

**UPAYA PERBAIKAN SIFAT MEKANIK BAJA PLAT JOIN G  
3131 SPHC MELALUI SIMULASI PROSES *INTERCRITICAL*  
*ANNEALING* DI INDUSTRI KONSTRUKSI BAJA**

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari  
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Imam Nur Fathoni  
3334180050

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON – BANTEN  
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

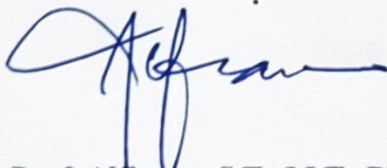
**UPAYA PERBAIKAN SIFAT MEKANIK BAJA PLAT JOIN G  
3131 SPHC MELALUI SIMULASI PROSES *INTERCRITICAL*  
*ANNEALING* DI INDUSTRI KONSTRUKSI BAJA**

**SKRIPSI**

Disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

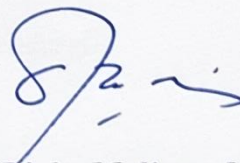
Disetujui oleh Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



**Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 19740629200312100

Pembimbing II



**Ir. Djoko Muljono, M.E., M.M.**

LEMBAR PERSETUJUAN

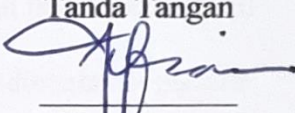
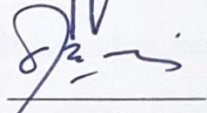
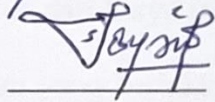
**UPAYA PERBAIKAN SIFAT MEKANIK BAJA PLAT JOIN G  
3131 SPHC MELALUI SIMULASI PROSES *INTERCRITICAL*  
*ANNEALING* DI INDUSTRI KONSTRUKSI BAJA**

Disusun oleh:

**Imam Nur Fathoni**

**3334180050**

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 19 Juni 2023

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.	
Penguji II	: Ir. Djoko Muljono, M.E., M.M.	
Penguji III	: Suryana, S.T., M.Si.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



**Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.**

NIP. 197804102003121001



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Upaya Perbaikan Sifat Mekanik Baja Plat Join G3131  
SPHC Melalui Simulasi Proses *Intercritical Annealing* di  
Industri Konstruksi Baja

Nama Mahasiswa : Imam Nur Fathoni

NIM : 3334180050

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh dari karya ini bukanlah karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, 5 Maret 2023



**IMAM NUR FATHONI**  
**NIM. 3334180050**

## ABSTRAK

Salah satu perusahaan yang memproduksi baja SPHC di Indonesia adalah PT Krakatau Steel. Baja SPHC digunakan sebagai bahan baku untuk aplikasi berbagai produk hilir baja. Fasilitas *hot strip mill* milik PT Krakatau Steel saat ini telah berhasil memproduksi baja dengan kualitas JIS G 3131 *grade* SPHC yang setara dengan JIS G 3101 SS330. Pada proses *hot strip mill* tersebut akan dihasilkan sisa potongan lembaran baja yang disebut *scrap*. Limbah *scrap* sisa potongan dari lembaran baja SPHC biasanya diolah kembali sebagai bahan peleburan ulang, sehingga pengolahan *scrap* tersebut dianggap kurang ekonomis. *Intercritical annealing* merupakan metode perlakuan panas, menghasilkan baja fasa ganda yang mempunyai hubungan kekuatan-keuletan yang mempunyai fungsi lebih baik untuk baja karbon rendah. Penelitian dilakukan mulai dari tahapan preparasi sampel sesuai dengan standar uji tarik JIS Z 2201 No. 5 yang dilanjutkan dengan proses perlakuan panas dan diakhiri dengan pengujian untuk mengetahui sifat karakteristik dari baja hasil perlakuan panas tersebut. Nilai rata-rata kuat tarik yang diperoleh sebesar 573 Mpa dengan capaian persentase kenaikan hingga 76,85% dari kekuatan baja sebelum dilakukan proses *intercritical annealing*, dari yang semulanya memiliki kuat luluh (*yield strength*) 249 MPa pada bahan *non-heat treatment* kemudian mengalami kenaikan dengan nilai rata-rata 421 MPa. Melalui proses *intercritical annealing* akan menghasilkan baja fasa ganda. Fasa yang terbentuk pada baja fasa ganda ini yaitu ferit dan martensit. Semakin tinggi temperatur anil (*anneal*) dan waktu tahan (*holding time*) anil akan memperbanyak fasa martensit yang terbentuk, serta memperbesar butir austenit dan ferit yang terbentuk saat pemanasan. Nilai optimal yang didapat pada baja hasil proses *intercritical annealing* dilakukan pada temperatur 750°C dengan durasi penahanan selama 15 menit. Nilai optimal yang dihasilkan yaitu nilai kuat tarik 625 MPa dengan elongasi 23% dengan kombinasi kuat luluh mencapai 434 MPa yang secara standar masuk pada JIS G 3101 SS400. Presentase kenaikan kuat tarik yang diperoleh mencapai 92,90%, sedangkan presentase kenaikan kuat luluh mencapai 74,29%. Pada nilai optimal didapatkan nilai K dan n masing-masing 0,280466778 dan 0,6905 dengan energi aktivasi (Q) sebesar 12,4268517 J/mol dengan nilai A senilai 1,002904209.

**Kata Kunci:** Baja SPHC, Perlakuan Panas, Baja Fasa Ganda, *Intercritical Annealing*, *Tensile Strength*, dan *Yield Strength*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT berkat rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Upaya Perbaikan Sifat Mekanik Baja Plat Joint G 3131 SPHC Melalui Simulasi Proses *Intercritical Annealing* di Industri Konstruksi Baja”. Penulis menyadari dalam proses penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan sekaligus Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi FT Untirta.
2. Bapak Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing pertama pada pembuatan dan pelaksanaan skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Djoko Muljono, M.E., M.M. selaku Dosen Pembimbing kedua pada pembuatan dan pelaksanaan skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Metalurgi FT UNTIRTA yang telah memberikan banyak ilmunya kepada penulis.
5. Orang tua penulis yaitu Bapak Karmuji, S.P. dan Ibu Endang Sulistiyowati atas do'a, kasih sayang, serta dukungan baik moril maupun materil.

6. Saudara-saudara penulis yaitu Nur Fajri Ilhamuddin, Abdullah Mushlih Fahrizal Maulana, dan Hafidzan Ghaizan Arsyad Athallah, Serta pasangan penulis yaitu Ika Wulandari yang selalu memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
7. Segenap karyawan PT Krakatau Baja Konstruksi khususnya Bapak Agis Priyatna, S.T. dan karyawan PT Krakatau Steel khususnya Bapak M. Kamal Ihsan, S.T. atas arahan dan bantuannya.
8. Keluarga besar Teknik Metalurgi Untirta, khususnya teman-teman seperjuangan angkatan 2018 atas semua dukungan, bantuan, semangat, serta kerjasamanya.
9. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, dengan bantuannya kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis terbuka terhadap saran, koreksi, dan tanggapan untuk perbaikan berikutnya. Akhir kata, penulis berharap hasil penelitian ini nantinya dapat bermanfaat dan memberikan ilmu bagi seluruh pembaca.

Cilegon, 5 Februari 2023

Imam Nur Fathoni

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>Bab I Pendahuluan.....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Identifikasi Masalah.....	6
1.3    Tujuan Penelitian.....	7
1.4    Batasan Masalah.....	7
1.5    Sistematika Penulisan.....	8
<b>Bab II Tinjauan Pustaka .....</b>	<b>9</b>
2.1    Baja Karbon Rendah .....	9
2.1.1    Baja SPHC .....	10
2.2    Baja Struktural .....	11
2.2.1    JIS G 3101 SS400 .....	12
2.3 <i>Intercritical Annealing</i> .....	13



2.4	Perlakuan Panas .....	16
2.4.1	Diagram Transformasi Isotermal.....	19
2.5	Kinetika Pertumbuhan Butir .....	20
2.6	Pengujian Tarik .....	23
<b>Bab III Metode Penelitian .....</b>		<b>25</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2	Alat dan Bahan.....	26
3.2.1	Alat-alat yang Digunakan .....	26
3.2.2	Bahan- bahan yang Digunakan .....	27
3.3	Prosedur Penelitian.....	28
3.3.1	Preparasi Sampel.....	28
3.3.2	Kode Sampel.....	28
3.3.3	Proses Perlakuan Panas <i>Intercritical Annealing</i> .....	29
3.3.4	Proses Pendinginan Cepat ( <i>Quenching</i> ).....	30
3.3.5	Karakterisasi dan Pengujian Sampel.....	30
<b>Bab IV Hasil dan Pembahasan .....</b>		<b>32</b>
4.1	Data Hasil Karakterisasi.....	32
4.1.1	Data Hasil Karakterisasi Awal.....	32
4.1.2	Data Hasil Struktur Mikro.....	34
4.1.3	Data Hasil Perhitungan Fraksi Volume Martensit.....	39
4.1.4	Data Hasil Pengujian Tarik .....	39
4.1.5	Data Hasil Perhitungan Ukuran Butir .....	40
4.2	Pembahasan.....	41

4.2.1	Pengaruh Proses <i>Intercritical Annealing</i> terhadap Struktur Mikro.....	41
4.2.1.1	Pengaruh Temperatur <i>Annealing</i> terhadap Fraksi Volume Martensit.....	42
4.2.1.2	Pengaruh Waktu Tahan <i>Annealing</i> terhadap Fraksi Volume Martensit.....	43
4.2.2	Pengaruh Proses <i>Intercritical Annealing</i> terhadap Sifat Mekanik.....	45
4.2.2.1	Pengaruh Temperatur <i>Annealing</i> terhadap Sifat Mekanik.....	47
4.2.2.2	Pengaruh Waktu Tahan <i>Annealing</i> terhadap Sifat Mekanik.....	50
4.2.3	Kinetika Pertumbuhan Austenit pada Proses <i>Intercritical Annealing</i> .....	51
4.2.4	Perbandingan Hasil sifat mekanik Proses <i>Intercritical Annealing</i> dengan penelitian sebelumnya.....	57
	<b>Bab V Kesimpulan dan Saran.....</b>	<b>59</b>
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran.....	60
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>64</b>
	Lampiran A. Contoh perhitungan.....	65
	Lampiran B. Data Penelitian .....	76
	Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan .....	85

## DAFTAR TABEL

		<b>Halaman</b>
Tabel 2. 1	Simbol Grade JIS G 3101 (JIS, 2015).....	12
Tabel 2. 2	Komposisi Kimia (JIS, 2015).....	12
Tabel 2. 3	Banyaknya kebutuhan baja sesuai standar. ....	12
Tabel 3. 1	Kode Sampel Penelitian. ....	29
Tabel 4. 1	Data Hasil Uji Komposisi. ....	32
Tabel 4. 2	Data Perhitungan Fraksi Volume Martensit. ....	39
Tabel 4. 3	Data Hasil Pengujian Tarik. ....	40
Tabel 4. 4	Data Hasil Perhitungan Butir. ....	40
Tabel 4. 5	Pengukuran Fraksi Volume Austenit dan Perhitungan Harga n dan K.....	55
Tabel 4. 6	Hubungan antara ln K dengan 1/T. ....	56
Tabel A. 1	Komposisi Kimia Sampel. ....	65
Tabel A. 2	Perhitungan Ukuran Butir .....	67
Tabel A. 3	Hubungan antara ln t dan $\ln \left[ \ln \left( 1 / \left( 1 - f_{\gamma} / f_e \right) \right) \right]$ pada Temperatur 750°C.....	72
Tabel A. 4	Hubungan antara ln t dan $\ln \left[ \ln \left( 1 / \left( 1 - f_{\gamma} / f_e \right) \right) \right]$ pada Temperatur 800°C.....	73
Tabel A. 5	Hubungan antara ln t dan $\ln \left[ \ln \left( 1 / \left( 1 - f_{\gamma} / f_e \right) \right) \right]$ pada Temperatur 850°C.....	73
Tabel B. 1	Komposisi Kmia Baja SPHC. ....	76

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2. 1 Hasil Struktur mikro Intercritical Annealing (a) Sebelum <i>Intercritical Annealing</i> ;(b) Setelah <i>Intercritical Annealing</i> (Nikkhah <i>et al.</i> , 2019). .....	15
Gambar 2. 2 Diagram kesetimbangan Fe – Fe <sub>3</sub> C (Gillespie, 2008). .....	17
Gambar 2. 3 CCT Diagram Baja karbon rendah 0,035% C (Avner, 1974). .....	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian. ....	26
Gambar 3. 2 Skema Spesimen Uji Tarik. ....	28
Gambar 3. 3 Skema Proses <i>Intercritical Annealing</i> variasi temperatur dan waktu anil. ....	30
Gambar 4. 1 Struktur Mikro <i>Non-Heat Treatment</i> (a) 200×; (b) 500×. ....	33
Gambar 4. 2 Struktur Mikro hasil <i>Intercritical Annealing</i> (a) sampel 751 200×; (b) sampel 751 500×; (c) sampel 752 200×; (d) sampel 752 500×; (e) sampel 753 200×; (f) sampel 753 500×. ....	36
Gambar 4. 3 Struktur Mikro hasil <i>Intercritical Annealing</i> (a) sampel 801 200×; (b) sampel 801 500×; (c) sampel 802 200×; (d) sampel 802 500×; (e) sampel 803 200×; (f) sampel 803 500×. ....	37
Gambar 4. 4 Struktur Mikro hasil <i>Intercritical Annealing</i> (a) sampel 851 200×; (b) sampel 851 500×; (c) sampel 852 200×; (d) sampel 852 500×; (e) sampel 853 200×; (f) sampel 853 500×. ....	38
Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Temperatur Anil terhadap Volume Martensit. ....	42
Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Waktu Tahan Anil terhadap Volume Martensit. .	44



Gambar 4. 7	Sifat Mekanik sesudah <i>Intercritical Annealing</i> .....	46
Gambar 4. 8	Grafik Pengaruh Temperatur Anil terhadap <i>Tensile Strength</i> .....	47
Gambar 4. 9	Grafik Pengaruh Temperatur Anil terhadap <i>Yield Strength</i> .....	49
Gambar 4. 10	Grafik Pengaruh Waktu Anil terhadap <i>Tensile Strength</i> .....	50
Gambar 4. 11	Ukuran Butir Sampel setelah Proses <i>Intercritical Annealing</i> . ....	52
Gambar 4. 12	Grafik Pengaruh Waktu Anil terhadap Diameter Ukuran Butir. ...	52
Gambar 4. 13	Hubungan $\ln t$ dengan $\ln \left[ \ln \left( 1 / \left( 1 - f_{\gamma} / f_e \right) \right) \right]$ pada tiap temperatur. .....	54
Gambar 4. 14	Grafik hubungan $\ln K$ dengan $1/T$ .....	56
Gambar 4. 15	Grafik perbandingan Hasil proses <i>Intercritical Annealing</i> . ....	58
Gambar A. 1	Garis $A_1$ dan $A_3$ pada Diagram Fasa. ....	66
Gambar A. 2	Diagram $Fe_3C$ .....	68
Gambar B. 1	Skema Spesimen uji Tarik Standar JIS Z 2201 No. 5. ....	77
Gambar B. 2	Sampel NHT 200 $\times$ . ....	79
Gambar B. 3	Sampel NHT 500 $\times$ . ....	79
Gambar B. 4	Sampel 751 200 $\times$ . ....	79
Gambar B. 5	Sampel 751 500 $\times$ . ....	79
Gambar B. 6	Sampel 752 200 $\times$ . ....	79
Gambar B. 7	Sampel 752 500 $\times$ . ....	79
Gambar B. 8	Sampel 753 200 $\times$ . ....	80
Gambar B. 9	Sampel 753 500 $\times$ . ....	80
Gambar B. 10	Sampel 801 200 $\times$ . ....	80
Gambar B. 11	Sampel 801 500 $\times$ . ....	80
Gambar B. 12	Sampel 802 200 $\times$ . ....	80

Gambar B. 13 Sampel 802 500×. ....	80
Gambar B. 14 Sampel 803 200×. ....	81
Gambar B. 15 Sampel 803 500×. ....	81
Gambar B. 16 Sampel 851 200×. ....	81
Gambar B. 17 Sampel 851 500×. ....	81
Gambar B. 18 Sampel 852 200×. ....	81
Gambar B. 19 Sampel 852 500×. ....	81
Gambar B. 20 Sampel 853 200×. ....	82
Gambar B. 21 Sampel 853 500×. ....	82
Gambar B. 22 Fraksi Martensit 751. ....	82
Gambar B. 23 Fraksi Martensit 752. ....	82
Gambar B. 24 Fraksi Martensit 753. ....	82
Gambar B. 25 Fraksi Martensit 801. ....	82
Gambar B. 26 Fraksi Martensit 802. ....	83
Gambar B. 27 Fraksi Martensit 803. ....	83
Gambar B. 28 Fraksi Martensit 851. ....	83
Gambar B. 29 Fraksi Martensit 852. ....	83
Gambar B. 30 Fraksi Martensit 853. ....	83
Gambar C. 1 Ampelas.....	85
Gambar C. 2 Apron.....	85
Gambar C. 3 <i>Hairdryer</i> .....	85
Gambar C. 4 Helm.....	85
Gambar C. 5 Jangka Sorong. ....	85
Gambar C. 6 Mesin <i>Grinding Polishing</i> .....	85

Gambar C. 7	Mesin Potong. ....	85
Gambar C. 8	Mikrometer Skrup. ....	85
Gambar C. 9	Mikroskop Optik. ....	86
Gambar C. 10	<i>Muffle Furnace</i> . ....	86
Gambar C. 11	Penjepit. ....	86
Gambar C. 12	Wadah Sampel. ....	86
Gambar C. 13	<i>Polish wol</i> . ....	86
Gambar C. 14	Sarung Tangan. ....	86
Gambar C. 15	Wadah Media Pendingin. ....	86
Gambar C. 16	Baja SPHC. ....	86
Gambar C. 17	<i>Cleanser</i> . ....	87
Gambar C. 18	Bahan Nital. ....	87
Gambar C. 19	Resin dan <i>Hardener</i> . ....	87

## **Bab I**

### **Pendahuluan**

#### **1.1 Latar Belakang**

Baja SPHC adalah salah satu jenis dari baja karbon rendah yang diproduksi pada industri pembuatan baja yang tergolong sangat melimpah, biasanya digunakan sebagai bahan baku produk baja lain (Gillespie, 2008). Salah satu perusahaan yang memproduksi baja SPHC di Indonesia adalah PT Krakatau Steel. Fasilitas *hot strip mill* milik PT Krakatau Steel (Persero) Tbk saat ini telah berhasil memproduksi baja yang masuk dalam kualitas JIS G 3131 *grade* SPHC yang setara dengan JIS G 3101 SS330. Pada proses *hot strip mill* tersebut akan dihasilkan *scrap* berupa lembaran baja yang disebut *scrap*. *Scrap* tersebut salah satunya berupa *scrap* sisa potongan dari lembaran baja SPHC yang biasanya akan digunakan sebagai bahan peleburan ulang, sehingga pengolahan/pemanfaatan *scrap* tersebut dianggap tidak ekonomis. Upaya peningkatan nilai ekonomis *scrap* ini akan dapat meningkatkan efisiensi produksi baja. Salah satu upayanya adalah sisa potongan tersebut diolah oleh PT Krakatau Baja Konstruksi menjadi produk lain sehingga tercipta produk dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi.

Inovasi ini dilakukan dengan cara meningkatkan sifat mekanik dari produk baja tersebut. Upaya peningkatannya mempertimbangkan produk yang dihasilkan oleh produsen baja dalam negeri. Material baja yang digunakan sebagai bahan baku berupa baja JIS G 3131 SPHC dimana material ini adalah hasil proses canai panas



yang belum dilakukan perlakuan panas secara maksimal sehingga material tersebut memiliki sifat mekanik yang belum memenuhi standar dari produk hasil dari baja konstruksi yang sering dibutuhkan dengan nilai kuat luluh dan kuat tarik kurang dari 330 MPa, sedangkan untuk memenuhi kriteria baja JIS G 3101 SS400 yang mempunyai sifat mekanik material dengan nilai kuat luluh dan kuat tarik minimum 400 MPa, maka sifat mekanik dari SS330 perlu dinaikkan mengikuti standar SS400 dengan nilai kuat luluh minimum 400 MPa, serta persen elongasi minimum 17% agar kualitas baja tetap kuat dan tidak mudah patah saat digunakan untuk konstruksi (JIS, 2015).

PT Krakatau Baja Konstruksi bergerak di bidang manufaktur khususnya pada industri baja untuk aplikasi konstruksi seperti *bar* dan *profile*. Indonesia mempunyai program pembangunan infrastruktur yang memprioritaskan sektor konstruksi publik untuk pemerataan pembangunan dan ekonomi nasional. Program prioritas pertama adalah penyelesaian Proyek Strategis Nasional yang telah dilaksanakan sejak tahun 2020, antara lain pembangunan Jembatan hingga tahun 2021 terdapat 19.135 unit jembatan Nasional, 201 unit jembatan gantung, 48 unit jembatan khusus yang akan terus bertambah dikarenakan dari segi perekonomian jembatan mengurangi biaya transportasi. Serta infrastruktur lainnya seperti Jalan Nasional, Jalan Tol, Perumahan, dan juga infrastruktur lainnya yang menopang kemajuan perekonomian Indonesia (Informasi Statistik Infrastruktur PUPR 2021, n.d.). Untuk memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur dalam negeri yang meningkat tinggi, dibutuhkan bahan baku baja yang mempunyai sifat-sifat mekanik yang tinggi seperti ketangguhan, keuletan dan ketahanan jangka panjang. Pada industri komersial baja khususnya pada konstruksi bangunan sangat dibutuhkan

kekuatan yang kuat untuk menopang bangunan-bangunan yang kokoh, serta pemilihan bahan yang sangat berpengaruh pada kekuatan dari struktur bangunan yang didirikan (Miki *et al.*, 2002). Hampir mencapai 60 persen dari *by product* tersebut tidak memenuhi standar kekuatan dan ketahanan dari kerangka bangunan. Sehingga hasil tersebut hanya digunakan untuk tambahan proses pembuatan ulang baja atau *scrap* dan dijual dengan harga yang cukup rendah serta pengaplikasian yang kurang optimal. Sifat kekerasan dan ketahanan dari logam atau material yang menunjukkan kemampuan untuk digunakan kegiatan konstruksi. Baja JIS G 3131 SPHC hasil dari PT Krakatau Steel secara sifat mekanik belum mencapai standar JIS G 3101 SS330 (*structural steel*), sedangkan baja yang dibutuhkan untuk konstruksi memiliki standar JIS G 3101 SS400 dengan kuat tarik minimum 400 MPa (Gunadi *et al.*, 2020). Pada PT Krakatau Baja Konstruksi, pengolahan *scrap* tersebut paling optimal untuk produk pelat join dikarenakan secara dimensi sudah terpenuhi, namun dari aspek sifat mekanik masih belum memenuhi untuk aplikasi rangka bangunan.

Untuk menaikkan sifat mekanik dibutuhkan perlakuan panas yang bisa meningkatkan kekuatan dari baja canai panas JIS G 3101 SS330. Cara paling optimal untuk menaikkan sifat mekanik menggunakan metode *intercritical annealing* dengan menentukan variabel tertentu. Dengan metode *intercritical annealing* dapat membentuk austenit parsial serta melibatkan pembentukan ferit dan austenit pada baja karbon rendah. Proses ini sering digunakan bersamaan dengan proses *hot rolling mill* untuk meningkatkan sifat mekanik dan struktur mikro material. Tujuan dari *intercritical annealing* adalah untuk mendapatkan distribusi karbida *sferoida* yang merata pada baja, sehingga membuat material

menjadi lebih lunak dan lebih tangguh. Proses ini juga digunakan untuk meningkatkan kemampuan mesin material dengan meningkatkan ukuran *sferoida*. Durasi *intercritical annealing* dapat mempengaruhi struktur mikro dan perilaku mekanik material. Variabel paling berpengaruh terhadap sifat mekanik adalah temperatur pemanasan dan waktu tahan *annealing*, karena dengan variabel temperatur pemanasan dapat mengubah fasa perlit menjadi austenit dengan variabel waktu tahan dapat memperbesar jumlah atau persentase austenit yang terbentuk di saat pemanasan dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat sehingga dapat membentuk fasa martensit sebagai fasa penguat pada baja. Pada penelitian sebelumnya Saefudin (2008) telah dilakukan proses *Intercritical Annealing* dengan variasi waktu dan temperatur untuk menganalisis kadar persen martensite yang terbentuk pada baja hasil perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan baja dikarenakan pemanasan baja pada temperatur kritis dan waktu tahan tertentu serta pendinginan cepat dapat membentuk baja *dual phase*, dengan merubah fasa perlit menjadi martensit. Struktur martensit dalam baja merupakan struktur yang mempunyai kekerasan tertinggi, kekerasan dari martensit selalu dipengaruhi oleh besarnya kandungan karbon dalam baja (Jahanzeb *et al.*, 2017).

Pada penelitian ini dilakukan proses *Intercritical Annealing* dengan variasi temperatur dan waktu tahan untuk meningkatkan nilai *tensile strength* baja JIS G 3131 SPHC dengan kadar karbon 0,045 %. Dalam penelitian yang dilakukan (Maleki *et al.*, 2018), pengaruh waktu tahan anil pada proses *intercritical annealing* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik material telah diteliti. Hasil penelitian (Nouroozi *et al.*, 2018) menunjukkan bahwa peningkatan waktu tahan anil dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan material, namun dapat menurunkan

elongasi dan keuletan material Pada penelitian sebelumnya (Najafkhani *et al.*, 2019) dilakukan *intercritical annealing low carbon steel* 0,035% C dengan variabel temperatur 775-875°C dan waktu tahan 1-240 menit didapat nilai *tensile strength* dari material di atas 400 pada temperatur 825°C dengan waktu tahan 1 menit, dengan keterangan semakin tinggi temperatur anil dan semakin lama waktu tahan maka ukuran partikel fasa semakin besar sehingga persen martensit makin meningkat. Pada penelitian (Maleki *et al.*, 2018) dilakukan *intercritical annealing low carbon steel* 0,035% C dengan variabel temperatur 800, 850, 925, 1050°C dengan waktu tahan 15 menit didapat nilai kritis optimal terdapat pada temperatur 850°C dengan persen martensit 36% dengan *tensile strength* diatas 400 MPa, dan menyatakan mekanisme perkembangan struktur mikro pada *intercritical annealing* terbentuknya matrik ferit kemudian menjadi austenit lalu menjadi martensit saat pendinginan untuk menghasilkan struktur mikro *dual phase*, dengan meningkatnya suhu anil diidentifikasi dapat meningkatnya variasi jumlah martensit. Pada penelitian (Nikkhah *et al.*, 2019) dilakukan *intercritical annealing low carbon steel* 0,035% C dengan temperatur 800°C dan variabel waktu tahan 1, 5, 15 menit didapat nilai *engineering stress* di atas 400 MPa pada sampel dengan waktu tahan 5 menit bahkan pada waktu tahan 1 menit didapat nilai *tensile strength* hampir mencapai 600 MPa dengan elongasi 30%. Berdasarkan pendahuluan diatas penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik untuk mengoptimalkan penggunaan *by product* SPHC sebagai bahan baku baja konstruksi melewati proses *intercritical annealing* diharapkan bahan baku dari penelitian ini bisa ditingkatkan menjadi baja JIS G 3101 SS400 untuk membantu pemenuhan akan kebutuhan baja konstruksi di Indonesia yang sangat tinggi. Sehingga akan meningkatkan kemampuan dan daya



jual baja dan membuka lapangan pekerjaan untuk memenuhi kebutuhan perekonomian dalam negeri.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang pada sub bab sebelumnya, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah pengaruh temperatur dan waktu tahan yang digunakan pada baja JIS G 3131 SPHC. Hal ini dilakukan karena limbah dari salah satu industri baja di Indonesia yang hampir sampai 60% dari total produk yang diproses hanya dijual dengan harga yang cukup rendah sebagai *scrap*. Baja SPHC yang bahan bakunya menggunakan baja karbon rendah perlu dilakukan proses perlakuan panas yang mampu meningkatkan sifat mekanik baja SPHC sehingga dapat mencapai standar dari konstruksi suatu bangunan yang akan dibuat. Proses perlakuan panas *intercritical annealing* dipilih untuk dilakukan pada material baja SPHC dengan beberapa tahapan yaitu pemanasan, proses *quenching* yang dilakukan dengan perbedaan temperatur (*critical temperature*) dan waktu tahan. Dalam proses *intercritical annealing* ini dapat meningkatkan persen martensit yang terbentuk dan meningkatkan kekuatan tarik (*tensile strength*). Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh temperatur dan waktu tahan *intercritical annealing* terhadap sifat mekanik pada baja karbon rendah JIS G 3131 SPHC produk PT Krakatau Baja Konstruksi.
2. Pengaruh peningkatan sifat mekanik dengan mengamati perubahan struktur mikro baja pada temperatur dan waktu yang berbeda pada proses *intercritical annealing*.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menaikkan nilai sifat mekanik sehingga sesuai dengan grade baja JIS G 3101 SS400 melalui simulasi proses *intercritical annealing* dengan variasi temperatur dan waktu tahan.
2. Mengetahui peningkatan sifat mekanik dengan mengamati perubahan struktur mikro baja pada temperatur dan waktu tahan yang berbeda pada proses *intercritical annealing*.

### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini yaitu meliputi:

1. Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan baja SPHC hasil *hot rolling* limbah dari PT Krakatau Baja Konstruksi.
2. Karakterisasi sampel sebelum dilakukan perlakuan panas menggunakan *OES*.
3. Proses perlakuan panas dilakukan pada temperatur kritis dengan penahanan waktu dan dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi FT UNTIRTA
4. Variasi bebas:
  - a. Variasi suhu: 750, 800, 850°C.
  - b. Variasi waktu tahan: 1, 5, 15 menit.
5. Variasi tetap:
  - a. Bahan baku menggunakan baja SPHC.

6. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian tarik dilakukan di PT Krakatau Steel dan pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Metalurgi FT UNTIRTA.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan proposal seminar ini terdiri dari lima bab, Bab I terdiri dari lima sub bab, yang terdiri dari latar belakang penelitian ini tentang permasalahan kebutuhan baja sebagai bahan konstruksi bangunan dalam negeri menggunakan limbah hasil pengolahan baja di salah satu Industri di Kota Cilegon menggunakan metode perlakuan panas *intercritical annealing* untuk meningkatkan sifat mekanik pada baja, serta tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan literatur yang digunakan dalam penelitian ini yang meliputi penjelasan mengenai baja karbon rendah, baja fasa ganda, perlakuan panas dan faktor yang mempengaruhi peningkatan sifat mekanik, serta standar yang digunakan sebagai acuan. Bab III menjelaskan tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur penelitian mulai dari tahap preparasi dan pengujian sampel yang dilakukan pada penelitian ini. Bab IV memaparkan hasil penelitian yang diperoleh dan pembahasan mengenai data tersebut. Bab V berisi tentang kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini serta saran untuk menunjang penelitian yang selanjutnya. Daftar Pustaka berisi referensi-referensi yang meliputi jurnal dan buku yang digunakan untuk meenunjang penyusunan laporan tugas akhir ini. Lampiran berisi mengenai contoh perhitungan yang dilakukan untuk penelitian, data hasil penelitian, serta gambar alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Alfirano, Samdan, W., & Maulud, H. (2014). Effect of intercritical annealing temperature and holding time on microstructure and mechanical properties of dual phase low carbon steel. *Applied Mechanics and Materials*, 493, 721–726. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.493.721>

Avner, S. H. (1974). Introduction to Physical Metallurgy: Second Edition. In *McGraw Hill Book Company*.

Cai, Z., Zhao, J., & Ding, H. (2017). Transformation-induced plasticity steel and their hot rolling technologies. *Rolling of Advanced High Strength Steels: Theory, Simulation and Practice*, 289–322. <https://doi.org/10.1201/9781315120577>

Etesami, S. A., & Enayati, M. H. (2016). Microstructural evolution and recrystallization kinetics of a cold-rolled, ferrite-martensite structure during intercritical annealing. *Metallurgical and Materials Transactions A.pdf*. (n.d.).

Etesami, S. A., Enayati, M. H., & Kalashami, A. G. (2017). Austenite formation and mechanical properties of a cold rolled ferrite-martensite structure during intercritical annealing. *Materials Science and Engineering A*, 682, 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.112>

Gillespie, L. K. (2008). Heat treating. *Cutting Tool Engineering*, 60(4), 24–25. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1695.9764>

Gunadi, R., Moeljono, M., Igustiany, F., & Hasan, N. (2020). Bolt connection performance post fire in steel bridges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/2/022052>

*Informasi Statistik Infrastruktur PUPR 2021*. (n.d.).

Jahanzeb, N., Shin, J. H., Singh, J., Heo, Y. U., & Choi, S. H. (2017). Effect of microstructure on the hardness heterogeneity of dissimilar metal joints between 316L stainless steel and SS400 steel. *Materials Science and Engineering A*, 700, 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.06.002>

Jamei, F., Mirzadeh, H., & Zamani, M. (2019). Synergistic effects of holding time at intercritical annealing temperature and initial microstructure on the mechanical

properties of dual phase steel. *Materials Science and Engineering A*, 750(February), 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.02.052>

JIS. (2015). *Jis G 3101*.

*JIS-G-3131.pdf*. (n.d.).

Maleki, M., Mirzadeh, H., & Zamani, M. (2018). Effect of Intercritical Annealing on Mechanical Properties and Work-Hardening Response of High Formability Dual Phase Steel. In *Steel Research International* (Vol. 89, Issue 4). <https://doi.org/10.1002/srin.201700412>

Miki, C., Homma, K., & Tominaga, T. (2002). High strength and high performances steels and their use in bridge structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 58(1), 3–20. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00028-1)

Najafkhani, F., Mirzadeh, H., & Zamani, M. (2019). Effect of Intercritical Annealing Conditions on Grain Growth Kinetics of Dual Phase Steel. *Metals and Materials International*, 25(4), 1039–1046. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00241-2>

Nakada, N., Arakawa, Y., Park, K. S., Tsuchiyama, T., & Takaki, S. (2012). Dual phase structure formed by partial reversion of cold-deformed martensite. *Materials Science and Engineering A*, 553, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.001>

Nikkhah, S., Mirzadeh, H., & Zamani, M. (2019). Fine tuning the mechanical properties of dual phase steel via thermomechanical processing of cold rolling and intercritical annealing. *Materials Chemistry and Physics*, 230(December 2018), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.03.053>

Nouroozi, M., Mirzadeh, H., & Zamani, M. (2018). Effect of microstructural refinement and intercritical annealing time on mechanical properties of high-formability dual phase steel. *Materials Science and Engineering A*, 736, 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.08.088>

Oh, C. S., Han, H. N., Lee, C. G., Lee, T. H., & Kim, S. J. (2004). Dilatometric analysis on phase transformations of intercritical annealing of Fe-Mn-Si and Fe-Mn-Si-Cu low carbon TRIP steels. In *Metals and Materials International* (Vol. 10, Issue 5, pp. 399–406). <https://doi.org/10.1007/BF03027339>

Saefudin. 2008. *Analisis Sifat Mekanik Baja Fasa Ganda pada Proses Intercritical Annealing dengan Quenching untuk Baja Karbon Rendah*. Pusat Penelitian Metalurgi (P2M)-LIPI.pdf. (n.d.).

S.H. Avner. (2015). *Introduction to Physical Metallurgy* (Vol. 1).

Taweejun, N., & Kanchanomai, C. (2015). Effects of Carbon and Nitrogen on the Microstructure and Mechanical Properties of Carbonitrided Low-Carbon Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24(12), 4853–4862. <https://doi.org/10.1007/s11665-015-1757-x>

Thomas, G. (1985). Physical Metallurgy and Alloy Design of Dual Phase Steels. *Materials Science Monographs*, 26, 89–123.

Wardoyo, J. T. (2005). Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah Melalui Baja Fasa Ganda. *Teknoin*, 10(3), 237–248. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol10.iss3.art6>