



Analisis Pengaruh Parameter Pemanasan *Furnace* terhadap Sifat Mekanik Material Baja SS400

Yusuf Habibi¹, Dondi Kurniawan^{1,*}, dan Rochmad Eko Prasetyaning Utomo²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro, No. 1, Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145, Indonesia..

² Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jl. Raya Jember No.KM13, Kawang, Labanasem, Kec. Kabat, Kab. Banyuwangi, Jawa Timur 68461, Indonesia.

*) e-mail Corresponding : dondikur17@eng.unila.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Article history:
Published : 17-05-2025

Kata kunci:
SS400 steel;
Furnace heating;
Heat treatment;
Microstructure;
Mechanical properties.

Proses pemanasan merupakan tahap penting dalam pengolahan baja karena memengaruhi struktur mikro, komposisi kimia, dan sifat mekanis material. Baja SS400 menjadi salah satu material yang banyak digunakan dalam konstruksi, sehingga pemahaman mengenai perubahan sifatnya selama proses pemanasan menjadi krusial. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh pemanasan tungku terhadap karakteristik mikrostruktural dan mekanis baja SS400. Metode penelitian meliputi pemantauan suhu menggunakan sensor termokopel yang terkoneksi dengan sistem Human Machine Interface (HMI), pengujian komposisi kimia sebelum dan sesudah pemanasan, serta pengujian mekanis untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik material. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kadar karbon dari 0,18% menjadi 0,27%, serta penurunan kandungan Cu, Ni, dan Cr dari 0,16% menjadi 0,08%. Perubahan ini menandakan terjadinya rekristalisasi dan modifikasi struktur mikro akibat paparan suhu tinggi pada fase pemanasan dan perendaman. Selain itu, pengujian mekanis menunjukkan perpanjangan material hingga 20% dari panjang awal yang masih sesuai dengan standar aplikasi konstruksi.

1. Pendahuluan

Industri baja berperan penting dalam pembangunan infrastruktur dan manufaktur nasional, dengan seiringnya kemajuan teknologi pertumbuhan sektor manufaktur di Indonesia kian meningkat mulai dari infrastruktur jalan yang memadai hingga gedung bertingkat yang kian mulai marak dijumpai, hingga sarana transportasi massal yang mampu mendorong permintaan baja struktural yang konsisten, baik dalam hal volume dan kualitas (Kurnia et al., 2023). Baja BJP/41SSS400 merupakan salah satu material yang digunakan pada PT Krakatau Baja Konstruksi, baja tersebut akan diproses melalui rangkaian tahapan diantaranya tahapan persiapan bahan baku dengan metode pemanasan (*furnace heating*).

Baja merupakan salah satu material utama dalam industri konstruksi dan manufaktur sehingga memiliki beberapa sifat mekanik yang baik, mudah dibentuk dan ekonomis. Baja SS400 merupakan baja yang paling umum

digunakan pada industri konstruksi sehingga baja ini banyak dipilih karena memiliki kemampuan ketahanan terhadap beban tarik serta ketahanan korosi dikarenakan memiliki karbon rendah. Baja SS 400 adalah jenis baja *carbon* yang mempunyai kadar karbon rendah di bawah 0,3% (Saputra et al., 2019). Baja SS 400 digunakan secara luas untuk aplikasi struktural seperti rangka bangunan, jembatan, peralatan berat, dan komponen mesin, dengan berbentuk pelat, jembatan, maupun profil.

Proses pemanasan pada baja bertujuan dalam mengubah struktur mikro, menghilangkan tegangan sisa, serta mempersiapkan baja untuk proses selanjutnya. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas *temperature* yang sangat menentukan dan struktur mikro yang didapatkan di akhir proses pemanasan akan mempengaruhi sifat yang didapatkan. Sedangkan terbentuknya struktur mikro ini selain dipengaruhi oleh proses *heat treatment* yang diterima dan kondisi awal material tersebut (Rahaman, 2023), juga dipengaruhi oleh

komposisi kimia dari baja itu sendiri. Proses heat treatment yang tepat dapat menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan, termasuk kekerasan dan ketangguhan yang optimal (Askari, 2024).

Dalam sistem produksi baja di PT Krakatau Baja Konstruksi, data yang dikumpulkan melalui observasi menunjukkan adanya perubahan *temperature* yang terjadi pada baja, dengan pengamatan melalui data yang dikumpulkan oleh termokopel ditransmisikan oleh *transmitter* ke sistem *Human Machine Interface* (HMI), yang memfasilitasi interaksi manusia dengan mesin melalui visualisasi real-time, yang memungkinkan operator untuk memantau suhu pada *Furnace* secara langsung dan mengidentifikasi adanya penyimpangan suhu yang mungkin mempengaruhi proses produksi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pemanasan menggunakan *furnace* pada baja *SS400* di PT Krakatau Baja Konstruksi guna dalam memperhatikan kualitas produksi baja. Dengan alur proses yang tepat, diharapkan analisis proses produksi ini dapat menilai adanya kekurangan serta kelebihan, sehingga mendukung efisiensi proses produksi dan kualitas produksi lebih baik.

1.1. Proses Pemanasan

Pada tahap awal proses produksi baja di PT Krakatau Baja Konstruksi, dilakukan proses pemanasan, yaitu tahapan di mana baja dipanaskan hingga mencapai batas tertentu yang memungkinkan terjadinya perubahan sifat mekanis material. Melalui proses ini, baja menjadi lebih mudah dibentuk pada tahap produksi selanjutnya. Proses pemanasan merupakan salah satu tahap yang bersifat krusial dalam pembuatan baja karena berpengaruh langsung terhadap kualitas hasil produksi. Namun, dalam praktiknya, proses pemanasan tidak jarang mengalami gangguan atau malafungsi yang dapat mengakibatkan kegagalan produk dalam memenuhi standar fabrikasi yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, pengendalian dan pemantauan yang ketat terhadap proses ini menjadi faktor penting untuk menjamin mutu produk baja yang dihasilkan (Zanoli et al., 2022).

Proses pemanasan merupakan salah satu tahapan dalam perlakuan termal yang diterapkan pada material, seperti logam atau paduannya, termasuk baja. Tahapan ini dilakukan dengan memanaskan material secara terkendali hingga mencapai suhu yang ditetapkan, dengan tujuan mengubah struktur internal material tersebut sesuai sifat yang diinginkan. Pemanasan dilaksanakan pada rentang suhu tertentu yang disesuaikan dengan jenis material serta tujuan perlakuan yang akan dicapai. Pada produksi baja, proses pemanasan dilaksanakan secara bertahap sesuai prosedur yang berlaku, sehingga setiap tahap mampu memberikan perubahan struktur dan sifat material secara optimal.

Proses pemanasan ini ialah proses vital dalam sebuah industri baja, hal itu dikarenakan baja akan di lakukan heat treatment selama waktu yang dibutuhkan material hingga mencapai suhu kritis, sehingga baja akan dapat diakukan proses selanjutnya berupa *hot rolling*. Baja tersebut akan mengalami deformasi plastis sehingga apabila baja tersebut dilakukan proses *hot rolling* baja akan berubah bentuk sesuai dengan proses yang dilakukan.

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) merupakan salah satu proses dalam mengubah struktur logam dengan cara memanaskan logam tersebut pada *temperature*

rekristalisasi hingga selama periode waktu tertentu, kemudian didinginkan dengan media pendingin seperti Air ataupun melalui Udara yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Proses perlakuan panas pada dasarnya sederhana, yaitu logam dipanaskan dengan laju *temperature* tertentu dan kemudian di tahan pada *temperature* tersebut dengan waktu tertentu serta diakhiri dengan laju pendinginan tertentu pula (Hakim et al., 2023; Razak et al., 2025; Sukarno et al., 2024).

Prinsip proses perlakuan panas yaitu dengan mengatur laju pemanasan dengan tidak mengubah bentuk komponen (tetap keadaan solid) dilanjutkan dengan penahan (*holding time*), di mana setelah material mencapai suhu *austenit* kemudian dilakukan penahanan agar dapat menyeragamkan pada struktur mikro, terakhir dengan laju pendinginan ini di mana pendinginan dapat dilakukan dengan air, oli atau udara setempat. Sifat mekanik pada se sebuah material tidak tergantung dengan komposisi kimia suatu paduan, tetapi tergantung dengan struktur mikronya. Struktur mikro juga tergantung dengan proses pengerjaan yang dialami, terutama dari proses perlakuan panas yang diterima selama proses pengerjaan. Tujuan perlakuan panas yaitu berupa melunakkan struktur kristal, menghilangkan tegangan sisa serta memperbaiki *machineability* (Mihut et al., 2024; Mohammed & Ahmed, 2024).

1.2. Furnace

Furnace merupakan sebuah perangkat yang dapat menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan energi panas yang bersumber dari bahan bakar. Perangkat ini bekerja dengan menaikkan suhu sesuai dengan keinginan operator ataupun menjadi proses awal terbentuknya suatu material melalui alur proses pemanasan yang terjadi. Jenis bahan bakar yang dipakai pada perangkat ini ialah natural gas yang dicampurkan dengan oksigen lalu ditembakkan melalui burner. *Furnace* bekerja dengan membakar baja dengan menggunakan bahan bakar gas sebagai bahan utamanya, karena cukup murah dan sumber dayanya yang melimpah. Pada *furnace* terdapat mesin tambahan di bagian belakang, yaitu pusher untuk memasukkan batang billet atau baja ke dalam *furnace* (Sragarta & Aribowo, 2023).

Di *furnace*, material baja akan dilakukan heat treatment dengan pembakaran secara merata, pembakaran ini dilakukan secara otomatis melewati pemessin yang akan mendorong baja menuju tungku utama, pembakaran utama diawali dengan pembakaran melalui burner yang ditembakkan pada bagian langit langit *furnace*, sehingga material baja tidak terkena secara langsung agar tidak material baja tidak menempel akibat suhu pemanasan. Material tersebut akan dipanaskan selama waktu pemanasannya.

Pembakaran *furnace* ini menggunakan natural gas yang dibantu pembakaran menggunakan udara, dengan pembakaran melalui burner natural gas akan dibakar dan dicampuri dengan oksigen sehingga pembakaran dapat optimal dan merata pada seluruh bagian *furnace*. natural gas mempunyai peran penting sehingga natural gas dilakukan kadar dari natrual gas tersebut dan pada udara yang diserap akan melalui sebuah sistem air combustion yang dapat diatur tingkat semburan atau lamda dari operator setempat.

Pada sistem pembakaran *furnace* ini terdapat *thermochopell* yang berperan sebagai sensor suhu. *Thermochopell* merupakan sensor suhu yang mengubah

perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan yang disebabkan oleh perbedaan kepadatan setiap logam. Perubahan dan perbedaan suhu dapat dilihat pada operator yang mungkin menjaga suhu sesuai dengan kebutuhan pada pembakaran material baja tersebut. sensor *thermochopeil* juga berfungsi sebagai input analog pada sistem kendali itu sendiri. *Thermochopeil* berperan sebagai pemberi sinyal untuk mengeluarkan material baja yang telah selesai dalam proses pemanasan.

Mekanisme dari pada *furnace* ialah blower akan meniupkan udara pembakaran sehingga sisa pembakaran akan dibersihkan pada ruang bakar yang dinamakan purging. Katup gas akan dibuka Sebagian lalu *flame* pilot menyalakan campuran dan membuat *flame* sensor memverifikasi api, maka akan dilakukan pembakaran dengan gas dan udara yang dicampur lalu dibakar di *burner*, kontrol PID akan bekerja mengatur rasio udara yang keluar serta bahan pembakarannya. Pemeliharaan suhu juga dijaga melalui sistem yang secara siklik.

1.3. Material Baja SS 400

Baja merupakan logam paduan yang tersusun atas besi (Fe) sebagai unsur utama dan karbon (C) sebagai unsur paduan primer. Kandungan karbon pada baja umumnya berada dalam kisaran 0,2% hingga 2,1% dari berat totalnya. Peningkatan kadar karbon akan meningkatkan kekerasan baja. Selain besi dan karbon, baja juga mengandung unsur paduan lainnya yang berfungsi meningkatkan sifat mekanik maupun ketahanan material. Mangan (Mn) berperan dalam meningkatkan kekuatan baja, silikon (Si) membantu dalam proses pembentukan dan deoksidasi, kromium (Cr) memberikan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi, sedangkan nikel (Ni) meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi. Unsur paduan lainnya dapat ditambahkan sesuai dengan karakteristik baja yang diinginkan.

Industri baja konstruksi menerapkan telah standar baja SS400. Pemilihan jenis baja ini didasarkan pada pertimbangan kekuatan mekanis dan efisiensi biaya, sehingga perusahaan memiliki fleksibilitas dalam penggunaannya. Selain memiliki harga yang relatif terjangkau, baja SS400 juga dapat dimodifikasi sesuai kriteria yang dibutuhkan.

Penggunaan baja SS400 di perusahaan ini memiliki alasan teknis yang relevan dengan kondisi struktur tanah di Indonesia. Baja SS400 memiliki sifat elastisitas yang lebih baik dibandingkan beberapa jenis baja lainnya, sehingga dinilai lebih sesuai untuk mendukung kekuatan konstruksi. Selain pertimbangan teknis tersebut, terdapat pula standarisasi yang diatur oleh pemerintah terkait pembuatan baja struktural.



Gambar 1. Baja SS 400

Penerapan dimensi pada PT Krakatau Baja Konstruksi menggunakan 3 dimensi yang umum digunakan dengan ukuran 150 x 150, 180 x 180, dan 200 x 200. Ukuran tersebut digunakan untuk berbagai penggunaan agar saat dialukannya *hot rolling* material tersebut tidak akan banyak terbuang dan tersisa. Hasil produk yang dihasilkan oleh PT Krakatau Baja Konstruksi berupa baja IWF, H-Beam, Kanal dan siku.

1.4. Alur proses pemanasan

Alur proses pemanasan akan diawali dengan pemotongan baja menggunakan mesin blender, PPC atau *Production Planning and Control* akan mengatur ukuran dari baja yang akan dipotong sehingga petugas pemotongan baja akan memotong sesuai dengan kriteria dari PPC. Proses berikutnya merupakan pengangkutan baja Lokasi pemotongan menuju Lokasi proses pemanasan, baja di angkut menggunakan *crane* menuju Lokasi pemanasan.

Baja akan dilumuri dengan cairan anti lengket di area *chain conveyor*, cairan tersebut berfungsi agar material baja tidak menempel pada proses pemanasan pada *furnace* yang di akibatkan kondisi material baja akan saling bersentuhan dengan material baja lainnya. Baja dialurkan menggunakan *roll table approach* yang menggerakkan baja dari chain conveyor menuju pusher, sehingga baja akan menuju Lokasi pusher yang akan mendorong baja menuju bilik *furnace*.

Furnace akan menyemburkan api melewati burner dengan lamda $\pm 1,2$ sesuai dengan kriteria dari kebutuhan suhu, suhu di atur mencapai 1290 derajat pada tahap heating *furnace*, dengan pemanasan heating baja akan mengalami pemanasan thermal shock yang menuju titik suhu kritis baja tersebut. Baja melewati 2 tahapan yaitu heating dan soaking. Tahap heating berupa pembakaran awal sebagaimana dijelaskan di atas dengan rasio pembakaran 50:50 gas natural dengan udara sehingga pembakaran optimal dan kematangan baja akan merata hingga ke dalam struktur baja

Soaking merupakan penahanan suhu yaitu suhu akan ditahan dengan suhu 1260 derajat, pada tahapan ini pembakaran akan menggunakan 2 zona yaitu zona a dan zona b. zona a merupakan zona yang terdapat pada ujung depan baja sedangkan zona b terdapat pada ujung belakang baja. Dengan 2 zona ini akan mengoptimalkan pemanasan baja yang terdapat pada *heating process* dengan pengaturan lamda berkisar 2.00–2.50. *Thermochopeil* akan memberikan sinyal kepada operator bahwa baja siap dilakukan proses selanjutnya, operator akan mendorong baja menggunakan pinch roll dengan begitu baja akan keluar dari bilik *furnace* menuju proses *hot tolling*.

1.5. Steel Making Process

Proses *Steel making* ialah proses pembuatan baja dengan peleburan bahan baku sehingga menghasilkan besi cair (*pig iron*) yang mengandung karbon dan kotoran tinggi menjadi baja dengan kandungan karbon dan unsur lain yang dikontrol sesuai kebutuhan. Proses ini merupakan awal mula pembuatan baja sebelum dijadiakannya sebuah produk, produk tersebut akan menjadi sebuah *billet*, *bloom*, *slabs*.

Proses pembuatan baja dapat menggunakan beberapa metode salah satunya dengan *Electric Arc Furnace* merupakan metode pembuatan baja yang menggunakan energi listrik dalam peleburan bahan baku yang bermula dari *scrap* besi menjadi baja cair.

Untuk melakukan peleburan besi dan baja, dilakukan pembenturan *electric arc* (busur listrik) antara elektroda dengan baja yang ada dalam sebuah wadah besar, proses ini dikenal dengan istilah tapping (Afandy et al., 2024). Elektroda karbon diturunkan dan dialiri dengan listrik arus tinggi sehingga membentuk busur listrik.

2. Alat dan Bahan

2.1 Persiapan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah SS 400. Sebagaimana komposisi kimianya ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Furnace*

Kriteria	Spesifikasi
<i>Furnace</i>	Barmile <i>Furnace</i>
Dimensi	P : 14650mm L : 6500mm T : 2000mm
Jenis	<i>Furnace Box</i>
Kapasitas	7000 T/Bulan
Bahan Bakar	Natural Gas
Suhu Operasi	600-1500

Tabel 2. Komposisi kimia SS 400

Unsur	Persentase (%)
C (Karbon)	0.18
Mn (Mangan)	0.46
Si (Silikon)	0.20
Cr (Krom)	0.05
P (Fosfor)	0.018
Ni (Nikel)	0.02
Cu+Ni+Cr	0.16
S (Belerang)	0.021

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk menganalisis pengaruh pemanasan tungku terhadap perubahan struktur mikro, komposisi kimia, dan sifat mekanis baja SS400. Tahapan metode penelitian meliputi:

3.1 Persiapan Sampel

Material baja SS400 dipotong sesuai ukuran pengujian dan dibersihkan dari kotoran atau oksida permukaan untuk memastikan akurasi hasil karakterisasi. Sampel kemudian dibagi menjadi dua kelompok, yaitu sebelum pemanasan (*raw material*) dan setelah proses pemanasan.

3.2 Proses Pemanasan

Sampel dipanaskan menggunakan tungku pemanas (*furnace*) dengan pengaturan suhu terkontrol. Pemantauan suhu dilakukan menggunakan sensor termokopel yang terhubung ke sistem *Human Machine Interface* (HMI) untuk memastikan kestabilan temperatur selama proses pemanasan dan perendaman (*soaking*).

3.3. Pengujian Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia dilakukan pada sampel sebelum dan sesudah pemanasan untuk mengamati perubahan unsur, khususnya karbon, tembaga (Cu), nikel (Ni), dan krom (Cr). Pengujian menggunakan metode spektrometri sesuai standar karakterisasi material.

3.4 Pengujian Struktur Mikro

Sampel dipreparasi melalui proses mounting, grinding, polishing, dan etching. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop metalografi untuk melihat perubahan fasa dan fenomena rekristalisasi akibat pemanasan.

3.5 Pengujian Mekanis

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanis berupa kekuatan, keuletan, dan persentase perpanjangan. Hasil uji dibandingkan antara sampel sebelum dan sesudah pemanasan guna mengetahui efek perlakuan panas terhadap performa material.

3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian kimia, mikrostruktur, dan mekanis dianalisis secara komparatif. Perubahan yang terjadi dievaluasi untuk menentukan keterkaitan antara parameter pemanasan dengan perilaku material.

4. Hasil dan pembahasan

4.1 Analisis Perubahan Struktur

Perubahan struktur kimia pada baja SS400 umum terjadi akibat proses pemanasan yang terjadi, perubahan ini terjadi dikarenakan baja panaskan hingga mencapai titik batas pemanasannya. Setelah dilakukannya proses pemanasan dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan struktur dan komposisi baja. Data yang didapat merupakan data yang telah dilakukannya proses pemanasan, dengan adanya perbedaan pada C atau *carbon* yang nilai komposisinya naik dari 0.18 menjadi 0.271 menandakan bahwa proses pemanasan dapat mengubah komposisi dari baja tersebut dan ada juga penurunan nilai pada kadar komposisi Cu+Ni+Cr yang menunjukkan bahwa *actualnya* 0.08 dibanding sebelumnya pada nilai 0.16.

Proses pemanasan ini menunjukkan bahwa prosesnya dapat mengubah kadar komposisi dari masing masing struktur kimia, dari perubahan kimia ini dapat mengubah struktur baja dalam bentuk billet hingga menjadi produk baja siap produksi, sebagaimana yang tertera pada tabel 3.

Tabel 3. Perubahan striktur kimia

Unsur	Presentase (%)
C (Karbon)	0.271
Mn (Mangan)	0.474
Si (Silikon)	0.196
Cr (Krom)	0.05
P (Fosfor)	0.018
Ni (Nikel)	0.02
Cu+Ni+Cr	0.08
S (Belerang)	0.022

Perubahan pada material baja SS400 ini membuat material dapat dibentuk dengan proses hot rolling. Dikarenakan pada saat proses hot rolling baja harus dalam keadaan mecapai batas luluhnya agar memudahkan dalam proses *hot rolling*.

4.2 Pengamatan gambar

Paparan suhu tinggi tidak hanya menyebabkan perubahan kimia berupa pembentukan oksida, tetapi juga memicu perubahan fisik pada permukaan material. Perubahan ini mencerminkan pengaruh termal terhadap

integritas permukaan baja, baik dari segi struktur mikro maupun karakteristik makroskopisnya. Analisis pada gambar 2 analisis material sebelum dilakukan perlakuan panas dan sesudah diberi perlakuan panas, ditunjukkan pada gambar 2 sebagai berikut,



Gambar 3. Analisis Material a). Sebelum perlakuan panas, b). Sesudah perlakuan panas

Paparan suhu tinggi tidak hanya menyebabkan perubahan kimia berupa pembentukan oksida, tetapi juga memicu perubahan fisik pada permukaan material. Pada baja karbon seperti SS400, ekspos suhu tinggi akan mengaktifkan difusi atom, mempercepat proses rekristalisasi, dan memungkinkan terbentuknya lapisan oksida pada permukaan. Fenomena ini menyebabkan perubahan warna, kekasaran, serta potensi penipisan permukaan akibat oksidasi. Perubahan tersebut mencerminkan pengaruh termal terhadap integritas permukaan baja, baik dari segi struktur mikro maupun karakteristik makroskopisnya.

Analisis pada Gambar 2 memperlihatkan perbedaan yang jelas antara kondisi material sebelum dan sesudah perlakuan panas. Pada material awal, struktur mikro cenderung lebih halus dan homogen, menunjukkan distribusi fasa ferit dan perlit yang stabil. Setelah diberi perlakuan panas, struktur mikro berubah menjadi lebih kasar dengan butiran yang mulai mengalami pertumbuhan (*grain growth*), yang merupakan indikasi terjadinya rekristalisasi akibat paparan suhu tinggi dan waktu tahan (*soaking time*). Perubahan ini juga sejalan dengan pergeseran komposisi kimia yang terdeteksi, terutama meningkatnya kadar karbon serta berkurangnya unsur-unsur paduan minor seperti Cu, Ni, dan Cr.

Selain perubahan pada struktur mikro, karakteristik permukaan juga menunjukkan perbedaan signifikan. Material setelah perlakuan panas menunjukkan indikasi pembentukan lapisan oksida tipis yang tampak sebagai warna kehitaman atau kebiruan, menandakan adanya reaksi antara logam dan atmosfer pada suhu tinggi. Lapisan oksida ini berpotensi mempengaruhi sifat mekanik permukaan, seperti ketahanan abrasi dan kekasaran permukaan. Namun, perubahan tersebut masih berada dalam batas toleransi yang memungkinkan material tetap dapat digunakan untuk proses lanjutan seperti canai panas maupun aplikasi konstruksi umum.

Secara keseluruhan, perbandingan material sebelum dan sesudah pemanasan pada Gambar 2 membuktikan bahwa perlakuan panas memberikan dampak yang

signifikan terhadap perubahan struktur mikro, komposisi kimia, dan karakteristik permukaan baja SS400. Hasil ini menunjukkan pentingnya kontrol suhu dan durasi pemanasan untuk menjaga stabilitas sifat mekanik material serta mempertahankan kualitasnya sesuai standar aplikasi teknik.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis pengaruh proses pemanasan menggunakan *furnace* terhadap baja SS400 di PT Krakatau Baja Konstruksi. Hasil menunjukkan peningkatan kadar karbon dari 0,18% menjadi 0,27% serta penurunan kadar gabungan Cu, Ni, dan Cr dari 0,16% menjadi 0,08%. Pemanasan terstandarisasi mampu meminimalkan perubahan struktur komposisi baja, sehingga baja siap diproses lebih lanjut melalui rolling stand. Uji mekanik memperlihatkan regangan hingga 20% dari panjang awal, memenuhi standar material konstruksi. Keadaan tegangan internal material berubah-ubah antara tegangan tekan (kompresif) dan tegangan tarik (tensil) akibat perubahan struktur fasa, dan karakteristik dislokasi selama periode transisi fasa diamati mengalami perubahan yang signifikan (Wen et al., 2024). Temuan ini menegaskan bahwa pemanasan *furnace* memengaruhi komposisi, sifat mekanik, dan permukaan baja SS400, namun tetap memenuhi persyaratan untuk aplikasi konstruksi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin dan PT. Krakatau Baja Konstruksi yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

Daftar pustaka:

- Afandy, M., Mubarak, A. H., & Rianto, M. I. (2024). Temperature Monitoring System for 3 Phase Electric Arc Furnace (EAF) Transformer Cooling. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 6(2), 132–137.
- Askari, A. (2024). Kesenjangan Antara Kondisi Perlakuan Panas dan Non-Perlakuan Panas Pada Baja Perkakas EMS-45. <https://doi.org/10.31219/osf.io/azfup>
- Hakim, A. R., Nurlaila, Q., & Lase, Z. (2023). Pengaruh perlakuan panas terhadap proses permesinan baja karbon rendah. *Sigma Teknika*. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v6i2.5631>
- Kurnia, H., Darsini, D., Rahmawati, A., Putri, N. E., & Alhanas, M. S. (2023). Material Teknik Berwujud Logam Jenis Baja Pada Industri Otomotif di Indonesia: Kajian Sistematis. *Pelita Teknologi*, 18(2), 86–92. <https://doi.org/10.37366/pelitatekno.v18i2.2300>
- Mihuț, G., Ardelean, M., & Popa, E. G. (2024). The variation of the hardness of high-strength steels depending on the microstructures specific of tempering. *Journal of Physics*, 2714(1), 12025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2714/1/012025>
- Mohammed, S. S., & Ahmed, A. H. (2024). The Effect of Thermal Treatment Techniques on Physical Properties of Alloy and Composites: A review. *Journal of Physical Chemistry and Functional*

- Materials*.
<https://doi.org/10.54565/jphcfum.1534504>
- Rahaman, H. (2023). Comparative Failure Analysis of Ferrous and Non-Ferrous Heat-Treated Materials. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(3).
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i03.3849>
- Razak, Z. A., Fajar, M. R. Al, & Suryanta, D. (2025). Pengaruh perlakuan panas (heat treatment) dengan variasi quenching terhadap kelelahan dan kekerasan baja st 41. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 12(1), 36–44.
<https://doi.org/10.34128/je.v12i1.318>
- Saputra, L. I., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2019). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Akibat dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).
- Sragarta, K. R., & Aribowo, D. (2023). Sistem Kendali Pusher Sebagai Pendorong Billet Pada Mesin Furnace Berbasis Plc Siemens S7-300. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 8(2), 80–90.
- Sukarno, N. A., Azis, A., Vebriyadi, H., & Sampurno, C. B. K. (2024). Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Sifat Kekerasan Baja Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment Dengan Media Pendingin Oli. *Perwira Journal of Science and Engineering*, 4(2), 78–80.
<https://doi.org/10.54199/pjse.v4i2.320>
- Wen, C., Li, Z., Wu, H., & Gu, J. (2024). Study of Phase Transformations and Interface Evolution in Carbon Steel under Temperatures and Loads Using Molecular Dynamics Simulation. *Metals*, 14(7), 752.
- Zanoli, S. M., Pepe, C., Astolfi, G., & Moscoloni, E. (2022). Analysis and Modeling of Steel Industry Reheating Furnace Billets Temperature. *International Conference on Innovative Computing and Cloud Computing*, 337–342.
<https://doi.org/10.1109/ICCC54292.2022.9805896>



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).