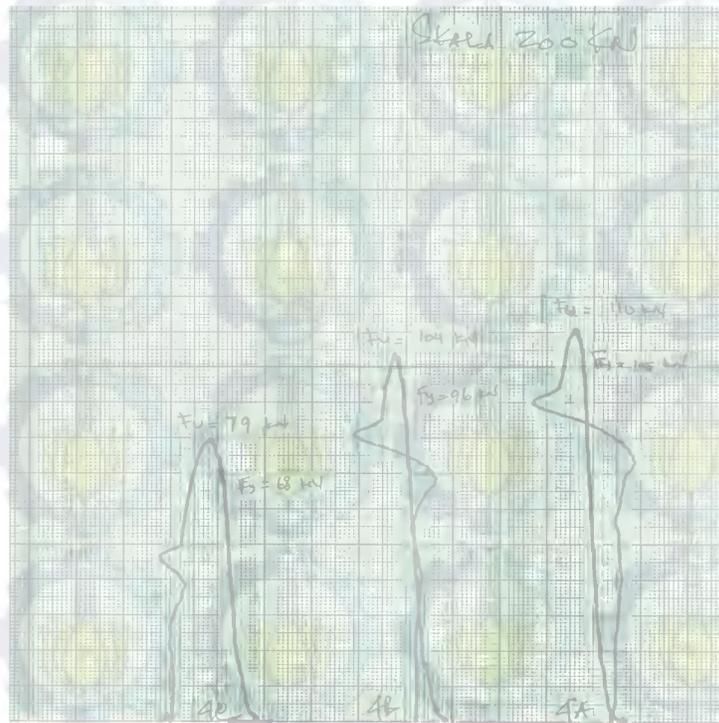
b. Perlakuan 750°C dengan *holding time* 120 menit



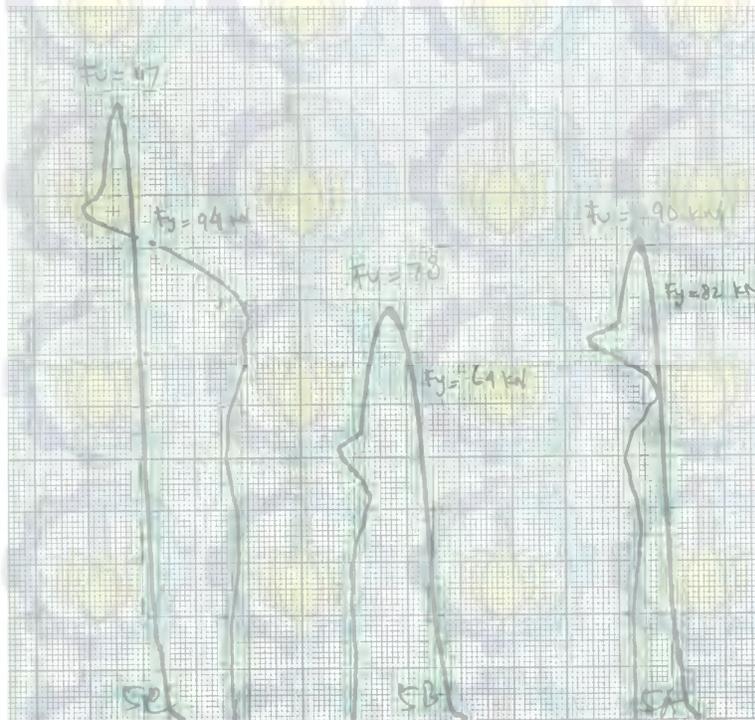
c. Perlakuan 750°C dengan *holding time* 240 menit



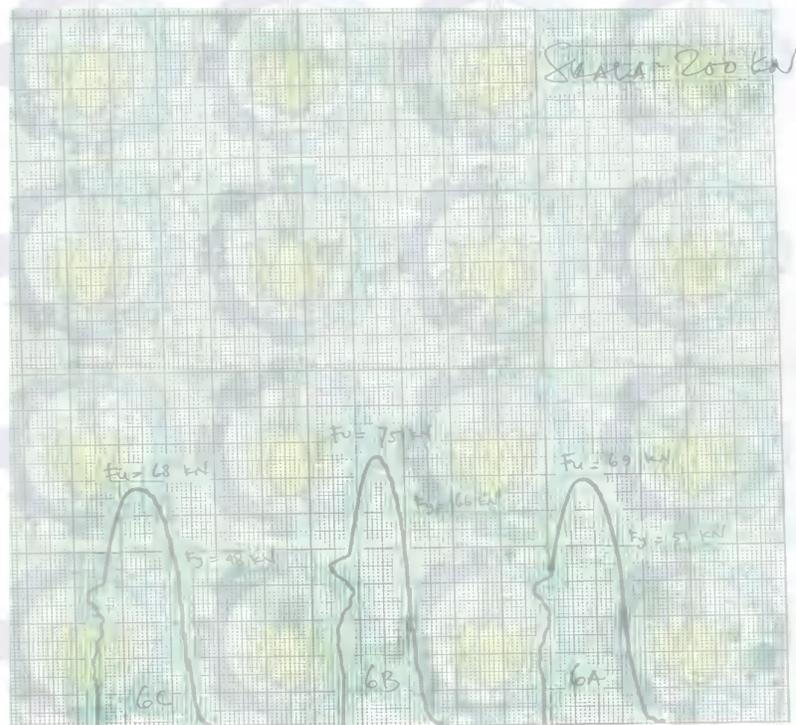
d. Perlakuan 850°C dengan *holding time* 120 menit



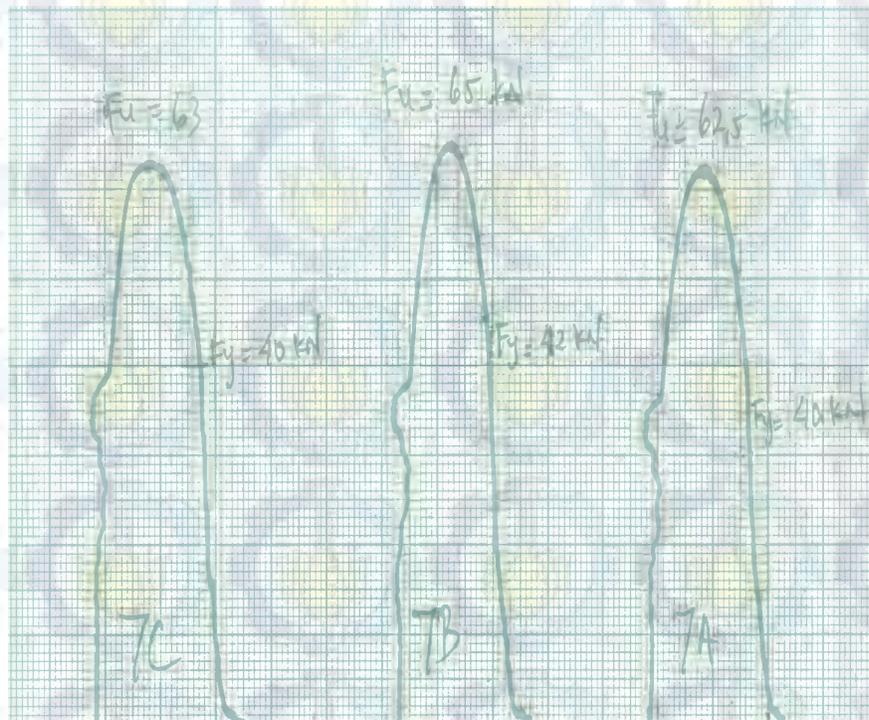
e. Perlakuan 850°C dengan *holding time* 240 menit



f. Perlakuan 950°C dengan *holding time* 120 menit



g. Perlakuan 950°C dengan *holding time* 240 menit



D. Data Hasil Uji Tarik

No Pelat	Perlakuan	Kode	Lebar (mm)	Tebal (mm)	CSA (mm ²)	Lo (mm)	Lg (mm)	Fu (kN)	Fy (kN)	Lt (mm)	Bt (mm)	tl (mm)	Csa; (mm ²)	Ultimate Tensile Strength (Mpa)	Ultimate Tensile Strength rata-rata (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Yield Strength rata-rata (Mpa)	elongasi (%)	elongasi (%)
1	tanpa perlakuan	1 A	12,37	9,84	121,72	51,00	57,30	55	36,5	67,72	7,58	5,94	45,03	451,85		299,87		32,78	
		1 B	12,25	9,85	120,66	51,00	56,55	56,5	38	68,22	7,64	5,42	41,41	468,25	457,35	314,95	308,59	33,76	53,18
		1 C	12,28	9,82	120,59	51,00	56,02	54,5	37,5	67,82	8,06	5,64	45,46	451,95		310,97		32,98	
2	Oven suhu 750°C	2 A	12,09	9,45	114,01	51,00	58,01	81,5	58,5	62,15	10,17	7,33	73,53	714,86		513,12		21,86	
		2 B	12,36	9,45	116,55	51,00	57,94	83	61	61,75	10,28	6,92	71,14	712,11	716,69	523,36	355,71	21,08	19,51
		2 C	12,25	9,37	114,78	51,00	57,73	83	65,5	58,95	10,43	7,94	82,81	723,11		570,64		15,59	
3	Oven suhu 750°C	3 A	12,17	9,72	118,29	51,00	59,21	70,5	30	62,32	9,36	6,13	57,38	595,98		422,68		22,59	
		3 B	13,53	9,81	122,92	51,00	59,83	72	50,5	63,16	9,59	7,09	67,99	585,75	588,44	410,84	416,79	23,84	22,42
		3 C	12,29	9,76	119,95	51,00	58,48	70	30	61,62	9,87	6,74	66,32	583,57		416,84		20,82	
4	Oven suhu 550°C	4 A	12,21	9,36	114,29	51,00	55,87	110	105	55,72	9,66	7,10	68,39	962,50		918,75		9,25	
		4 B	12,09	9,36	113,16	51,00	56,70	104	96	55,61	9,63	6,30	62,60	919,05	867,08	848,34	795,52	9,04	12,42
		4 C	11,74	9,35	109,77	51,00	59,21	79	68	60,68	7,58	4,97	37,67	719,69		619,48		18,98	
5	Oven suhu 550°C	5 A	12,05	9,29	111,94	51,00	58,83	90	82	57,71	9,33	6,43	59,99	803,97		732,51		13,16	
		5 B	12,02	9,33	112,15	51,00	59,11	78	64	61,19	7,75	5,05	39,14	695,52	844,96	570,68	711,68	19,98	13,95
		5 C	12,19	9,27	113,00	51,00	57,69	117	94	55,45	9,82	7,37	74,34	1033,39		831,85		8,73	
6	Oven suhu 950°C	6 A	12,32	9,23	115,71	51,00	56,93	69	51	63,69	7,34	5,15	37,80	606,79		448,50		24,88	
		6 B	12,36	9,25	114,33	51,00	56,73	75	66	60,98	7,71	5,03	38,78	656,00	622,22	577,28	484,01	19,57	24,10
		6 C	12,28	9,17	112,61	51,00	58,04	68	48	65,21	7,34	4,71	34,57	603,87		426,26		27,86	
7	Oven suhu 950°C	7 A	11,71	9,21	107,85	51,00	58,37	62,5	40	63,36	6,78	4,65	31,33	579,51		370,89		24,24	
		7 B	11,87	9,10	108,02	51,00	58,95	65	42	63,05	6,86	5,39	36,98	601,76	590,16	388,83	377,94	23,63	25,11
		7 C	11,75	9,10	106,93	51,00	59,39	63	40	65,01	7,12	5,15	36,67	589,20		374,09		27,47	

E. Data Pengujian Impak

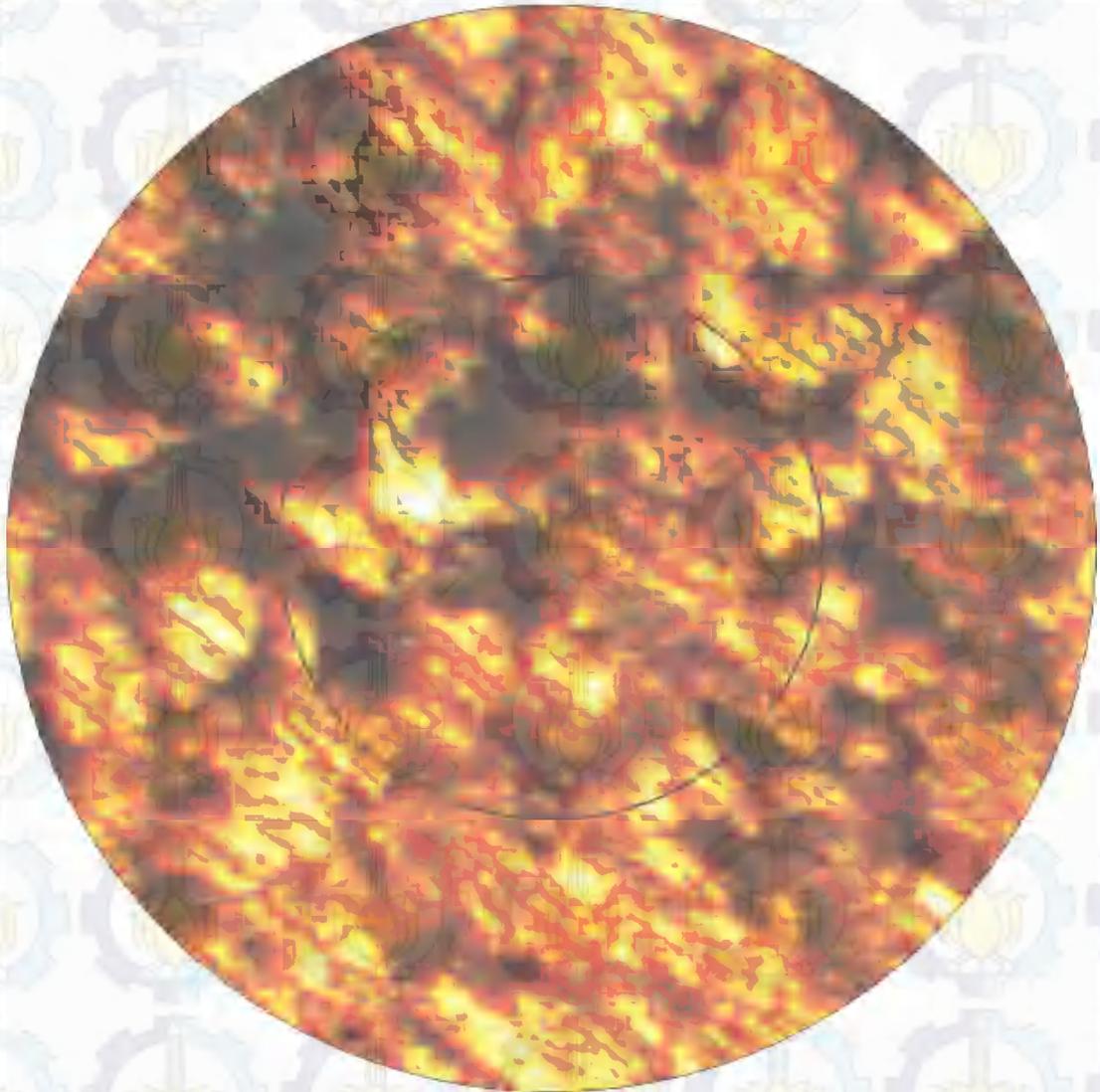
No Pelat	Perlakuan	Kode Pelat	Bo (mm)	Bt (mm)	Lateral Expansion (mils)	Energi (Joule)	Energi (rata-rata) (Joule)	Faktor Perubahan Energi	I (kuat Impact) (Joule/mm ²)	I rata-rata (Joule/mm ²)	Faktor Perubahan I
1	tanpa perlakuan	1A	7.61	10.09	97.64	128.0	129.67	1.00	1.68	1.71	1.00
		1B	7.60	9.82	87.40	131.0					
		1C	7.48	10.11	103.54	130.0					
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	2A	7.67	8.43	29.92	58.0	105.00	0.810	0.76	1.38	0.807
		2B	7.52	10.36	111.81	128.0					
		2C	7.61	9.88	89.37	129.0					
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	3A	7.38	9.48	82.68	122.5	126.17	0.973	1.66	1.68	0.980
		3B	7.51	9.82	90.94	128.0					
		3C	7.63	9.59	77.17	128.0					
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	4A	7.69	7.82	5.12	48.5	37.50	0.289	0.63	0.50	0.290
		4B	7.19	7.53	13.39	15.0					
		4C	7.52	8.19	26.38	49.0					
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	5A	6.63	7.86	48.43	51.0	40.00	0.308	0.77	0.57	0.331
		5B	7.05	7.78	28.74	29.0					
		5C	7.63	8.51	34.65	40.0					
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	6A	7.33	9.91	101.57	131.0	130.00	1.003	1.79	1.73	1.009
		6B	7.56	10.03	97.24	131.0					
		6C	7.67	10.30	103.54	128.0					
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	7A	7.49	9.64	84.65	135.0	133.33	1.028	1.80	1.77	1.034
		7B	7.61	9.36	68.90	130.0					
		7C	7.47	9.67	86.61	135.0					

F. Data Fracture Toughness

No Pelat	Perlakuan	Kode Pelat	Energi (Joule)	CVN (lb-ft)	Yield Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Yield Strength rata-rata (Mpa)	Yield Strength (ksi)	Yield Strength rata-rata (ksi)	K _{IC} (ksi in ^{0.5})	K _{IC} rata-rata (ksi in ^{0.5})	Faktor Perubahan K _{IC}
1	tanpa perlakuan	1A	128.0	94.5	301.08	308.99	43.67	141.95	44.82	141.95	144.71	1
		1B	131.0	96.7	314.93	45.68	146.83					
		1C	130.0	95.9	310.97	45.10	145.35					
2	Oven suhu 750°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	2A	58.0	42.8	513.12	535.71	74.42	120.59	77.70	120.59	166.74	1.152
		2B	128.0	94.5	523.36	75.91	185.50					
		2C	129.0	95.2	570.64	82.76	194.12					
3	Oven suhu 750°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	3A	122.5	90.4	422.68	416.79	61.30	163.62	60.45	163.62	164.99	1.140
		3B	128.0	94.5	410.84	59.59	165.10					
		3C	128.0	94.5	416.84	60.46	166.26					
4	Oven suhu 850°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	4A	48.5	35.8	918.75	795.52	133.25	139.31	115.38	139.31	104.53	0.722
		4B	15.0	11.1	848.34	123.04	55.00					
		4C	49.0	36.2	619.48	89.85	119.28					
5	Oven suhu 850°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	5A	51.0	37.6	732.51	711.68	106.24	131.04	103.22	131.04	111.53	0.771
		5B	29.0	21.4	570.68	82.77	84.53					
		5C	40.0	29.5	831.85	120.65	119.03					
6	Oven suhu 950°C Holding time 120 menit Quenching 30 menit	6A	131.0	96.7	448.50	484.01	65.05	174.32	70.20	174.32	179.72	1.242
		6B	131.0	96.7	577.28	83.73	196.77					
		6C	128.0	94.5	426.26	61.82	168.06					
7	Oven suhu 950°C Holding time 240 menit Quenching 30 menit	7A	135.0	99.6	370.89	377.94	53.79	161.47	54.82	161.47	161.89	1.119
		7B	130.0	95.9	388.83	56.39	162.04					
		7C	135.0	99.6	374.09	54.26	162.15					

G. Perhitungan Diameter Butir Struktur Mikro

1. Contoh perhitungan di Stuktur Mikro Tanpa Perlakuan (x100).



n_1 = Jumlah butir didalam lingkaran

n_1 = 90

n_2 = Jumlah butir menyinggung lingkaran

n_2 = 28

M = Pembesaran

M = 100

f = factor pengali pada table Jefferies

f = 2

N_A = Jumlah butir

N_A = $f \cdot (n_1 + n_2/2)$

N_A = $2 \cdot (90 + 28/2)$

N_A = 208

G = Grain Size

G = $[3.21928 (\log NA) - 2.954]$

G = 4.508

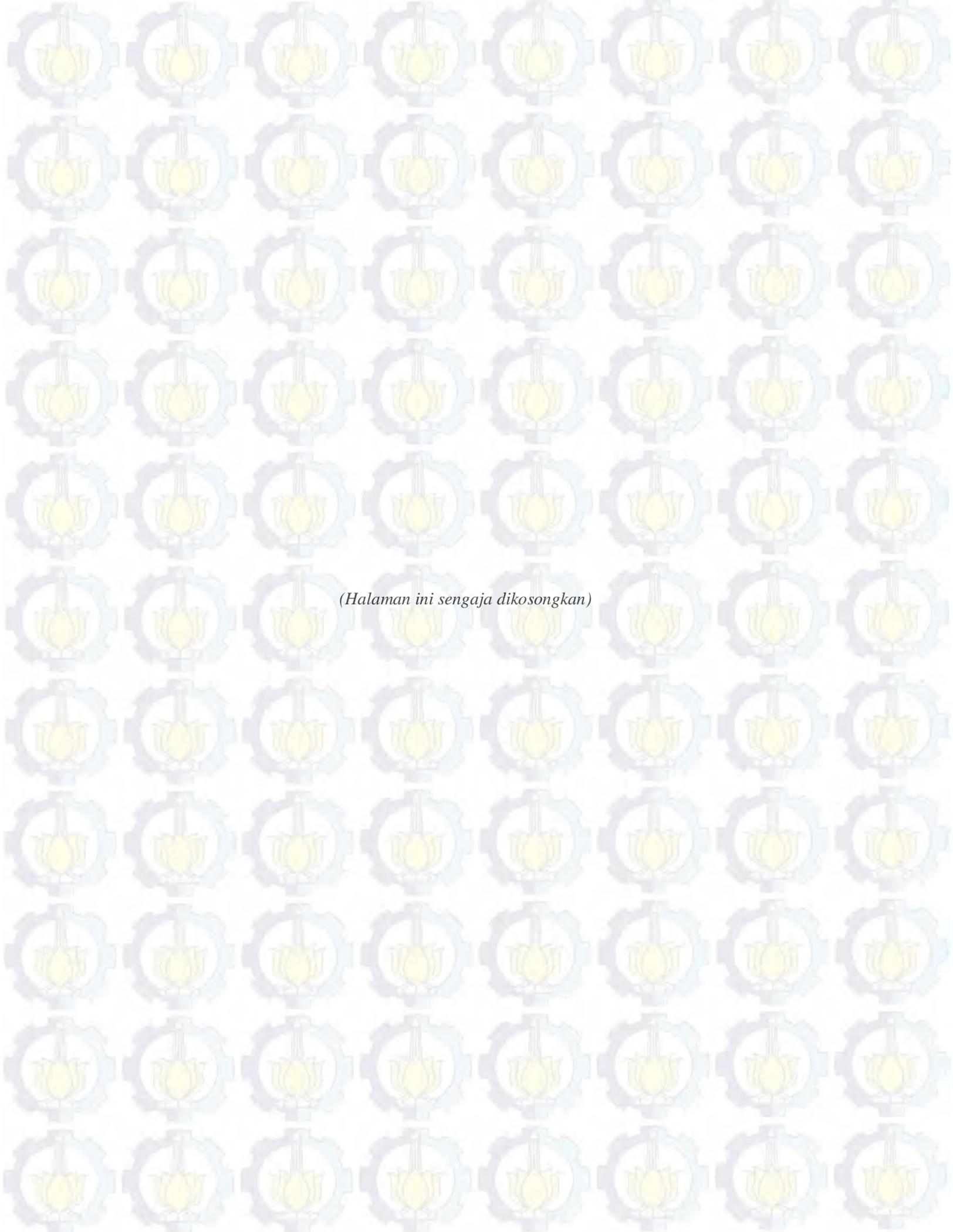
2. Data Ukuran Butir dari ASTM E112-98

ASTM E 112 – 96 ϵ 2
TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{D} Average Diameter		$\bar{\tau}$ Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm^2	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	48620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1706	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.09806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.06403	4032	0.0636	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1068	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	358	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0050	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89795.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

3. Data Hasil Pengukuran Butir Struktur Mikro

No Pelat	Perlakuan	M	f	n1	n2	NA	G	G1	G2	d1 (µm)	d2 (µm)	d (µm)
1	tanpa perlakuan	100	2	90	28	208	4.508	4.5	5.0	75.5	63.5	75.296
2	Oven suhu 750°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	100	2	165	39	369	5.310	5.0	5.5	63.5	53.4	57.238
3	Oven suhu 750°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	100	2	144	38	326	5.137	5.0	5.5	63.5	53.4	60.738
4	Oven suhu 850°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	100	2	239	53	531	5.819	5.5	6.0	53.4	44.9	47.980
5	Oven suhu 850°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	100	2	219	38	476	5.666	5.5	6.0	53.4	44.9	50.579
6	Oven suhu 950°C Holding Time 120 menit Quenching 30 menit	100	2	154	38	346	5.220	5.0	5.5	63.5	53.4	59.056
7	Oven suhu 950°C Holding Time 240 menit Quenching 30 menit	100	2	124	35	283	4.939	4.5	5.0	75.5	63.5	64.964



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Sucipto Riady Limbong adalah pria kelahiran Pematangsiantar, 11 Agustus 1991, penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Sebelum tercatat sebagai mahasiswa Teknik Perkapalan 2009 dengan NRP 4109100065 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN), penulis menempuh pendidikan formal di TK Kemala Bhayangkari Pematangsiantar (1996-1997), SD Methodist Pematangsiantar (1997-2003), SMP Methodist Pematangsiantar (2003-2006) dan SMAN 3 Pematangsiantar (2006-2009).

Selama menjadi mahasiswa ITS di jurusan Teknik Perkapalan, penulis mengambil Bidang Rekayasa Perkapalan yang berfokus pada Konstruksi dan Kekuatan. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa baik didalam kampus maupun diluar kampus. Adapun kegiatan didalam kampus yang diikuti yaitu sebagai staff dalam Dirjen Informasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan-ITS periode 2010-2011. Selain didalam kampus, penulis juga aktif dalam kegiatan diluar kampus, seperti : Wakil Ketua Mahasiswa Bona Pasogit (MBP) periode 2011-2012, Kepala Departemen Pendidikan Kaderisasi dan Kerohanian Gerakan Mahasiswa Kristen Indonesia (GMKI) cabang Surabaya periode 2011-2012, Ketua Bidang Pendidikan Kaderisasi dan Kerohanian Gerakan Mahasiswa Kristen Indonesia (GMKI) cabang Surabaya periode 2012-2013. Untuk memenuhi persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik, penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “Analisa Material ASTM A36 akibat Pengaruh Suhu dan *Quenching* terhadap Nilai Ketangguhannya”.

Email : suciptolimbong@gmail.com