



Peningkatan Produktifitas Proses Perlakuan Panas Dengan Pemodelan Berbasis Data Empiris

Myrna Ariati Mochtar

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai
Guru Besar Tetap Dalam Bidang Perlakuan Panas
Departemen Metalurgi dan Material
Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Depok, 1 November 2023



Peningkatan Produktifitas Proses Perlakuan Panas Dengan Pemodelan Berbasis Data Empiris

Myrna Ariati Mochtar

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai
Guru Besar Tetap Dalam Bidang Perlakuan Panas
Departemen Metalurgi dan Material
Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Depok, 1 November 2023

“Kecerdasan tidak banyak berperan dalam proses penemuan. Ada satu lompatan dalam kesadaran, sebutlah itu intuisi atau apapun namanya, solusinya muncul begitu saja dan kita tidak tahu bagaimana atau mengapa”

Albert Einstein

Arti penting manusia bukan terletak pada apa yang dia peroleh, melainkan apa yang sangat ia rindukan untuk diraih

Kahlil Gibran

PENULIS



Prof. Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar , M.Si.

Guru Besar Tetap Bidang Ilmu Perlakuan Panas
Fakultas Teknik Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang maha pengasih dan maha penyayang. Berkat limpahan Rahmat dan KaruniaNya penulisan buku Pidato Pengukuhan Guru Besar Tetap Bidang Ilmu Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia berjudul **“Peningkatan Produktifitas Proses Perlakuan Panas Dengan Pemodelan Berbasis Data Empiris”** dapat diselesaikan dengan baik.

Buku ini memuat ringkasan perjalanan penulis dalam melakukan penelitian, pengamatan dan kerjasama dengan dunia industri berkaitan dengan berbagai parameter perlakuan panas yang dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik, dimensi material sesuai dengan kinerja teknis yang diperlukan. Penelitian ini dilakukan melalui kegiatan percobaan di laboratorium dan kegiatan yang dilakukan secara nyata dalam proses produksi di perusahaan industri manufaktur, serta studi literatur terhadap temuan-temuan yang telah ditulis oleh para peneliti terdahulu. Dari berbagai data yang dihasilkan penulis melihat peluang-peluang untuk meningkatkan produktivitas dalam melakukan proses perlakuan panas di industri dengan melakukan pemodelan yang berbasis data empiris tersebut.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tersebut dapat diyakini bahwa pengamatan dan perekaman data dalam setiap proses perlakuan panas menjadi sangat penting dan bermanfaat karena menjadi dasar penyusunan model untuk memprediksi hasil akhir sifat produk dalam proses perlakuan panas, sehingga didapat hasil yang lebih optimal dan efisien. Penelitian ini masih memerlukan pengembangan dan penyempurnaan dengan lebih erat berkolaborasi dengan industri untuk mendapat hasil yang lebih akurat hingga dapat diaplikasikan. Semakin banyak jumlah data yang didapat maka semakin presisi pemodelan berbasis data empiris tersebut serta memberikan arti yang lebih besar dalam peningkatan produktivitas proses perlakuan panas di Industri.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan berperan dalam proses penyusunan buku pidato pengukuhan ini.

Depok, 1 November 2023

Penulis,

Myrna Ariati Mochtar

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
1. Pendahuluan	2
2. Posisi Perlakuan Panas Pada Industri Manufaktur.	3
3. Mengapa Perlu Melakukan Perlakuan Panas (Heat Treatment)	6
4. Hubungan Perlakuan Panas ,Struktur Mikro, dan Kekuatan/Kekerasan Material.	7
5. Sifat Mekanis Yang Dicapai Dalam Proses Perlakuan Panas.	12
6. Berbagai Penyimpangan /Ketidak Sempurnaan Dalam Perlakuan Panas.	18
7. Model Berbasis Data Empiris Untuk Prediksi Kondisi akhir Produk.	23
8. Model Pertumbuhan Butir Austenite Prior.	32
9. Validasi Model	36
10. Penutup	39
DAFTAR PUSTAKA	39
UCAPAN TERIMAKASIH	43
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	51

Penghormatan Kepada Hadirin

Bismillahirrahmanirrahiim.

Yang Terhormat:

- Bapak Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Indonesia;
- Ketua, Sekretaris dan para Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Indonesia;
- Ketua, Sekretaris, dan Para Anggota Senat Akademik Universitas Indonesia;
- Ketua, Sekretaris, dan Para Anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia;
- Para Dekan dan Direktur Sekolah di lingkungan Universitas Indonesia;
- Kepala Badan, Para Direktur, Para Kepala Kantor, Para Kepala Biro, dan Para Ketua Unit di lingkungan Universitas Indonesia;
- Bapak Dekan, para Wakil Dekan, dan seluruh jajaran pimpinan Fakultas Teknik Universitas Indonesia ;
- Ketua, Sekretaris, dan Para Anggota Dewan Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- Ketua, Sekretaris, dan Para Anggota Senat Akademik Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- Para Ketua dan Sekretaris Departemen serta Ketua Program Studi di Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- Para Gurubesar, Para Staf Pengajar, Staf Tenaga Kependidikan, Mahasiswa dan Alumni Departemen Teknik Metalurgi dan Material
- Keluarga saya yang tercinta
- Prof.Gunawan Wibisono, Prof.Nahry yang pada hari ini dikukuhkan bersama sebagai Guru Besar;
- Para Guru Besar tamu, sahabat, kerabat , sanak saudara, dan semua tamu undangan yang saya muliakan.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua

Pada Kesempatan yang berbahagia ini, idzinkan kami mengucapkan Syukur Alhamdulillah ke Hadirat Allah SWT, atas Rahmat dan karuniaNya

Sehingga pada hari ini, Rabu, 1 November 2023, kita dapat berkumpul di Gedung Makara Art Centrum Kampus UI Depok dalam rangka upacara pengukuhan saya sebagai Guru Besar Tetap bidang Ilmu Perlakuan Panas, Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Sebelum saya menyampaikan pidato pengukuhan ini, perkenankanlah saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih kepada seluruh hadirin yang telah berkenan meluangkan waktu mengikuti upacara ini.

Kehadiran bapak dan ibu sekalian sungguh merupakan kehormatan dan kebahagiaan bagi saya dan keluarga.

Terimakasih kepada Bapak Rektor Universitas Indonesia atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan pidato ilmiah Guru Besar saya dengan dengan judul:

“Peningkatan Produktifitas Proses Perlakuan Panas di Industri Manufaktur dengan Pemodelan berbasis data Empiris.”

Ibu/Bapak Hadirin yang saya hormati,

1.PENDAHULUAN

Di Indonesia, di tengah-tengah perekonomian yang masih belum bersahabat, kinerja perekonomian, terutama di sektor industri pengolahan nonmigas selama triwulan I-2023 masih mencatat pertumbuhan yang konsisten, bahkan masih menjadi sumber utama pembentuk struktur produk domestik bruto (PDB), selama tiga bulan pertama tahun ini, yang mencapai 5,03%[1]

Sektor industri manufaktur tetap sebagai kontributor paling besar dalam menopang pertumbuhan ekonomi nasional pada triwulan I-2023. Sumbangsihnya hingga 16,77 persen, mengalami peningkatan dibandingkan periode sebelumnya (triwulan IV-2022) sebesar 16,39 persen ,dinyatakan oleh Agus Gumiwang Kartasasmita.)[1].

Disamping industri makanan dan minuman, pada triwulan I-2023, industri alat angkutan menunjukkan pertumbuhan tertinggi sebesar 17,3 persen, diikuti industri logam dasar (15,5 persen) serta industri barang logam, komputer, barang elektronik, optik, dan peralatan listrik (12,8 persen). Disamping itu, industri manufaktur juga berkontribusi meningkatkan pendapatan perpajakan sebesar 30% dan nilai ekspor sebesar 74%

Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan Prompt Manufacturing Index-Bank Indonesia (PMI-BI) kuartal III-2022 yang tercatat sebesar 53,71% atau berada pada fase ekspansi (indeks >50%), meningkat dari 53,61% pada triwulan sebelumnya. Indeks merupakan aktivitas ekonomi dalam sektor manufaktur dan memberikan gambaran tentang kesehatan atau pertumbuhan sektor tersebut.[2]

Index (PMI) Manufaktur Indonesia yang dirilis oleh S&P Global, menunjukkan di posisi 51,2 pada bulan Februari 2023 atau masih dalam tahap ekspansi. PMI manufaktur Indonesia pada bulan kedua tahun 2023 mampu melampaui PMI manufaktur Myanmar (51,1), Malaysia (48,4), Taiwan (49,0), Jepang (47,7), Inggris (49,2), Amerika Serikat (47,8), Zona Eropa (48,5), Prancis (47,9), dan Jerman (46,5). Diharapkan kedepannya industri manufaktur kita akan tetap ekspansif seiring dengan berangsur membaiknya kondisi geopolitik dan ekonomi global. Selain itu didukung dengan kebijakan pemerintah dalam upaya menciptakan iklim usaha yang kondusif.[3]

Peluang yang besar untuk terus berkembang ini, harus diimbangi dengan peningkatan efisiensi proses dan kualitas produk manufaktur. Berbagai metode untuk terus diupayakan untuk mempertinggi kualitas dan efisiensi produksi industri manufaktur.

2.POSISI PERLAKUAN PANAS PADA INDUSTRI MANUFAKTUR

Industri manufaktur adalah industri pengolahan yang di dalam usahanya mengolah bahan mentah menjadi barang jadi ataupun barang setengah jadi yang mempunyai nilai tambah dimana dalam prosesnya dapat dilakukan secara mekanis dengan mesin ataupun tanpa mesin.

Pada tahun 2022, jumlah perusahaan manufaktur skala menengah dan besar yang tercatat di Indonesia mencapai 29 ribu Perusahaan.[4]

Proses Manufaktur produk logam terdiri dari berbagai rangkaian proses yang luas variasinya yang dilakukan secara berurutan , hingga menjadi produk sesuai spesifikasi. Diantara urutan proses dalam manufaktur , adalah dimulai dari material awal, hingga menjadi produk yang memiliki nilai tambah sesuai spesifikasi yang harus dipenuhi, seperti pada gambar 1 di bawah.

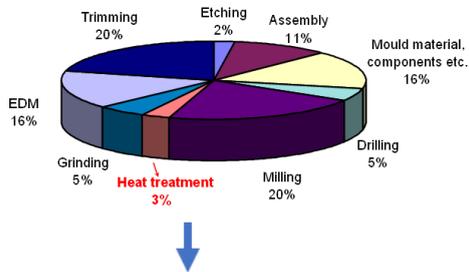


Gambar 1. Proses Manufaktur Logam

Dari gambar di atas, bahwa proses manufaktur dimulai dari bahan /logam mentah, yang merupakan hasil ekstraksi bijih, yang kemudian dilakukan proses pembentukan logam yang dapat dilakukan dengan proses deformasi plastis(seperti pengerolan,ekstrusi, atau drawing atau forging), atau melalui pengecoran logam, atau dengan pembentukan melalui proses Metalurgi serbuk. Setelah proses pembentukan, dilanjutkan dengan proses penyambungan dengan proses pengelasan ataupun pemotongan material sesuai bentuk yang dibutuhkan. Selanjutnya, proses manufaktur produk dilanjutkan dengan proses Perlakuan Panas , untuk mencapai sifat kekuatan mekanis akhir yang dibutuhkan atau untuk memperpanjang umur pakai produk.

Proses Perlakuan panas menjadi amat penting , karena sering dilakukan diakhir proses manufaktur, sebagai penentu pemenuhan spesifikasi produk sesuai standar atau aplikasi.

Komponen biaya dalam memproses material logam menjadi produk jadi dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



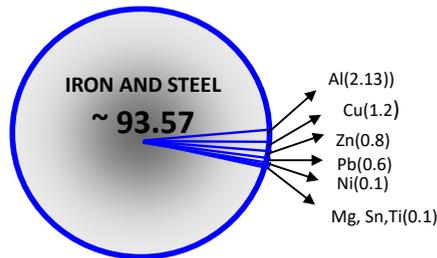
Dengan biaya perlakuan panas yang relatif rendah umur pakai komponen lebih lama

Gambar 2. Komponen biaya proses material menjadi produk jadi

Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa dalam satu produk, misalnya pada produk dies untuk proses manufaktur produk logam. Biaya material cukup besar yaitu 16%, dan biaya proses perlakuan panas sekitar 3% dari total biaya manufaktur produk. Dengan demikian, penggunaan material dengan paduan yang sedang atau rendah dengan biaya rendah, dengan proses pada perlakuan panas yang tepat, akan mendapatkan kekuatan yang tinggi, atau umur pakai produk yang lebih Panjang.

Gambaran produksi logam di dunia secara umum, dapat digambarkan seperti pada gambar 3 berikut.

Dalam industri manufaktur produk logam, masih didominasi dengan logam besi dan baja untuk material Ferrous dan Aluminium untuk material non-Ferrous. Hal ini disebabkan, produksi logam dunia masih didominasi kedua jenis logam tersebut. Berikut adalah gambaran produksi logam dunia secara umum.



Gambar 3. Produksi Logam dunia.

3.MENGAPA PERLU MELAKUKAN PERLAKUAN PANAS (HEAT TREATMENT)?

Pada prinsipnya, proses perlakuan panas adalah pemberian pemanasan dan pendinginan dalam siklus dan waktu yang terkontrol untuk menghasilkan perubahan struktur internal suatu material yang dapat diprediksi. Karena proses perlakuan panas berkaitan dengan perubahan internal struktur material, maka perubahan ini hanya dapat dilihat pengaruhnya dengan pengujian fisik dan mekanik.

Hal yang menjadi penekanan dan tujuan dalam melakukan perlakuan panas material dalam proses manufaktur adalah ;

- Menurunkan biaya produk dengan mengurangi konsumsi energi
- Mengurangi langkah manufaktur
- Meminimalkan distorsi /perubahan dimensi produk
- Penggunaan proses yang ramah lingkungan
- Terintegrasi ke bagian bagian manufaktur

Perlakuan panas adalah langkah unik dalam proses manufaktur karena membentuk struktur dalam material sesuai dengan kuat mekanis dan fisik yang harus dicapai.

Dengan kata lain, dengan mengubah jenis perlakuan panas atau langkah-langkah pemanasan dan pendinginan yang diberikan, kita dapat membuat hasil akhir yang sangat berbeda untuk material yang sama. Misalnya, Salah satu jenis perlakuan terhadap suatu material akan menghasilkan produk produk yang kuat, seperti batang penghubung otomotif atau roda pendaratan pesawat terbang. Dengan mengubah perlakuan, material yang sama dapat dibuat lunak untuk digunakan dalam

aplikasi seperti gasket otomotif atau sekedar paku keling. Perlakuan panas juga dapat membuat produk / part mesin yang cukup tangguh untuk menahan benturan mendadak, seperti pegas rel kereta api atau roda kereta api. Masih ada karakteristik lain yang dapat dihasilkan seperti kekerasan tinggi, ketahanan aus yang tinggi untuk aplikasi bantalan (bearing), atau peningkatan umur Fatigue dan ketahanan pitting pada roda gigi. Hampir semua bahan dapat ditingkatkan sifat-sifatnya dengan perlakuan panas.

Proses perlakuan panas dapat diterapkan untuk material Ferrous maupun non-ferrous.

Misalnya, bagian logam non-besi, seperti Aluminium akan terlalu lemah untuk aplikasi bagian mesin otomotif, dengan perlakuan panas, kekuatannya meningkat, memenuhi persyaratan material mesin otomotif.

Perlakuan panas diterapkan untuk produk-produk ini mengandalkan logam dengan kekuatan yang sangat tinggi. Ini untuk memastikan keamanan yang memadai dan peningkatan kinerja. Proses Perlakuan panas dilakukan di tahap akhir proses produksi, untuk mendapatkan sifat mekanik yang sesuai spesifikasi yang ditentukan untuk suatu produk.

Ibu/Bapak Hadirin yang saya hormati,

4. HUBUNGAN PERLAKUAN PANAS, STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN / KEKERASAN MATERIAL.

Secara umum, material logam dibagi menjadi 2, yaitu logam yang berbahan dasar besi (Ferrous) dan logam yang berbahan dasar bukan besi (non-Ferrous). Umumnya dalam aplikasinya logam digunakan dalam bentuk paduan dengan penambahan logam lain. Sehingga dengan pemaduan, logam akan meningkat kekuatannya. Setiap unsur paduan dalam logam akan mempengaruhi kekuatan dan sifat lainnya dari material, dan membentuk struktur didalam material yang disebut dengan struktur mikro.

Sebagai contoh besi, tidak memiliki kekuatan mekanik tanpa diberi paduan, terutama unsur Karbon. Karbon akan bereaksi dengan besi

membentuk struktur mikro dlm bentuk senyawa atau larutan padat yang disebut dengan Fasa.

Sehingga seperti batang baja di bawah ini pada Gambar 4, jika diamati lebih dekat, akan tampak bahwa material tersebut memiliki bagian bagian kecil yang berbeda warna satu dan lain bagian yang disebut dengan struktur mikro atau fasa. Struktur tersebut terbentuk tergantung kepada komposisi dari material tersebut, dan metode proses manufaktur yang diberikan, termasuk didalamnya proses perlakuan panas. Batang ini merupakan unsur utamanya adalah Fe, dengan unsur padamu utama Karbon, dan beberapa unsur paduan lain misal ada Mn, Si dalam jumlah kecil. Warna yang tampak berbeda dalam batang baja tersebut disebut fasa, yang halus dan kasar disebut butir. Warna yang berbeda menunjukkan perbedaan kandungan karbon dalam baja, pada satu dan lain bagian, dengan karakter dan kekuatan yang berbeda.



Gambar 4. Batang baja dengan fasa yang ada didalamnya.

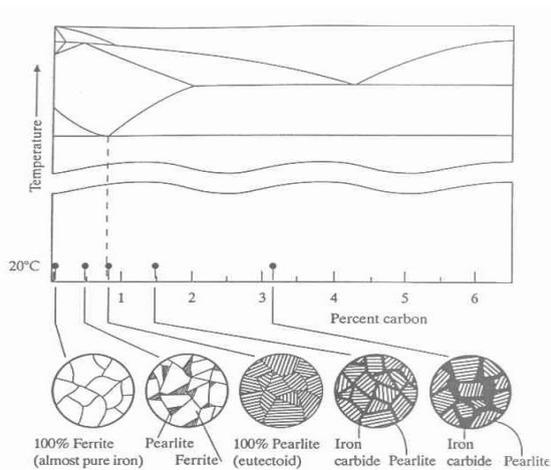
Tabel 1 di bawah ini menunjukkan bahwa unsur besi tanpa penambahan unsur karbon membentuk fasa yang terang, 100% Besi, 0% karbon, dengan kekuatan atau kekerasan yang sangat rendah (Kekerasan 100HV), yang dinamakan dengan fasa Ferit.

Semakin besar penambahan Karbon dalam besi, akan terbentuk senyawa antara besi dan karbon yang sangat keras, yaitu senyawa Fe_3C yang disebut dengan sementit, berwarna gelap dengan kekerasan yang tinggi (900 HV). Sehingga dari 0% C hingga 6% karbon dalam besi, terdapat kombinasi fasa Ferit yang lunak dan sementit yang sangat keras., yang disebut fasa Pearlite.

Tabel 1 Berbagai fasa pada material Baja

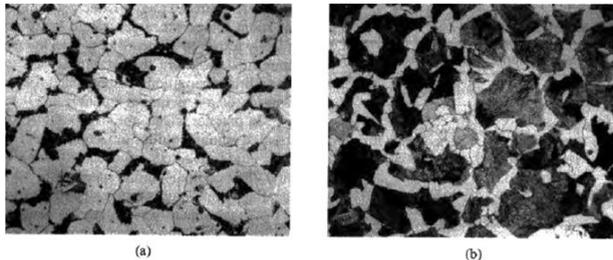
No	Fasa	Kelar max C(%)	Elongasi(e)	Kekerasan(BHN)
1	Ferit	0,02 pada 723°C 0,005 pada 0°C	40	100
2	Austenit	2,00 pada 1140°C 0,85 pada 723°C	2	369
3	Sementit	C=6,8, Fe 93,3	0	650
4	Bainit			469
5	Martensit	=Kelarutan C saat austenisasi	0	550

Semakin kekanan besar prosentase Karbon dalam besi, fasa Sementit semakin banyak, kekerasan material akan semakin tinggi. seperti tampak pada gambar kesetimbangan antara unsur besi dan karbon, gambar 5 di bawah. Sebelah kiri 100% unsur Besi ,0% karbon, sebelah kanan 6% karbon ,dengan fasa 100% Fe₃C (sementit yang sangat keras). Prosentase Karbon dalam besi sebanyak (0-2)% karbon, material ini disebut dengan baja, dan (2 – 4)% karbon disebut dengan besi tuang.



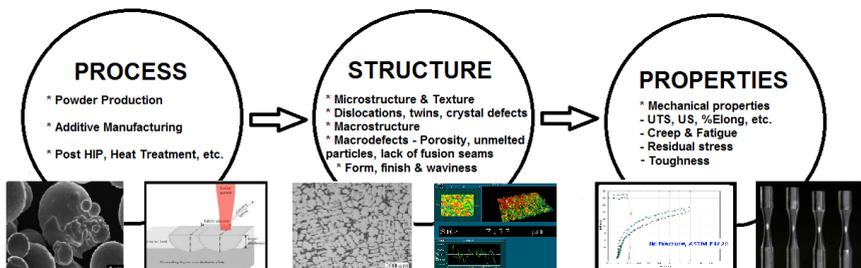
Gambar 5. Struktur mikro paduan Besi-Karbon pada suhu ruang, pada berbagai prosentase karbon[5].

Gambar 6 menunjukkan struktur mikro baja dilihat di bawah mikroskop optik dari baja dg 0,2%C banyak fasa Ferit yang terang, dengan kekerasan rendah. Sebelah kanan, pada baja dengan 0,6% karbon, fasa Pearlit yang kombinasi gelap terang lebih banyak daripada fasa Ferit, sehingga kekerasan lebih tinggi.



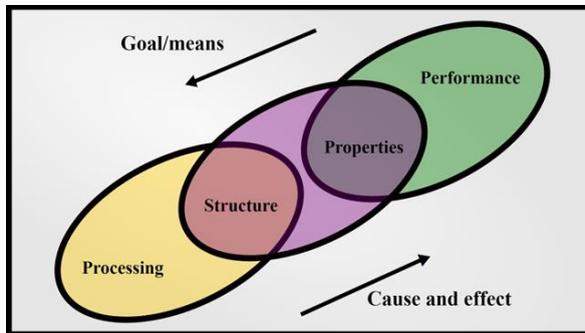
Gambar 6. Struktur mikro baja karbon (a) 0.2% C (b) 0,6% C, dengan mikroskop optik.[5].

Kualitas dan Kekuatan dari suatu produk logam ditentukan oleh Komposisi unsur penyusun material dan proses yang dilakukan dalam pembentukan produk yang akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda pada produk, seperti digambarkan pada gambar 7 di bawah ini. Disamping fasa dan besar butir, struktur mikro yang lain yang mempengaruhi adalah dari dislokasi dalam kristal, juga adanya endapan yang terbentuk.



Gambar 7. Hubungan Proses pada Material akan menghasilkan struktur mikro material logam yang berbeda, yang akan berpengaruh terhadap sifat mekanis dan fisik produk.[6]

Eratnya keterkaitan antara proses, struktur mikro dan kinerja dari produk dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini, pada gambar 8



Gambar 8. Pengaruh proses Manufaktur terhadap struktur mikro , sifat dan kinerja produk logam[7]

Gambar 8 menerangkan Dengan pemilihan komposisi unsur dalam material produk dan proses pemrosesan yang tepat, maka akan didapat struktur mikro yang tepat yang menghasilkan sifat mekanik sesuai yang diharapkan, untuk memenuhi spesifikasi sifat produk. Sebagai contoh, material dengan komposisi yang sama, dapat memiliki kekuatan yang sangat berbeda, tergantung dari proses pembentukan , yang menghasilkan struktur mikro didalam yang berbeda dengan sifat yang berbeda pula.

Gambar 7 dan gambar 8 di atas , dapat dimulai dari kanan, yaitu pertimbangan tuntutan kinerja/sifat produk tertentu yang mengharuskan engineer memilih bahan yang memiliki sifat mekanik dan fisik tertentu. Sifat hanya bisa didapat dalam bahan yang dipilih dengan menghasilkan struktur mikro tertentu yang berarti didapat dengan siklus pembentukan dan perlakuan panas tertentu.

Sebaliknya metodologi berbasis sains (dari kiri ke kanan) dimulai dengan pemilihan bahan yang membutuhkan proses atau rangkaian proses tertentu untuk dilakukan agar menghasilkan struktur mikro yang diprediksi dalam material yang memiliki sifat mekanik dan fisik dan , yang

pada akhirnya menentukan kemampuan kinerja penggunaan akhir dari produk.

Yang jelas dari kedua metode proses manufaktur yang berbeda di atas untuk pembuatan produk apa pun, tampak bahwa setelah proses pembentukan (mekanik), ilmu perlakuan panas, merupakan kompetensi inti yang kontribusinya sangat penting untuk menghasilkan efisiensi biaya, daya tahan, dan kinerja produk.

Material produk yang tinggi sifat mekaniknya, terdiri dari struktur mikro yang tinggi sifat mekaniknya. Dengan demikian proses Heat treatment (perlakuan panas) dalam proses manufaktur logam, memungkinkan untuk membuat produk dengan komposisi yang sederhana, dengan harga yang murah, dapat mencapai sifat kekerasan tinggi yang diharapkan, dan memperpanjang usia pakai produk logam.

Ibu/Bapak Hadirin yang saya muliakan,

5. SIFAT MEKANIS YANG DICAPAI DALAM PROSES PERLAKUAN PANAS.

Secara umum, sifat mekanis yang dituju dalam proses perlakuan panas dibagi menjadi sebagai berikut :

1. Proses Pengerasan Material

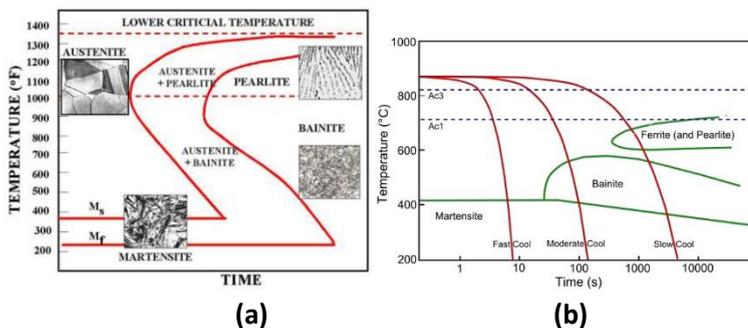
Pengerasan Material bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari material, dan diikuti dengan peningkatan kekuatan material. Biasanya proses ini dilakukan diakhir proses produksi. Metode untuk pengerasan material baja meliputi :

- a. Pemanasan ke temperatur tinggi (austenisasi)
- b. Pendinginan cepat (Quenching) ke media pendingin cepat, seperti air, oli atau air garam. Maka terjadi perubahan struktur mikro dalam baja, dari fasa Ferit yang lunak, dengan kekerasan 100 VHN menjadi fasa Martensit, dengan kekerasan 500 VHN
- c. Pemanasan Kembali ke temperatur yang lebih rendah dari proses pemanasan awal (tempering). Tempering menjadikan baja ini memiliki kekerasan tinggi, namun cukup ulet. (berikan gambar komponen baja yang sedang di heat treatment.).

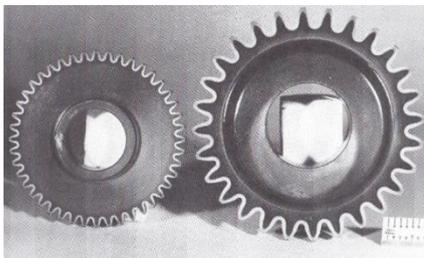
Siklus pemanasan pengerasan dapat dilihat pada gambar 9, dengan struktur mikro Martensit dengan kecepatan pendinginan yang tinggi pada gambar 10 a dan b.



Gambar 9. Siklus pemanasan dan pendinginan cepat baja untuk peningkatan kekerasan.



Gambar 10. Fasa austenite, Martensit, Pearlite dan Bainite pada temperatur terbentuknya (a)[8], dan pengaruh kecepatan pendinginan pada struktur mikro baja yang terbentuk(b)[9]



(a)



(b)

Gambar 11. Roda gigi dengan perlakuan panas pengerasan permukaan induksi dan Karburisasi (a)[10] Pergesekan antar muka antara roda gigi dalam dan luar(b)[11]

Sebagai contoh pada komponen yang dalam aplikasinya bergesekan dengan material lain yang keras, seperti roda gigi, pada gambar 11, atau produk baut yang memerlukan kekerasan dan kekuatan yang tinggi, dengan struktur mikro Martensit.

Proses pengerasan yang lain dilakukan untuk memperpanjang umur pakai produk logam. Sebagai contoh, pada komponen pada dies (Gambar 12) pada proses die casting, ada komponen pin insert dies, atau bagian cavity pada dies, yang bergesekan dengan logam cair setiap proses penuangan, diperlukan ketahanan aus dan kekerasan permukaan yang tinggi. Maka dilakukan perlakuan termokimia, yaitu dengan memanaskan material dalam suhu sekitar 900°C atau 550°C dalam atmosfer mengandung Carbon atau Nitrogen tinggi, sehingga unsur Carbon atau Nitrogen akan masuk berdifusi ke dalam material melalui permukaan selama pemanasan, maka akan membentuk fasa Martensit dengan prosentase Carbon tinggi atau Nitrogen akan bereaksi dengan Fe atau unsur paduan lain kalau ada, membentuk senyawa Fe_xN_y yang sangat tinggi kekerasan pada permukaan komponen baja hingga kedalaman tertentu. Sehingga kekerasan permukaan amat tinggi. Permukaan, bagian dalam tetap rendah kekerasannya dan cukup ulet, tidak rawan terhadap perpatahan. Dengan demikian, cetakan /dies dapat digunakan dengan lebih banyak jumlah shotnya, mempertinggi efisiensi proses produksi.



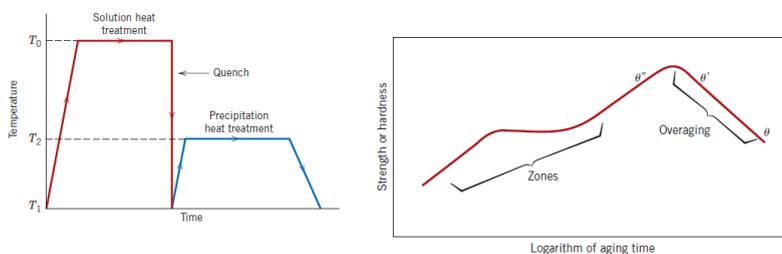
Gambar 12. Dies(cetakan) untuk pengecoran logam Aluminium dengan cavity (lubang) dan pinn insert yang bergesekan dengan logam cair. [12]

Sedang untuk material non-ferrous pengerasan dapat dilakukan dengan proses Precipitation Hardening, sebagai contoh adalah pada material paduan Al-Si pada komponen mesin otomotif.

Metode proses Precipitation hardening adalah sebagai berikut :

- Pemanasan kesuhu pelarutan paduan (Solution Treatment)
- Pendinginan cepat (Quenching) ke media Pendingin.(Pembentukan fasa tidak stabil)
- Pemanasan Kembali ke temperatur yang lebih rendah(Aging) untuk membentuk endapan, yang akan meningkatkan kekuatan material.

Dengan perlakuan panas Aging ini, maka paduan Aluminium yang berkekuatan rendah, akan meningkat kekerasan dan kekuatannya mendekati kekuatan dan kekerasan baja. Seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Perlakuan pemanasan dan aging pada Penguatan endapan(a) dan Pengaruh waktu pemanasan terhadap kekerasan/ kekuatan paduan Al-Si(b)[13].

2. Proses Pelunakan (Anil)

Tujuan proses pelunakan atau proses anil adalah meningkatkan keuletan dari material yang bertujuan

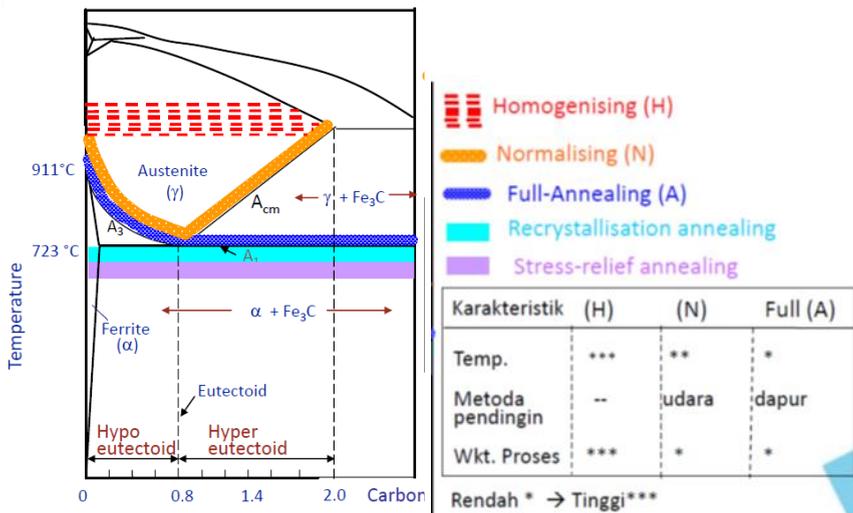
a. Untuk mempersiapkan untuk proses selanjutnya, agar mudah dideformasi (anil rekristalisasi/anil proses)

b. Untuk Menyeragamkan butiran fasa, atau memperhalus butiran fasa untuk meningkatkan kekuatan material. (Normalisasi)

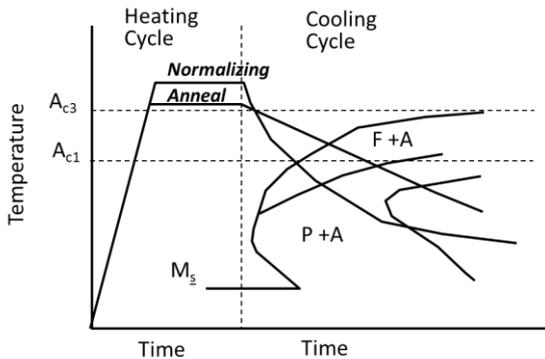
c. Untuk mendapatkan distribusi unsur yang merata pada bagian material misal setelah pengecoran (Anil Homogenisasi).

d. Untuk menghilangkan tegangan/stress akibat pengerjaan atau pembentukan yang diberikan, sehingga produk lebih mudah dilakukan pemrosesan (Anil Stress relief), meningkatkan keuletan, sehingga terhindar dari perpatahan selama penanganan produk. Perlakuan ini dilakukan dengan memanaskan material pada temperatur yang cukup rendah, sekitar 400-500°C dan didinginkan perlahan. (berikan gambar FeC diagram dg rentang temperatur anil)

Berbagai rentang temperatur proses anil ditunjukkan pada gambar 14. Gambar 15 menunjukkan siklus pemanasan dan pendinginan yang berbeda dalam proses anil penuh dan anil normalisasi, yang menghasilkan struktur mikro dan sifat akhir yang berbeda pula.



Gambar 14. Rentang Temperatur Anil [13])



Gambar 15. Perbedaan siklus panas anil Normalisasi dan anil Penuh.(ASM International, 1991).

Dalam proses perlakuan panas, faktor yang mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk, besar butir dan kekuatan material, adalah sebagai berikut

- Besarnya temperatur pemanasan dan temperatur pendinginan.
- Lamanya waktu tahan pada proses pemanasan dan pendinginan.
- Kecepatan pemanasan dan pendinginan yang dilakukan.
- Atmosfir Proses Pemanasan Pendinginan.

Begitu banyak parameter yang mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan akhir dari produk, dan setiap variasi tersebut akan menghasilkan berbagai kombinasi fasa, ukuran butir fasa, komposisi permukaan, tegangan dalam material yang akan menghasilkan sifat mekanis yang berbeda. Untuk memperoleh sifat mekanis yang diinginkan dan telah ditetapkan dalam spesifikasi, maka ditetapkan prosedur perlakuan panas yang diperlukan. Namun untuk mencapai sifat yang diinginkan, mengatasi dan menghindarkan berbagai kondisi penyimpangan dan juga meningkatkan efisiensi biaya dan produktifitas proses, sepanjang waktu, terus dikembangkan berbagai riset metode perlakuan panas oleh para industri dan berbagai peneliti.

Dikembangkan berbagai parameter atau siklus baru untuk menghasilkan berbagai struktur mikro dan sifat mekanis yang diharapkan.

Setiap siklus mengacu pada tingkat pemanasan, penahanan, dan kecepatan pendinginan logam yang berbeda.

Pengembangan metode ini, terus dilakukan secara kontinyu, sehingga dihasilkan produk logam dengan standar berbeda dengan sifat fisik dan kimia yang sangat spesifik. Dalam pelaksanaan proses Perlakuan panas, banyak faktor yang menyebabkan tidak sempurnanya hasil proses perlakuan panas. Berbagai penelitian juga dilakukan untuk menghindarkan didapatnya produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang menjadi tujuan.

6. BERBAGAI PENYIMPANGAN /KETIDAK SEMPURNAAN DALAM PERLAKUAN PANAS

Dalam proses Perlakuan panas, temperatur pemanasan, waktu tahan, kecepatan pemanasan dan pendinginan yang diterapkan, sangat mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk, dan sifat mekanis material. Karena berbagai parameter yang mempengaruhi tersebut, dalam pelaksanaan perlakuan panas dilapangan, sering ditemui ketidak sempurnaan atau penyimpangan dalam proses Perlakuan panas, atau tidak tercapainya sifat akhir yang diharapkan, sehingga tidak terpenuhinya spesifikasi produk yang dibutuhkan.

Ibu/Bapak Hadirin yang saya muliakan,

Beberapa contoh ketidak sempurnaan dalam proses [perlakuan panas antara lain adalah :

1. Dekarburisasi

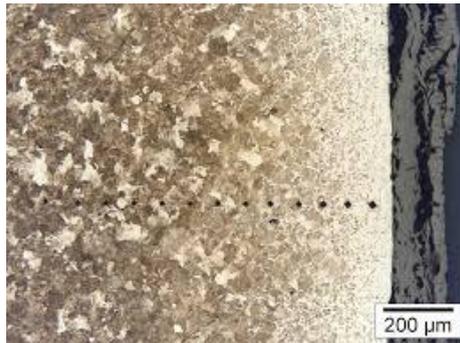
Penyebab : Dekarburisasi terjadi ketika kandungan karbon pada permukaan komponen logam berkurang selama proses perlakuan panas. Ini dapat disebabkan oleh kontrol atmosfer furnace yang tidak memadai atau paparan oksigen yang berlebihan.

Efek: Dekarburisasi menyebabkan penurunan kekerasan permukaan, kekuatan, dan ketahanan aus komponen, yang berdampak negatif pada kinerjanya.

Pencegahan: Gunakan atmosfer terkontrol atau lapisan pelindung untuk meminimalkan paparan oksigen selama perlakuan panas.

Optimalkan atmosfer tungku dan kontrol suhu untuk mencegah dekarburisasi yang berlebihan.

Terjadinya dekarburisasi dapat dilihat pada gambar 16, dimana bagian permukaan berwarna putih, menunjukkan fasa ferit yang sangat rendah karbon, dengan kekerasan yang sangat rendah.



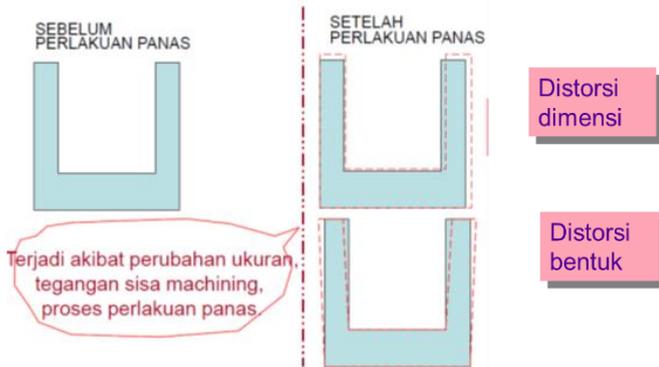
Gambar 16. Penampang komponen baja yang mengalami dekarburisasi [15]

2. Distorsi.

Penyebab: Terjadi distorsi akibat laju pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam selama proses perlakuan panas. Distribusi suhu yang tidak merata, pemasangan yang tidak tepat, atau metode pendinginan yang tidak memadai dapat menyebabkan distorsi.

Efek: Distorsi menghasilkan ketidakakuratan dimensi dan dapat menyebabkan pemasangan komponen yang tidak tepat, yang memengaruhi fungsionalitas dan perakitan.

Pencegahan: Optimalkan pemasangan dan desain untuk mempromosikan pemanasan dan pendinginan yang seragam. Terapkan metode quenching yang sesuai, seperti laju pendinginan terkontrol atau penggunaan media quenching, untuk meminimalkan distorsi. Pertimbangkan teknik menghilangkan stres setelah perlakuan panas untuk mengurangi tegangan sisa.



Gambar 17. Contoh Distorsi material akibat Perlakuan Panas

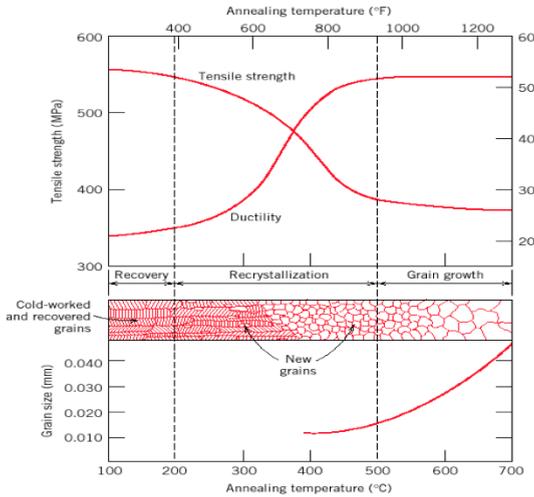
3. Pertumbuhan Butir.

Penyebab: Pertumbuhan butiran adalah pembesaran butiran logam selama perlakuan panas, biasanya karena kontak yang terlalu lama dengan suhu tinggi. Ini dapat terjadi ketika material dipanaskan di atas suhu kritisnya untuk waktu yang lama atau waktu pendinginan yang tidak tepat.

Efek: Pertumbuhan butir dapat mengakibatkan berkurangnya sifat mekanik, seperti kekuatan dan ketangguhan, serta penurunan stabilitas dimensi.

Pencegahan: Kontrol laju pemanasan dan pendinginan untuk meminimalkan waktu yang dihabiskan pada suhu tinggi. Terapkan metode pendinginan yang sesuai, seperti pendinginan minyak atau air, untuk mendinginkan material dengan cepat dan mencegah pertumbuhan butir yang berlebihan. Pertimbangkan penggunaan unsur penghambat pertumbuhan butir atau elemen paduan untuk mengontrol pertumbuhan butir.

Gambar 18 menunjukkan, bahwa temperatur anil yang terlalu tinggi dapat menimbulkan pertumbuhan butir, sehingga menurunkan kekuatan dan kekerasan material.



Gambar 18. Pengaruh Temperatur Pemanasan anil terhadap pertumbuhan butir baja .[13]

4. Quench Cracking

Penyebab: Cracking pada saat pendinginan cepat terjadi karena tidak seragamnya tegangan pada bagian permukaan dan bagian dalam dari produk , yang disebabkan ketidak seragaman penurunan temperatur pada bagian permukaan dan bagian dalam produk selama proses pendinginan.

Efek : Terjadi tarik menarik tegangan bagian permukaan produk dan bagian dalam material yang besar . Jika tegangan melebihi kekuatan Tarik material, akan terjadi retak pada material.

Pencegahan : Penyeragaman tegangan antara bagian permukaan produk dan bagian dalam produk, dapat dilakukan dengan memilih media quench dengan heat transfer atau severity factor yang lebih kecil. Atau dapat dilakukan Perlakuan Martempering, dengan pemilihan temperatur yang tepat (berikan siklus perlakuan martempering)

Gambar 19 menunjukkan terjadinya quench crack pada alat kerja pada baja karbon tinggi. Dan penjalaran di sepanjang batas butir austenite prior. Evaluasi menunjukkan bahwa hal ini disebabkan pemberian temperatur austenisasi melebihi standar, atau kondisi pendinginan yang terlalu cepat.



Gambar 19.Retak pada komponen alat kerja pada baja karbon tinggi setelah Quench dan Temper(a) Penjalaran crack antar kristal disepanjang batas butir austenite prior.[16].

5. Terdapatnya Austenite sisa pada produk.

Penyebabnya : Austenit yang tersisa yang terdapat pada produk akhir perlakuan panas , dapat menyebabkan terjadinya perubahan dimensi pada suhu ruang setelah proses perlakuan panas selesai dilakukan. Hal ini disebabkan karena Fasa austenite bersifat tidak stabil pada suhu ruang, sehingga akan bertransformasi , seiring dengan waktu, dan cukupnya energi transformasi austenite.

Efeknya : Pada saat proses pendinginan cepat, produk tidak mengalami crack, namun dengan bertambahnya waktu, crack/retak produk akan timbul, menyebabkan gagalnya penggunaan produk.

Pencegahan : Pentingnya diperhatikan penggunaan media quench dengan kecepatan yang sesuai untuk menghasilkan fasa Martensit 100%, namun tidak menimbulkan quench cracking. Variasi waktu pencelupan di media pendingin juga dapat mengurangi adanya austenite sisa. Sangat penting untuk dapat dipastikan tidak terdapatnya Austenit sisa dalam produk setelah proses perlakuan panas selesai.

7. MODEL BERBASIS DATA EMPIRIS UNTUK PREDIKSI KONDISI AKHIR PRODUK.

Perjalanan Panjang penelitian yang telah saya lakukan dengan kerjasama dan dukungan dari berbagai industri baik industri manufaktur maupun industri perlakuan panas, telah menghimpun begitu banyak data untuk berbagai jenis material dengan berbagai siklus dan parameter proses perlakuan panas, dengan berbagai kondisi dan sifat spesifik untuk mencapai berbagai kondisi optimum sifat mekanis dan struktur mikro yang sesuai spesifikasi produk.

Demikian juga penelitian dalam mencegah atau menghindarkan ketidak sempurnaan(cacat produksi) dalam proses perlakuan panas yang kerap terjadi dalam proses perlakuan panas. Dengan berbagai penelitian yang berbasis pada material, spesifikasi yang dibutuhkan dan juga berbagai kasus di industri, telah terhimpun begitu banyak data untuk berbagai jenis material dengan berbagai siklus dan parameter proses perlakuan panas, untuk mencapai berbagai kondisi optimum sifat mekanis dan struktur mikro yang sesuai spesifikasi produk.

Beragam data yang diperoleh adalah :

- Hubungan temperatur, Waktu tahan austenisasi, kecepatan pemanasan, kecepatan pendinginan, temperatur dan waktu temper, pada proses pengerasan, atau berbagai proses anil terhadap besar butir, kekerasan, kekuatan, ketangguhan, prosentase Fasa, Prosentase Austenit sisa, prosentase distorsi pada berbagai material.
- Hubungan temperatur pelarutan,kecepatan pendinginan, temperatur dan waktu aging, terhadap kekerasan, kekuatan pada proses penguatan endapan pada paduan Alumunium.
- Hubungan temperatur ,waktu tahan proses pemanasan, komposisi unsur Karbon dan Nitrogen pada perlakuan termokimia Karburisasi, Nitriding, terhadap kedalaman pengerasan dan kekerasan, ketahanan aus material baja sebagai dies pada industri.

- Hubungan variasi proses pemanasan dan pendinginan , perubahan atmosfer furnace ,dengan terjadinya masalah quench crack, dan tidak terpenuhinya sifat mekanik

Data data penelitian sangat beragam dan spesifik untuk setiap jenis produk. Bahkan setiap adanya kondisi material awal yang berbeda,atau perubahan temperatur, atau waktu tahan dalam proses, diperlukan penelitian dan trial ulang untuk mengetahui sifat mekanis yang akan dicapai pada kondisi yang berbeda.

Proses trial ulang setiap adanya perubahan parameter proses membutuhkan biaya, waktu , material dan energi yang tidak sedikit. Pergantian parameter perlakuan panas membuat diperlukannya trial, dengan memprediksi hasil berdasarkan data empirik sebelumnya dan koreksi dan kalibrasi dilakukan berdasarkan perkiraan. Hal tersebut akan sangat sulit mendapat hasil yang optimum dan tidak efisien, terutama untuk dunia industri.[17]

Salah satu cara untuk dapat memprediksi pengaruh dari variable proses perlakuan panas, terhadap struktur mikro, dan sifat mekanik material adalah dengan menyusun persamaan Fenomenologi dari pengaruh beberapa parameter perlakuan panas terhadap hasil akhir berupa struktur mikro dan kekuatan. Dari berbagai riset yang dilakukan , didapat pengaruh temperatur,waktu,komposisi,atmosfir terhadap sifat, yaitu struktur mikro, besar butir, kekuatan kekerasan. Tidak ada satu kecenderungan yang dapat memprediksi untuk beberapa variable dalam satu rentang hasil. Sebenarnya dapat dibuat suatu kecenderungan yang menggambarkan hubungan beberapa parameter dengan hasil akhir dan fenomena yang berbeda. Braby[18]. Model atau kecenderungan yang dimaksud akan menggunakan asumsi serupa tentang beberapa proses yang mendasari , tapi berbeda untuk hal lain.

Upaya dilakukan untuk mengatur banyak data variabel ke dalam kelompok dengan fitur serupa dan untuk membandingkan konsekuensi dari fitur tersebut dengan pengamatan eksperimental yang sebenarnya. Didapat bahwa dengan menunjukkan beberapa asumsi tidak konsisten dengan pengamatan eksperimental, maka model atau kecenderungan tersebut didapat dengan memasukkan perbedaannya dalam bentuk

konstanta , sehingga didapat persamaan/ model yang presisi untuk digunakan dalam pekerjaan merancang variable proses dan hasil yang didapat . Penggunaan model dapat untuk memprediksi efek pada kondisi yang belum ada secara eksperimental .

Model ini mungkin hanya konsep hubungan antara titik akhir yang diamati dan perubahan dalam parameter atau lingkungannya, yang dapat mempengaruhi titik akhir itu. Ini perlu dilakukan penyesuaian matematika(fitting) hubungan dengan efek dan satu atau lebih variabel yang dianggap terkait itu. Tindakan memilih variabel terkait memerlukan pengetahuan mekanisme yang ada dan mendasar[18].

Data data eksperimen yang telah ada, kemudian dihimpun dan dikelompokkan , yang memuat mengenai jenis material, parameter proses berupa temperatur, waktu tahan , atmosfer, faktor kecenderungan,mikrostruktur yang didapat, kekerasan yang didapat. Dengan melihat fenomena dari hubungan parameter dengan hasil yang didapat, kita kemudian menggunakan pendekatan matematik untuk fenomena yang ada, dengan memasukkan faktor faktor yang mempengaruhi hasil akhir. Penyusunan Persamaan Fenomena juga didasari dengan penelitian sejenis yang dilakukan peneliti lain,dan juga dari hasil eksperimen. Hasil kecenderungan matematik dengan berbagai nilai konstanta faktor yang mempengaruhi , kemudian dilakukan pendekatan statistik, untuk mencari kesalahan terkecil antara eksperimen dan persamaan dengan berbagai nilai kontanta tersebut.[19]

Sebagai contoh adalah dalam melakukan Prediksi terhadap pertumbuhan butir Austenit prior pada baja perkakas D-O1 pada pemanasan Austenisasi .

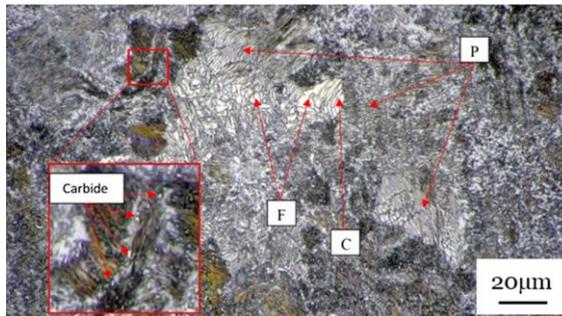
Pada Penelitian ini diteliti pengaruh Temperatur dan waktu pemanasan pada baja Perkakas jenis AISI O1 terhadap besar butir austenite prior .Penelitian ini penting, untuk mendapatkan temperatur dan waktu pemanasan yang menghasilkan fasa austenite prior seragam dan tidak kasar.Karena Fasa austenite yang kasar akan menghasilkan fasa Martensit yang kasar pada pendinginan cepat dan menghasilkan kekuatan dan kekerasan rendah.

Pada penelitian ini digunakan baja paduan AISI O1 yang sering digunakan sebagai cetakan atau perkakas pembentukan logam. Komposisi kimia baja diuji dengan Spektroskopi Emisi Optik (OES). Spesimennya dipotong menjadi batangan dengan ukuran 2 x2x1 cm. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Baja Paduan rendah

Elements	C	Mn	Cr	W	V	Fe
wt.%	1.03	0.995	0.60	0.49	0.13	Balance

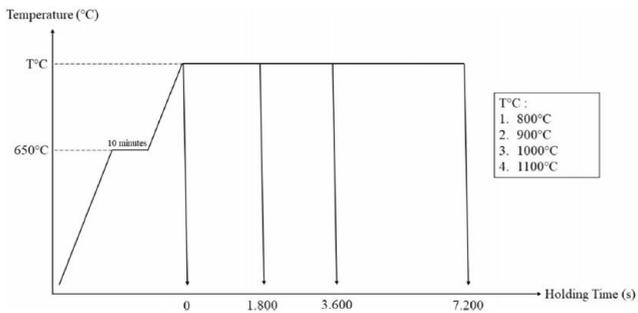
Gambar 20 menunjukkan struktur mikro awal sampel .Bahannya terdiri dari lamelar perlit yang dihasilkan dari kombinasi fase ferit (warna putih) dan sementit fase (garis hitam) berselang seling.. Keberadaan ferit dan sejumlah kecil paduan karbida juga bisa terdeteksi.



Gambar 20. Struktur Mikro Awal Baja Perkakas AISI O1 (etsa kimia nital 3%). Huruf P, F, dan C mewakili perlit, ferit, dan sementit.

Prosedur perlakuan panas disajikan pada Gambar. 21. Pertama, spesimen dipanaskan sampai 650 C selama 10 menit dan kemudian dipanaskan sampai suhu austenisasi tertentu (800-1100 C) dan ditahan selama 0-7200 detik. Laju pemanasan yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 C/menit.

Setelah pemanasan, sampel langsung diquenching dengan menggunakan oli.

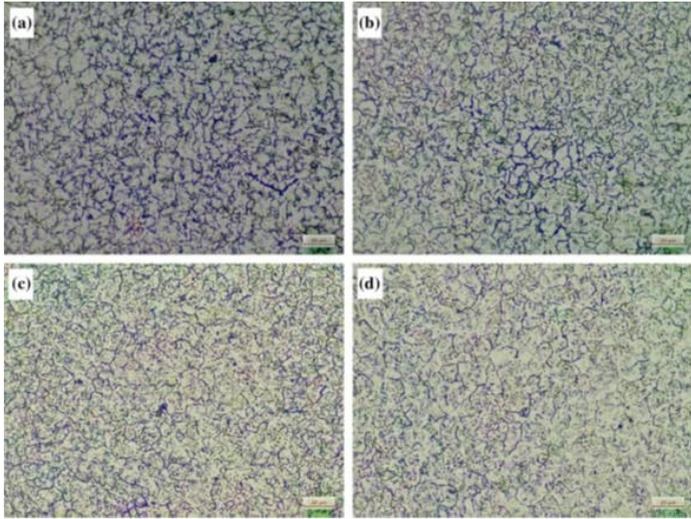


Gambar 21. Skema Perlakuan Panas

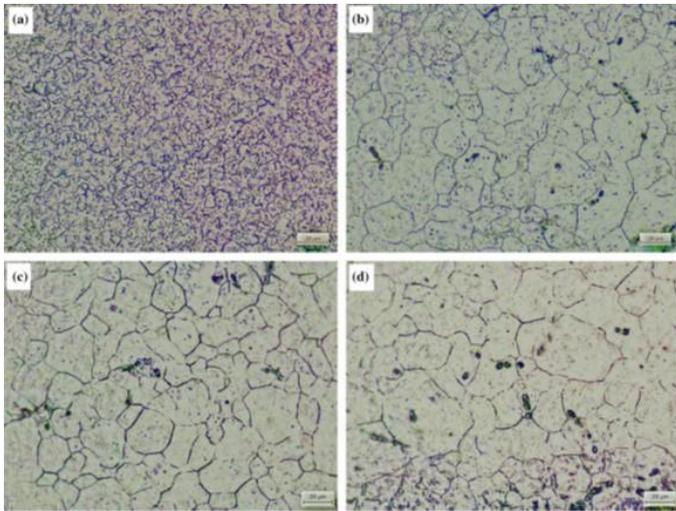
Untuk mengamati batas butir austenit prior, sampel disiapkan mengikuti Teknik metalografi . Pertama, sampel dihaluskan menggunakan kertas abrasif grit yang berbeda mulai dari #80 hingga #1500. Selanjutnya dilakukan pemolesan menggunakan pasta TiO₂ bebas goresan, dilanjutkan dengan etsa dengan reagen Winstead.

Butir austenit Prior diamati menggunakan mikroskop optik dan diukur menurut ASTM E112. Metode Heyn dilakukan dengan penarikan garis diatas gambar struktur mikro dengan bantuan software ImageJ. Untuk setiap sampel, perhitungan ukuran butir adalah dilakukan di 3 area berbeda. Foto pengaruh temperatur austenisasi dan waktu tahan pada besar butir fasa austenite prior dapat diamati pada gambar 22-25 berikut.

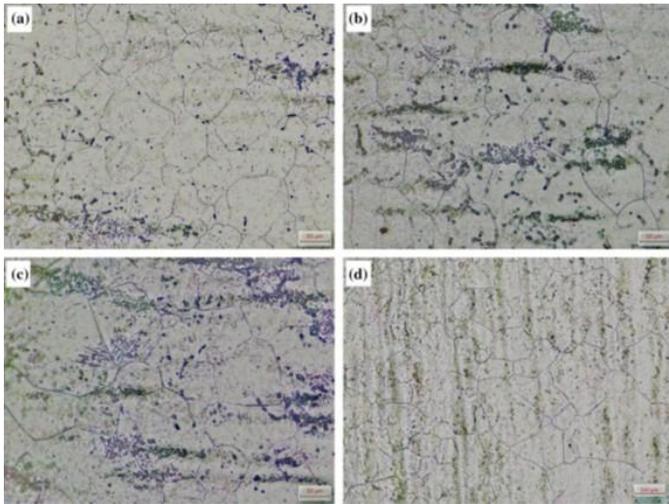
Dapat diamati bahwa ukuran butir austenit prior meningkat dengan meningkatnya suhu austenisasi dan waktu tahan , dengan adanya penggabungan butir yang menyatu satu sama lain pada suhu tertentu menghasilkan butiran yang lebih besar [20] Batas butir memiliki tegangan permukaan yang tinggi (energi bebas permukaan persatuan luas) karena permukaan memiliki energi bebas yang lebih tinggi daripada area dalam butir. Oleh karena itu, untuk mengurangi energi, polikristalin bahan cenderung untuk mengurangi daerah batas butir dengan peningkatan ukuran butir (R.E. Smallman & R.J.Bishop, 1999).



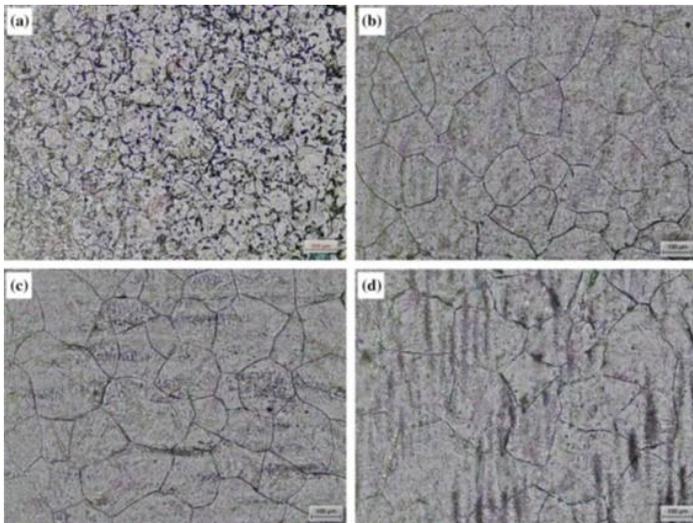
Gambar 22. Mikrostruktur batas butir austenit dipanaskan pada suhu 800° C dengan waktu tahan yang berbeda (a) 0 s; (b) 1800-an; (c) 3600 detik; (d) 7200 dtk[22]



Gambar 23. Mikrostruktur batas butir austenit dipanaskan pada suhu 900 C dengan holding time yang berbeda (a) 0 s; (b) 1800-an; (c) 3600 detik; (d) 7200 dtk[22]



Gambar 24 Mikrostruktur batas butir austenit dipanaskan pada suhu 1000 C dengan holding time yang berbeda (a) 0 s; (b) 1800-an; (c) 3600 detik; (d) 7200 dtk.[22] .

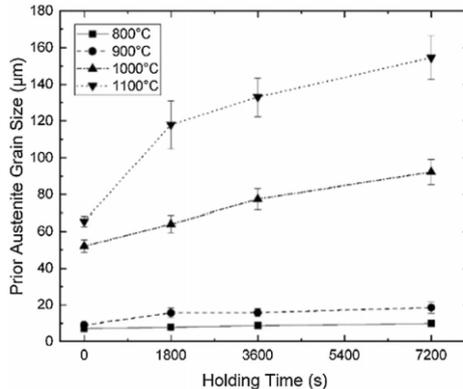


Gambar 25. Mikrostruktur batas butir austenit dipanaskan pada suhu 1100 C dengan holding time yang berbeda (a) 0 s; (b) 1800-an; (c) 3600 detik; (d) 7200 dtk(Mochtar et al., 2023)

Gambar 22-25 mengilustrasikan hubungan antara rata-rata ukuran butir austenit prior dengan mikroskop optik pada berbagai suhu austenitisasi suhu pada berbagai waktu penahanan. Seperti yang ditunjukkan digambar tersebut,, ukuran butir prior austenit meningkat jauh dengan peningkatan suhu austenitisasi.

Pada Gambar 26, tampak bahwa pada suhu austenitisasi 800 dan 900 C, butir tumbuh sangat lambat sehingga relatif homogen, yang ditunjukkan oleh error bar kecil dalam pengukuran besar butir, yang terkait dengan nilai standar deviasi yang kecil. Dengan peningkatan lebih lanjut suhu di atas 900 C, butir tumbuh dengan kecepatan tinggi dengan signifikan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pemanasan di atas suhu 900 C adalah parameter untuk timbulnya butir kasar. Pada suhu pemanasan yang lebih tinggi dari 1000 dan 1100 C, pengasaran butir dipengaruhi oleh suhu kelarutan paduan karbida yang berbeda dalam matriks menghasilkan pertumbuhan butir yang tidak seragam. Oleh karena itu, standar deviasi dan error bar sampel yang dipanaskan di atas 1000 C lebih besar menunjukkan bahwa ukuran butir lebih beragam. Karakteristik serupa juga ditemukan pada penelitian lain dengan metode perlakuan panas yang serupa[23]. Peningkatan tiba-tiba dalam ukuran butir dapat disebabkan oleh larutnya endapan penghambat batas butir pada temperatur tersebut.

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa pada baja AISI O1 yang digunakan dalam penelitian ini, efek pinning pada sampel adalah terutama disebabkan oleh partikel sementit dan karbida paduan, seperti , Chrom Carbida dan molybdenum karbida. Selama perlakuan panas di atas 900° C, partikel karbida larut dan mengurangi efek tekanan pinning yang menghambat pertumbuhan batas butir. Akibatnya, ukuran butir meningkat dan terjadi pengasaran butir[24]



Gambar 26. Hubungan antara ukuran butir austenite prior dan waktu penahanan pada berbagai temperatur

Gambar 26 menunjukkan pada suhu austenisasi yang lebih tinggi, yaitu 1100 C, pertumbuhan butir terjadi secara cepat dengan bertambahnya waktu tahan hingga 1800 s, dan berkurang dengan semakin lamanya waktu tahan austenitisasi. Perilaku serupa juga diamati pada penelitian lain dengan metode perlakuan panas yang serupa [25]. Pada peningkatan waktu holding butir tumbuh dengan mengurangi stress tidak hanya dalam butir tapi daerah batas butir yang bertindak sebagai kekuatan pendorong untuk pertumbuhan butir. Akibatnya, tingkat pertumbuhan secara bertahap menurun dengan waktu

Contoh hasil pengukuran butir austenite rata rata pada berbagai temperatur dan waktu tahan dapat dilihat pada table 3 di bawah.

Tabel 3. Hasil Pengukuran besar butir Austenit Prior [26]

Time (s)	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	7.11	9.03	53.55	64.27
1800	7.83	15.58	64.01	125.03
3600	8.65	15.76	81.44	136.89
7200	9.94	18.53	93.93	156.38

8. MODEL PERTUMBUHAN BUTIR AUSTENITE PRIOR.

Suhu austenitisasi dan waktu penahanan merupakan dua faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan butir austenit prior selama perlakuan panas. Untuk mengoptimalkan proses, beberapa peneliti mengusulkan rumus untuk memprediksi ukuran butir. Beck dkk.[27] mengusulkan persamaan empiris untuk pertumbuhan butiran aluminium dengan kemurnian tinggi dalam kondisi isothermal yang dijelaskan sebagai berikut:

$$D = Kt^m \quad \text{Pers 1}$$

dimana D adalah ukuran butir rata-rata, t adalah waktu penahanan, K dan m adalah konstanta yang berhubungan dengan suhu anil. Chen [28], Sellars & Whiteman[29] , dan Anelli [30] juga mengajukan persamaannya masing-masing seperti dapat dilihat pada Persamaan 2 dan 3 sebagai berikut:

$$D^n - D_0^n = At \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad \text{Pers 2}$$

$$D = At^m \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad \text{Pers 3}$$

dimana D adalah ukuran butir rata-rata, D_0 adalah ukuran butir awal, t adalah waktu penahanan, T adalah suhu austenisasi, Q adalah energi aktivasi pertumbuhan butir, R adalah konstanta gas universal (8,314 J/mol K), A adalah parameter percobaan, m adalah indeks waktu, dan n adalah indeks pertumbuhan butir. Persamaan yang diajukan oleh Chen et al. dan Sellars dkk. tidak mempertimbangkan indeks waktu sedangkan persamaan yang diajukan Anelli tidak mempertimbangkan pengaruh ukuran butir awal. Persamaan umum yang mempertimbangkan indeks waktu dan ukuran butir awal telah diusulkan oleh beberapa peneliti dan

digunakan dalam penelitian ini, yang dapat dinyatakan sebagai Persamaan 4 [20],[31], [23]

$$D^n - D_0^n = At^m \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad \text{Pers 4}$$

Dengan mengambil logaritma pada kedua ruas Persamaan 4, maka persamaan tersebut diturunkan sebagai:

$$\ln(D^n - D_0^n) = \ln A + m \ln t - \frac{Q}{RT} \quad \text{Pers 5}$$

Pada Persamaan 5, ada empat parameter yang tidak diketahui (A, m, n, dan Q). Nilai n dapat diasumsikan dengan nilai rendah hingga tinggi spt yang pernah dilakukan berbagai peneliti. (yaitu 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, dan 5,0). Nilai Q dapat dihitung menggunakan regresi linier dengan menggunakan data eksperimen hasil pengukuran ukuran butir austenit prior. Jika suhu austenisasi konstan, dengan mengambil turunan parsial terhadap $\ln t$, kita dapat memperoleh:

$$m = \left. \frac{d \ln (D^n - D_0^n)}{d (\ln t)} \right|_{T \text{ constant}} \quad \text{Pers 6}$$

dimana m adalah rata-rata kemiringan grafik. Pada waktu tahanan konstan, dan dilakukan turunan parsial terhadap $1/T$, kita peroleh:

$$Q = \left. \frac{-Rd [\ln (D^n - D_0^n)]}{d \left(\frac{1}{T}\right)} \right|_{t \text{ constant}} \quad \text{Pers 7}$$

Pada Persamaan 7, rata-rata kemiringan adalah $-Q/R$. Nilai A dapat dihitung dari Persamaan 5 menggunakan nilai m dan Q dari model sebelumnya dengan n yang digunakan. Pada penggunaan nilai n yang lain, maka sekumpulan ukuran butir austenit teoritis juga dapat dihitung pada kondisi pemanasan yang sama seperti dilakukan pada eksperimen untuk setiap model.

Untuk mendapatkan nilai n yang tepat, dapat dilihat fungsi kesalahan (Persamaan 8) digunakan untuk menemukan nilai yang sesuai untuk n , yang digambarkan sebagai:

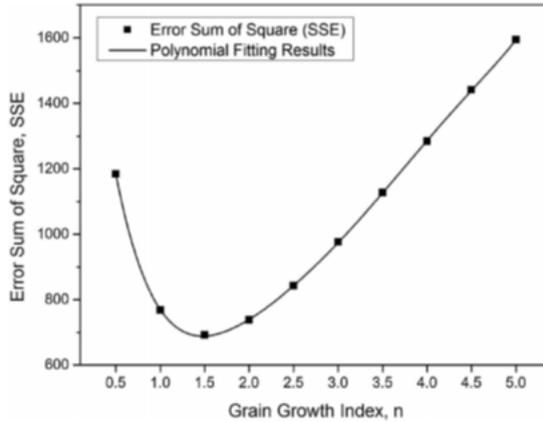
$$f_{\text{error}(n)} = \sum_i (d_i - d)^2 \quad \text{Pers 8}$$

dimana fungsi kesalahan adalah jumlah kesalahan kuadrat antara prediksi ukuran butir menggunakan persamaan pertumbuhan butir pada nilai n yang berbeda (d_i) dan ukuran butir hasil eksperimen (d). Hubungan antara jumlah kesalahan kuadrat dan n ditunjukkan pada Gambar 27.

Fungsi tersebut diperoleh dengan fitting polinomial. Dengan mengambil nilai minimum nilai fungsi kesalahan sebagai tujuan optimasi, dengan menggunakan data fitting polinomial pada Gambar 27, diperoleh Persamaan 9. Turunan pertama dari Persamaan 9 ditunjukkan pada Persamaan 10.

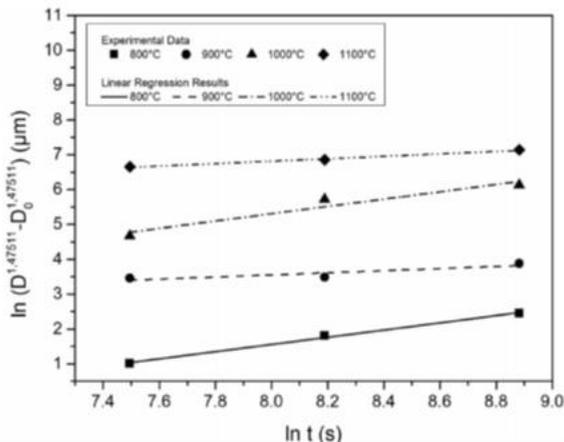
$$f_{\text{Error}(n)} = 1.957n^6 - 37.573n^5 + 293.870n^4 - 1212.822n^3 + 2854.312n^2 - 3469.296n + 2339.046 \quad \text{Pers 9}$$

$$f'_{\text{Error}(n)} = 11.747n^5 - 187.861n^4 + 1175.48n^3 - 3638.47n^2 + 5708.62n - 3469.3 \quad \text{Pers 10}$$



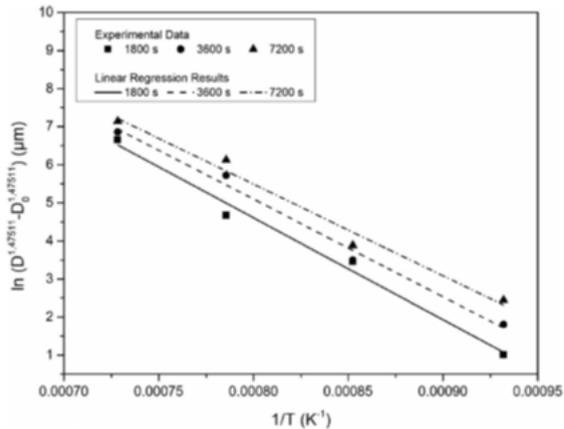
Gambar 27. Hubungan antara jumlah kesalahan kuadrat dan n

Oleh karena itu, ketika nilai f_{Error} sama dengan nol, maka nilai n yang dihitung ternyata 1,47511. Dengan menggunakan nilai n ini maka jumlah kuadrat kesalahan mencapai level terendah sehingga nilai minimum dari fungsi error tersebut merupakan nilai n yang paling sesuai. Dengan memasukkan nilai n sebesar 1,47511 ke dalam Persamaan 6 maka dapat diperoleh nilai m, Q, dan A dengan menggunakan Persamaan 7 dan Persamaan 8. Gambar 28 menunjukkan hubungan antara $\ln (D^n - D_0^n)$ dan $\ln t$ dan Gambar 29 menunjukkan hubungan antara $\ln (D^n - D_0^n)$ dan $1/T$.



Gambar 28, hubungan antara $\ln t$ dan $\ln (D^n - D_0^n)$ pada berbagai temperatur austenisasi

Pada Gambar 28, hubungan antara $\ln t$ dan $\ln (D^n - D_0^n)$ pada berbagai temperatur austenisasi merupakan fungsi linier. Garis-garis hasil regresi linier tampak sejajar satu sama lain, menunjukkan indeks waktu pertumbuhan butir austenit adalah konstan.



Gambar 29. hubungan antara $\ln (D^n - D_0^n)$ dan $1/T$.

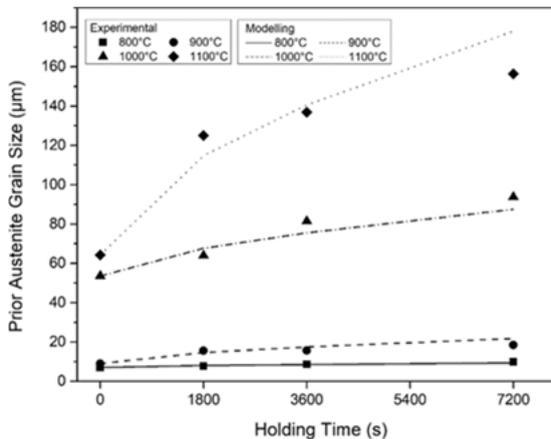
Gambar 29 mengilustrasikan hubungan antara $\ln (D^n - D_0^n)$ dan $1/T$. Pada waktu penahanan yang berbeda, hubungan antara $\ln (D^n - D_0^n)$ dan $1/T$ adalah linier. Selain itu, garis hasil regresi linier hampir sejajar, menunjukkan energi aktivasi pertumbuhan butir austenit untuk sampel bernilai konstan[32]. Dengan nilai n yang didapat tersebut, maka didapat nilai m, Q dan A adalah 0.68521, 211,903.27229 J/mol, and 4.25866×10^8 , sehingga didapat model pertumbuhan butir austenite prior untuk baja O1 adalah :

$$D^{1.47511} - D_0^{1.47511} = 4.25866 \times 10^8 t^{0.68521} \exp\left(-\frac{211,903.2723}{RT}\right)$$

Pers 11

9. VALIDASI MODEL

Untuk memvalidasi pemodelan yang didapat, hasil teoritis ukuran butir austenit prior dibandingkan dengan data eksperimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 30.



Gambar 30. Perbandingan ukuran Butir austenite prior model dengan hasil eksperimen pada temperatur dan waktu tahan yang berbeda.

Dari Gambar 30 terlihat bahwa nilai teoritis ukuran butir austenit prior sesuai dengan hasil eksperimen.

Model pertumbuhan butir austenit yang telah diperoleh pada Persamaan 11 kemudian dibandingkan dengan model pertumbuhan butir austenit diperoleh peneliti lain. Penelitian Wang dkk. diperoleh model pertumbuhan butir baja AISI 4140 dengan nilai n sebesar 3,015, nilai A sebesar $1.1549 \cdot 10^{13}$, nilai m 0.823 dan nilai Q adalah 236.317,26 J/mol[20]. Dong dkk memperoleh model pertumbuhan butir baja SA-508III dengan nilai n 2.016, A $1,7339 \cdot 10^7$, nilai m 0,691 dan nilai Q 121,556 J.mol. Du dkk. diperoleh model pertumbuhan butir baja LZ50 dengan nilai n sebesar 2,82, nilai A sebesar $2,199 \cdot 10^{17}$, nilai m sebesar 0,682, dan nilai Q sebesar 336,484 J/mol [33]. Terdapat perbedaan nilai n , A , m , dan Q dari ketiga model lainnya jika dibandingkan dengan Persamaan 11. Konstanta n , A dan m merupakan konstanta yang bergantung pada komposisi baja dan pemrosesannya[34], [35]

Perbedaan nilai n , A , dan m menunjukkan adanya perbedaan pada jenis baja yang digunakan dan kondisi pengolahan baja tersebut. Nilai energi aktivasi pertumbuhan butir (Q) yang diperoleh pada penelitian ini juga berbeda jika dibandingkan dengan ketiga penelitian lainnya. Dong

dkk. Model [31] memiliki nilai Q terkecil sedangkan Du et al.[33] memiliki nilai terbesar. Hal ini menunjukkan bahwa baja AISI O1 memerlukan energi yang lebih tinggi untuk pertumbuhan butir dibandingkan dengan baja SA508-III, membutuhkan energi yang lebih rendah dibandingkan baja LZ50, dan membutuhkan energi yang sama dengan baja AISI 4140.

Untuk memverifikasi keakuratan dan validitas model pertumbuhan butir baja paduan AISI O1, digunakan kesalahan relatif absolut rata-rata(average absolute relative error) or AARE. Persamaan berikut, yang ditunjukkan pada Persamaan. 12 dapat digunakan untuk menghitung AARE [36]

$$AARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{d_i - \bar{d}}{\bar{d}} \right| \times 100\% \quad \text{Pers 12}$$

dimana d_i adalah prediksi ukuran butir menggunakan persamaan pertumbuhan butir, \bar{d} adalah rata-rata ukuran butir eksperimen, dan N adalah jumlah data eksperimen. Nilai AARE dari model yang didapat adalah 7,41%. Hasil ini menunjukkan bahwa persamaan tersebut memiliki akurasi presisi

Dari penelitian ini didapat, bahwa, didapat model pertumbuhan butir untuk memprediksi besar butir austenite prior baja perkakas O1, seperti pada persamaan 11, yang artinya untuk material dan kondisi perlakuan panas yang digunakan, konstanta persamaan untuk dapat hasil yang akurat adalah 0.68521, 211,903.27229 J/mol, and 4.25866×10^8 untuk m, Q dan A .

Nilai besar butir prior austenite yang didapat merupakan ukuran dari ukuran paket fasa martensit yang terbentuk. Semakin halus, paket martensit, akan semakin tinggi kekuatannya, seperti yang dinyatakan dalam Hall Petch teori :

$$\sigma_y = \sigma_y + \frac{k_y}{\sqrt{d}} \quad \text{Pers 13}$$

Persamaan 13, didapat hubungan antara diameter butir dengan kekuatan material, semakin kecil butir, semakin tinggi kekuatan Material.

Demikian juga hubungan antara kekerasan material dengan Kekuatannya , dinyatakan akan berbanding lurus seperti teori umum yang berlaku.

10. PENUTUP

Model Fenomenologi berbasis data penelitian, untuk kondisi spesifik material, dengan metode pendekatan yang sama dengan contoh penelitian di atas, memungkinkan untuk memperoleh prediksi kekuatan, kekerasan, distorsi, tegangan dalam, prosentase fasa material hasil proses perlakuan panas, pada beberapa parameter seperti temperatur, waktu, kecepatan pemanasan, kecepatan pendinginan sebagai parameter dalam perlakuan panas, berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan.

Model yang telah didapat dan sedang kami kembangkan di Laboratorium Metalografi dan Perlakuan panas ini , berlanjut terus dengan validasi di industri dan pengembangan pendekatan model yang diharapkan aplikatif untuk dapat digunakan di industry, sehingga dapat memprediksi hasil perlakuan panas dengan efisien dan akurat.

Untuk itu kedepannya, diperlukan Kerjasama yang intens dan antara kami di laboratorium, dengan industri manufaktur , juga rekan rekan sesama periset dengan keahlian masing2 , mengacu perkembangan digitalisasi proses ,dapat saling mendukung, sehingga efisiensi dan daya saing industri manufaktur Indonesia terus meningkat.

DAFTAR PUSTAKA :

- [1] Kemenperin,
“ [Kinerja Industri Manufaktur Kuartal III 2022 Membaik, Ini Pendorongnya MANUFACTURER.](https://kemenperin.go.id/artikel/24036/Kontribusi-Dominan-dan-Melonjak,-Industri-Manufaktur-Masih-Pede-Jumat.””[2] Annisa Mutia,
“<a href=)

- [3] Antara News-Sella Panduarsa Gareta, "<https://www.antaranews.com/berita/3421458/menperin-optimis-industri-manufaktur-tetap-ekspansif>."
- [4] Badan Pusat Statistik, *Direktori Industri Manufaktur Indonesia, 2022*, ISBN : 2745-6781. Badan Pusat statistik, 2022.
- [5] K. G. Budinski and K. Budiski, *Engineering Materials; Properties and Selection*, 09 ed. Pearson, 2009.
- [6] G. Kardys, "how-strong-are-3d-printed-metal-parts-metallurgical-integrity-in-metal-additive-manufacturing," *Globar Spec*.
- [7] Brandon, "What is Materials Science and Engineering? The Definitive Explanation," <https://mstudent.com/what-is-materials-science-and-engineering-the-definitive-explanation/>.
- [8] Metallurgy for Dummies, "Time-Temperature-Transformation (TTT) Diagram," *Metallurgy for Dummies*.
- [9] Wikipedia, "CCT curve steel-cs.svg," *CCT curve steel-cs.svg*.
- [10] M. Katterje, "Comparative Study of Carburizing vs. Induction Hardening of Gears."
- [11] O. Rowan, "Analysis of Heat Treat Growth on Carburized Ring Gear and Multivariate Regression Model Development," pp. 1–5, Apr. 20, 2016.
- [12] Cameldi, "<https://www.cameldie.com/aluminum-die-casting-molds>."
- [13] W. D. Callister.Jr, *Materials science and Engineering;an Introduction*, 8th ed. John Wiley and Son, 2010.
- [14] ASM International, *Heat Treating*, vol. 4. ASM International, 1991.
- [15] R. D. Cioffi, "A Comparison Study on Depth of Decarburization and the Role of Stable Carbide Forming Elements in 1075 Plain

- Carbon Steel and 440A Stainless Steel ,” Rensselaer Polytechnic Institute , New York, 2015.
- [16] S. Šolić, B. Podgornik, and V. Leskovšek, “The occurrence of quenching cracks in high-carbon tool steel depending on the austenitizing temperature,” *Eng Fail Anal*, vol. 92, pp. 140–148, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.05.008>.
- [17] K. Drotleff and M. Liewald, “Phenomenological model for prediction of localised necking in multi-step sheet metal forming processes,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1063, p. 012062, Jul. 2018, doi: [10.1088/1742-6596/1063/1/012062](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1063/1/012062).
- [18] L. A. Braby, “Phenomenological Models,” in *Physical and Chemical Mechanisms in Molecular Radiation Biology*, W. A. Glass and M. N. Varma, Eds., Boston, MA: Springer US, 1991, pp. 339–365. doi: [10.1007/978-1-4684-7627-9_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7627-9_12).
- [19] G. Sanchez Sarmiento, A. Gastón, and G. Totten, “Computational modeling of heat treating processes by use fo HT-MOD and ABAQUS,” *Latin American applied research*, vol. 41, pp. 217–224, Jul. 2011.
- [20] L. Wang, D. Qian, J. Guo, and Y. Pan, “Austenite Grain Growth Behavior of AISI 4140 Alloy Steel,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 5, p. 762890, Jan. 2013, doi: [10.1155/2013/762890](https://doi.org/10.1155/2013/762890).
- [21] R.E. Smallman and R.J.Bishop, *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*, 6th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999.
- [22] M. A. Mochtar, J. F. Fatriansyah, I. Suhariadi, and V. B. Harefa, “Numerical Prediction of Austenite Grain Growth Characteristic of AISI O1 Alloy Steel,” *J Mater Eng Perform*, vol. 32, no. 7, pp. 3322–3334, 2023, doi: [10.1007/s11665-022-07292-4](https://doi.org/10.1007/s11665-022-07292-4).
- [23] G. Ji, X. Gao, Z. Liu, and K. Zhang, “In situ observation and modeling of austenite grain growth in a Nb–Ti-bearing high

- carbon steel," *Journal of Iron and Steel Research International*, vol. 26, Jun. 2018, doi: 10.1007/s42243-018-0083-6.
- [24] H. Pous-Romero, I. Lonardelli, D. Cogswell, and H. K. D. H. Bhadeshia, "Austenite grain growth in a nuclear pressure vessel steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 567, pp. 72–79, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.01.005>.
- [25] C. Yue, L. Zhang, S. Liao, and H. Gao, "Kinetic Analysis of the Austenite Grain Growth in GCr15 Steel," *J Mater Eng Perform*, vol. 19, pp. 112–115, Feb. 2010, doi: 10.1007/s11665-009-9413-y.
- [26] G. Vander Voort, "Martensite and the Control of Retained Austenite," 2014. [Online]. Available: <https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/1391-martensite-and-the-control-of-retained-austenite.html>
- [27] P. A. Beck, J. C. Kremer, and L. Demer, "Grain Growth in High Purity Aluminum," *Physical Review*, vol. 71, no. 8, p. 555, Apr. 1947, doi: 10.1103/PhysRev.71.555.
- [28] C. Xiao-Min, Y. C. Lin, and F. Wu, "EBSD study of grain growth behavior and annealing twin evolution after full recrystallization in a nickel-based superalloy," *J Alloys Compd*, vol. 724, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.jallcom.2017.07.027.
- [29] C. M. Sellars and J. Whiteman, "Recrystallization and grain growth in hot rolling," *Metal science*, vol. 13, pp. 187–194, 1979, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:137342848>
- [30] E. Anelli, "Application of Mathematical Modelling to Hot Rolling and Controlled Cooling of Wire Rods and Bars," *ISIJ International*, vol. 32, no. 3, pp. 440–449, 1992, doi: 10.2355/isijinternational.32.440.

- [31] F. C. and Z. C. D. Dong, "Modeling of Austenite Grain Growth During Austenitization in a Low Alloy Steel," *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 25, Issue 1, pp.152-164, vol. 25, no. 1, pp. 152–164, Jan. 2016.
- [32] K. Jung, H. W. Lee, and Y. Im, "Numerical prediction of austenite grain size in a bar rolling process using an evolution model based on a hot compression test," *Materials Science and Engineering A*, vol. 519, pp. 94–104, Jan. 2009.
- [33] S. Du, Y. Li, and Y. Zheng, "Kinetics of Austenite Grain Growth During Heating and Its Influence on Hot Deformation of LZ50 Steel," *J Mater Eng Perform*, vol. 25, no. 7, pp. 2661–2669, Jul. 2016, doi: 10.1007/s11665-016-2162-9.
- [34] Z. Liu *et al.*, "Carbide dissolution and austenite grain growth behavior of a new ultrahigh-strength stainless steel," *Journal of Iron and Steel Research International*, vol. 27, Jun. 2020, doi: 10.1007/s42243-020-00429-6.
- [35] D. Priadi, R. A. M. Napitupulu, and E. Siradj, "Austenite Grain Growth Kinetics of 0.028% Nb Steel," *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, vol. 47, Jan. 2011, doi: 10.2298/JMMB100901001P.
- [36] M.-S. Chen, G.-Q. Wang, H.-B. Li, Y. C. Lin, Z.-H. Zou, and Y.-Y. Ma, "Annealing Treatment Methods and Mechanisms for Refining Mixed and Coarse Grains in a Solution Treatment Nickel-Based Superalloy," *Adv Eng Mater*, vol. 21, Jul. 2019, doi: 10.1002/adem.201900558.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para hadirin sekalian yang saya hormati, sebelum menutup sesi pidato ilmiah ini, perkenankan saya untuk mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu saya,

baik secara moral maupun materi, hingga saya bisa mencapai jabatan fungsional akademik tertinggi di universitas kita yang tercinta ini.

- Terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, melalui Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, Nadiem Anwar Makarim, B.A., M.B.A., yang telah menetapkan dan mengangkat saya sebagai Guru Besar Tetap di Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Kepada, Rektor Universitas Indonesia Prof. Ari Kuncoro, SE, MA, PhD, para Wakil Rektor, Sekretaris Universitas, para Direktur, serta Majelis Wali Amanat Universitas Indonesia terima kasih telah mengusulkan pengangkatan saya sebagai Guru Besar Tetap di Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Rasa Terimakasih juga saya sampaikan kepada Ketua dan Sekretaris Dewan Guru Besar Universitas Indonesia, yang dipimpin oleh Prof. Harkristuti Harkrisnowo dan Prof. Indang Trihandini, beserta seluruh Anggota Dewan Guru Besar yang telah menyetujui dan turut memproses pengajuan Guru Besar saya.
- Ketua dan Sekretaris Senat Akademik Universitas Indonesia Prof. Nachrowi Djalal Nachrowi, MSc., MPhil., Ph.D dan Yudho Giri Sucahyo, Ph.D, CISA, CISM serta seluruh anggota Senat Akademik Universitas Indonesia terima kasih telah menyetujui dan merekomendasikan saya untuk menjadi Guru Besar Tetap Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Prof. Dr.-Ing. Amalia Suzianti, ST, MSc Direktur Sumber Daya Manusia Universitas Indonesia dan seluruh kasubdit, kepala seksi serta staff di Direktorat Sumber Daya Manusia Universitas Indonesia.
- Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia Prof. Dr. Heri Hermansyah, S.T., MEng., IPU, Wakil Dekan Bidang Pendidikan, Penelitian dan Kemahasiswaan Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng., M.Sc

dan Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Ventura dan Administrasi Umum Prof. Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., Ph.D. yang membantu pemenuhan persyaratan saya untuk memenuhi prasyarat menjadi Guru Besar di Tingkat Dikti sehingga pengukuhan guru besar ini dapat terlaksana.

- Terima kasih kepada Ketua Dewan Guru Besar FTUI Prof. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho, M.Sc., Ph.D dan seluruh anggota Dewan Guru Besar FTUI, yang telah menyetujui, mendukung dan memproses lebih lanjut pengusulan guru besar saya.
- Terima kasih kepada Ketua Senat Akademik FTUI Prof. Kemas Ridwan Kurniawan, ST., M.Sc., Ph.D serta seluruh anggota Senat Akademik FTUI Periode 2019-2024, yang telah mendukung dan menyetujui proses Guru Besar.
- Tim reviewer usulan guru besar saya, Prof. Dr. Ing Bambang Suharno, Prof. Dr. Winarto dan Prof dari Departemen Teknik Metalurgi dan Material – Fakultas Teknik Universitas Indonesia, serta Prof. Dr. Gunawarman dari Fakultas Teknik Mesin, Universitas Andalas, atas kesediaan waktu, perhatian dan dukungannya dalam menyelesaikan proses review karya ilmiah saya.
- Manajer Sumber Daya Manusia dan Fasilitas FTUI, Dr. Ajib Setyo Arifin, S.T., M.T., Mbak Amida, Mbak Tikka dan karyawan di lingkungan Fakultas Teknik UI terima kasih atas kesabarannya dan ketabahannya dalam membantu proses pengusulan guru besar saya hingga tahap saya berdiri di mimbar kehormatan pada hari ini.
- Ketua Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI, Dr. Deni Ferdian, S.T., M.Sc. dan Sekretaris Departemen Dr. Ahmad Zakiyuddin S.T., M.Eng. yang mendukung dan membantu keperluan proses pengusulan hingga pengukuhan Guru Besar ini.

- Seluruh Guru Besar dan dosen di lingkungan Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI yang telah mendukung, memberikan perhatian dan menciptakan kerjasama yang baik dalam pengajaran, penelitian dan pengabdian masyarakat. Semua ini menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam proses pengajuan Guru Besar saya.
- Kepada mitra Penelitian dan Kerjasama dari industri yang hadir pada hari ini, kawan kawan dari PT Honda Prospect Motor, mewakili Ibu Benawati Abbas, PT Komatsu Indonesia, Bapak Pratjoyo Dewo selaku Chairman PT KI, Bapak Fandy Irwanto, Ibu Irlinda dari PT Federal Superior Chain, Bapak Rianto ,CEO PT Sinar Putra Mandiri, dengan Bapak Amran Alamsyah, sahabat riset saya sejak awal bertugas di Departemen Metalurgi dan Material hingga sekarang, PT Daido Steel, Rekan rekan dari BRIN, dan Rekan lain dari industri yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang tidak henti hentinya memberi dukungan besar dalam melakukan berbagai kegiatan penelitian dan pendidikan, dalam bentuk kolaborasi penelitian, kegiatan magang, penggunaan fasilitas proses sebagai research area, terimakasih, anda semua merupakan mitra saya yang sangat berarti bagi penyelenggaraan kegiatan penelitian dan Pendidikan di Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
- Saya mengucapkan terima kasih kepada kolega dosen DTMM FTUI, Ketua dan Sekretaris Departemen Dr.Deni Ferdian ,Dr. A.Zakyudiin,Secara khusus kepada Prof.Bambang Suharno tim PAK DTMM yang terus mendukung dalam proses pengajuan saya sebagai Guru Besar,Ibu Sari Katili, Prof.Sutopo, Prof. Dedi Priadi, Prof Johny, Prof Herman, Prof.Chalid, Dr. Adam, Dr. Intan, Dr. Sotya, Prof. Rini, Prof.Anne, Dr Yunita, Prof Anis, ,Dr. Zaki, Dr. Fajar, Mas Baim, Dr. Nofrijon, Dr. Bambang Proyono, Prof. Eddy, Prof Sri Harjanto, Prof Winarto, Prof Donanta, Prof Bondan, Dr Munir, Dr Jaya, Dr. Rahmat Saptono sebagai ketua Kelompok ilmu Manufaktur, Dr Alfian, Dr. Reza, sebagai rekan rekan yang sangat

membantu saya untuk meraih jabatan fungsional akademik tertinggi ini. Semoga Allah SWT senantiasa membimbing beliau-beliau ini untuk tetap istiqomah, senantiasa dalam keadaan sehat walafiat.

- Terimakasih kepada tenaga kependidikan di lingkungan Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI, terutama Bang Aap, , Mbak Narissa, Mbak Sukma, Mbak Yulys, Mbak Dewi, Mbak Mita, Mas Yus, Bang Yaasiin, Bang Dery, Bang Mamat, Bang Hendra, Mas Yono, Mas Sis, Mas Teguh, Mba Nur, juga Pak Ngatimin, Pak Nuddin yang sudah pensiun, terima kasih yang sebesar-besarnya atau bantuan dan kerjasamanya selama saya mengajar dan mengabdikan di Departemen Teknik Metalurgi dan Material
- Para mahasiswa Asisten laboratorium Metalografi dan Perlakuan Panas Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI, tahun 2022-2023, Ezra, Daffa, Faris, Atho, Geldi, Bella, Nabil, Tiara, Safry, terima kasih atas kerja keras dan semangat menjalankan kegiatan di Laboratorium Perlakuan Panas dan Metalografi, dalam riset dan dalam penyelenggaraan berbagai kegiatan Pendidikan. Kepada Pak Teguh dan Ibu Paramita, terimakasih atas kerjasamanya dalam membantu kegiatan penelitian dan pengajaran di laboratorium dan Perlakuan Panas DTMM
- Dari hati yang dalam saya ingin menyampaikan rasa terimakasih yang besar kepada Dosen-dosen senior saya di Departemen Metalurgi, Bapak Mulyono Alm, Bapak Dr. Ing H. Rachmantio Alm, Bapak Ir. Todung Barita Alm, MSc, Ibu Ir. Sriati Djaprie, M. Msc, M. Met Alm, Prof. Sutopo dan Ibu Dra Saki Katili, yang mengenalkan Ilmu Metalurgi selama saya kuliah di Jurusan Metalurgi. Khusus kepada Bapak Prof. Djoko Hartanto, yang terus memberi motivasi tanpa henti, dan juga Prof. Hari Sudibyo, Prof. Budiarto, terimakasih telah terus mengingatkan saya setiap saat untuk tidak ragu untuk terus maju untuk meraih gelar tertinggi ini.

- Kepada Alumni Fakultas Teknik dan Metalurgi Angkatan 79, terima kasih kawan-kawan atas kebersamaannya yang hingga kini masih terjalin dengan baik..
- Untuk yang sangat saya sayangi, Ibu Kustiniyati (alm),Bapak Sofyan Mochtar (alm), kedua orang tua yang sangat saya sayangi. Doa,curahan kasih sayang dan jerih payah mereka dalam membesarkan dan mendidik saya, sungguh sangat luar biasa besar dan tidak akan pernah dapat saya balas dengan apapun. Semoga Allah SWT mengampuni segala dosa dan kekhilafan mereka dan menerima segala amal kebaikan mereka. Aamiin YRA.
- Bapak Muhammad Yasin Rustandi (alm) dan Ibu Siti Hafsa (alm), bapak dan ibu mertua saya. Banyak terima kasih atas kasih sayang dan bimbingan yang diberikan. Semoga Allah SWT mengampuni segala kekhilafan mereka dan menerima segala amal kebaikan mereka. Aamiin YRA.
- Kepada Adik kakaku tercinta, Ibu Rahmi Yanita ,Bapak Krishna Mochtar, Ibu Sandra Dewi beserta, kakak adik ipar, Bapak Aries , Ibu Ade, Bapak Amin, Terimakasih doa dan dukungannya selama ini,yang sangat berarti bagi saya. Terimakasih juga para keponakan yang membuat semakin cerianya kebersamaan keluarga ini.
- Untuk suamiku tersayang, bapak Syarif Hidayat, terima kasih atas kebersamaan,pengertian dan pengorbanannya dalam segala bentuk, yang tanpa itu semua, mustahil saya dapat menyelesaikan banyak hal dengan baik dan mencapai jabatan akademis tertinggi ini . Juga terima kasih untuk kesabaran dan keikhlasannya dalam mengarungi bahtera kehidupan kita, menerima segala kekurangan yang ada pada diri saya. Semoga Allah SWT terus meridhoi kita dalam rumah tangga Sakinah Mawaddah wa Rahmah, yang diridhoiNya.

- Untuk anak-anakku tercinta Mareta, Bowo, Maulana, Suci, Akbar dan Dini, terima kasih atas pengertiannya, curahan kasih sayang dan doa yang ada diantara kita, kalian anak-anak-ibu yang membanggakan, semoga capaian ini menjadi penyemangat kamu semua untuk menggapai cita-citamu dan berkarya. Juga jadi panutan anak-anakmu, cucu-ibu tercinta Abim, Athar, Akila, Arsyah dan Arza agar menjadi anak-anak yang smart dan berakhlak baik. Semoga Allah SWT melindungi dan membimbing dalam setiap langkah dan aktivitas, mengabulkan doa-doamu sekalian.

Pada kesempatan yang baik ini, saya ingin mengakhiri ucapan terima kasih ini dengan satu ungkapan bahwa, Meneliti adalah, mengamati, mencatat, mencoba, merumuskan, mengaplikasikan yang akhirnya memberi manfaat bagi kehidupan khususnya industri manufaktur.

Penelitian ini diawali dengan pengamatan dan meramu pada manfaat bagi kehidupan khususnya industri manufaktur.

Akhir kata saya ucapkan terima kasih dan penghargaan setinggitingginya kepada semua yang hadir, teman, kerabat dan undangan pada pengukuhan ini. Mohon maaf yang sebesar-besarnya, karena tidak dapat menyapa hadirin satu persatu. Saya juga menyampaikan mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada kekurangan atau kekeliruan dalam pidato pengukuhan ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan Bapak dan Ibu sekalian dengan balasan yang jauh lebih baik. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu

Akhir kata saya ucapkan terima kasih dan penghargaan setinggitingginya kepada semua yang hadir, teman, kerabat dan undangan pada pengukuhan ini. Mohon maaf yang sebesar-besarnya, karena tidak dapat menyapa hadirin satu persatu. Saya juga menyampaikan mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada kekurangan dalam pidato pengukuhan ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan Bapak dan Ibu sekalian dengan balasan yang jauh lebih baik. ***Wabillahi taufiq wal hidayah, Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh***

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Prof. Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar, M.S.

NIP/NUP : 196004201987032001

Pangkat/Golongan : Pembina Tk. I / IVb

Jabatan : Guru Besar

Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta, 20 April 1960

Jenis Kelamin : Perempuan

Agama : Islam

Nama Suami : Ir.Syarif Hidayat,MM

Nama Anak : 1. Mareta Maulidiyanti,S.Sos,MM,CPR
2. Maulana Muhammad ,SE,MS
3. Akbar Hasani, ST, MKKK.

Nama Menantu : 1. Juli Wibowo, S.AB
2. Suci Marlioni,S.Sos
3.Saraswati Andani, ST,MKKK

Nama Cucu : 1. Muhammad Pandya Abimanyu
2. Prabu Athar putrasatya
3. Manhattan Akila
4. Brooklyn Arsyia
5.Arzanka Azkarian

Orang Tua : Bpk. Sofyan Mochtar
Ibu Kustiniyati Koesoemodharsono

Pendidikan Formal

Tahun	Keterangan
2005 – 2010	S3 Doktor Bidang Ilmu Teknik FTUI
1989 – 1992	S2 Magister Materials Science FMIPA UI
1979 – 1985	S1 Sarjana Teknik Metalurgi FT UI
1976 – 1979	SMAN XI, Jl.Bulungan,Kebayoran Baru,Jakarta Selatan SMPN XIII , Jl.Tirtayasa,Kebayoran Baru, Jakarta Selatan.
1973 – 1975	SD Kepodang, TamanSunda Kelapa ,Jakarta Pusat SDN Blok S1 Pagi, Kebayoran Baru,Jakarta Selatan
1967 -1972	

Riwayat Pekerjaan/Jabatan

Tahun	Keterangan
1987 – sekarang	Staf Pengajar Tetap Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia
1996-2000	Sekretaris Departemen Metalurgi FTUI
2013-2015	Sekretaris Departemen Metalurgi dan Material
2013-2015	Anggota Senat Akademik FTUI
2014 - 2021	Ketua Tim Kurikulum Departemen Teknik Metalurgi dan Material
2016 – sekarang	Kepala Laboratorium Metalografi dan Perlakuan Panas, FTUI
2010-Sekarang	Kepala Tim Riset Perlakuan Panas dan Rekayasa Permukaan ,Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

Penghargaan

Tahun	Keterangan
2023	Best Paper BKPM-SENAMM XVI ,Institut Teknologi Kalimantan,Balikpapan,Kalimantan Timur ,Indonesia
2022	Satyalancana Dharma Makara XXXV, SK Dekan FT UI
2019	Satyalancana Karya Satya XXX tahun, Keppres RI No. 77/TK/2019
2018	Best EDOM Improvement for Academic Year ,FTUI, 2018/2019
2015	Best Paper , International Conference on Chemical and Material Engineering, Xiamen China
2012	Satyalancana Dharma Makara XXV ,SK Dekan FTUI

Riwayat Jabatan:

Jabatan	Mulai Jabatan
Guru Besar	1 Juni 2023
Lektor Kepala	1 Juli 2015
Lektor Kepala	1 September 2008
Lektor	1 Januari 2001
Asisten Ahli	1 Maret 1992
Pengajar	1 Maret 1987

Pengalaman Riset:

1. "Optimasi Sintesis Partikel Nano-non Logam dari Limbah Elektronik Printed Circuit Board Melalui Proses Leaching,Pyrolisis

- dan Planetary Ball Milling”, ”, Hibah Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) Pascasarjana 2023 (ketua)
2. “ Optimasi Sintesis Nanofluida Berbasis Partikel Hasil Pengolahan Limbah Elektronik PCB Dengan Penstabil Anionik, Kationik dan non-ionik untuk aplikasi Media Pendingin”, Hibah Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) Pascasarjana 2022 (ketua)
 3. “Analisis Pemanfaatan Limbah Elektronik PCB pada Nanofluida untuk Aplikasi Media Pendingin Perlakuan Panas Baja berbasis Fluida Dasar yang Berbeda” Hibah PUTI Q2, 2022 (Ketua)
 4. “Pemodelan Fenomenologis Fraksi Austenit Sisa terhadap Tegangan Sisa Baja Paduan Rendah melalui Perlakuan Pengerasan Baja pada Berbagai Kecepatan Pendinginan untuk Penanggulangan Masalah Crack Komponen Otomotif”. Hibah Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) Prosiding, 2020 (Ketua)
 5. “Optimasi Perlakuan Panas Normalizing, Temperatur Austenisasi, Kecepatan Pendinginan Pada Proses Perlakuan Panas Pengerasan untuk mengatasi terjadinya as quenched dan Delayed Cracking pada Baja Paduan Rendah (HSLA)” Penelitian Kerjasama PT Komatsu Indonesia-UI- 2019-(Ketua)
 6. “Peningkatan Efisiensi Proses dan Kinetika Pertumbuhan Lapisan Karbida dengan Metode Thermo Reactive Deposition (TRD) dengan Pelapis Serbuk Fe-Cr dan Serbuk Daur Ulang Fe-V pada Substrat Baja Perkakas JIS SUJ2.”, Hibah Publikasi Internasional Terindeks untuk Tugas Akhir Mahasiswa UI (PITTA) 2018 (Ketua)
 7. “Model Kinetika Pertumbuhan Lapisan Karbida dengan Metode Thermo Reactive Deposition (TRD) dengan Pelapis Campuran Serbuk Fe- Cr/Fe-V pada Substrat Baja Perkakas JIS SUJ2”, Hibah Publikasi Internasional Terindeks untuk Tugas Akhir Mahasiswa UI (PITTA) 2017 (Ketua)
 8. “Optimasi Parameter Perlakuan Permukaan Thermo Reactive Deposition (TRD) untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus Permukaan Pada komponen Rantai otomotif” Penelitian Kerjasama PT Federal Superior Chain Manufacturing (FSCM)-

- Departemen Metalurgi dan Material (DTMM), 2016-2018 (ketua Peneliti)
9. "Optimasi Siklus Perlakuan Panas Pengerasan dan subzero Treatment untuk mengatasi Permasalahan Perubahan Dimensi (Distorsi) pada baja perkakas AISI D2 sebagai Die Material" Penelitian Kerjasama PT Daido Steel-Departemen Metalurgi dan Material (DTMM), 2016-2018 (Ketua Peneliti)

 10. "Solusi Permasalahan Die Soldering pada Cetakan Die Casting Baja H13 dengan Metode Shot Peening dan Nitridisasi" Hibah Kemenristek Dikti 2015(Ketua)

Konferensi Internasional/Nasional:

1. Pemakalah di Seminar Nasional Metalurgi dan Material BKPMM-SENAMM XVI tahun 2023, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia
2. Pemakalah pada 4th International Symposium on Advanced Materials and Nanotechnology (iSAMN 2020), Tahun 2020, Serdang, Malaysia.
3. Pemakalah di The 17th International Conference on QiR (Quality in Research) Tahun 2021, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
4. Pemakalah pada International Conference on Composite Materials and Materials Engineering (ICMME 2020), tahun 2020, Yonsei University, Seoul, Korea Selatan
5. Pembicara pada The 16th International Conference on QiR (Quality in Research) Tahun 2019, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia di Padang Sumatera Barat, Indonesia
6. Pemakalah pada 3rd International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM 2019): Exploring New Innovation in Metallurgy and Materials, Tahun 2019, LIPI, Jakarta, Indonesia.

7. Pemakalah pada 2nd International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM 2018), Tahun 2018, LIPI, Puspiptek, Serpong .
8. Pemakalah pada International Conference of International Union of Materials Research Society (IUMRS-ICA) tahun 2018 di Bali, Indonesia
9. Pemakalah pada The 1st Materials Research Society Indonesia Conference and Congress, tahun 2017, Yogyakarta, Indonesia
10. Pembicara di *The 15th International Conference on QiR* (Quality in Research) Tahun 2017, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia di Bali, Indonesia
11. Pembicara pada The First Materials Research Society of Thailand International Conference (1st MRS Thailand International Conference), Tahun 2017, Chiang Mai, Thailand
12. Pembicara pada International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM), Tahun 2017, Indonesia Science Expo, LIPI, Jakarta, Indonesia
13. Pemakalah pada "The 4th International Conference on Advanced Materials Science and Technology" Tahun 2016, Universitas Negeri Malang, Indonesia
14. Pembicara pada International Conference on Materials Science and Technology (ICMTECH), tahun 2016, University of New Delhi, India.
15. Pembicara pada International Conference on Chemical and Material Engineering (ICCME), tahun 2015, Xiamen China.
16. Pembicara pada Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) VII Tahun 2015, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
17. Pembicara Pada Seminar Nasional Teknologi (SENATEK), "peningkatan Daya Saing Teknologi Nasional

Menyongsong MEA 2015” Tahun 2015,Kampus ITN Malang, Indonesia.

18. Pembicara Pada The 14th International Conference on QiR (Quality in Research) Tahun 2015, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia di Lombok,Indonesia.

Publikasi:

1. **Myrna Ariati Mochtar** , Wahyuaji Narottama Putra and Martin Abram, Effect of tempering temperature and subzero treatment on microstructures, retained austenite, and hardness of AISI D2 tool steel, Mater. Res. Express 10 (2023) 056511, DOI 10.1088/2053-1591/acd61b,iopscience Publishing,2023
2. Wahyuaji Narottama Putra , **Myrna Ariati Mochtar** , Anne Zulfia Syahrial and Bambang Suharno, Comparison of wet and dry milling on carbon biomass as dispersed particle in quench medium for steel heat treatment application, Mater. Res. Express 10 (2023) 086501, <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acead9>,iopscience Publishing,2023.
3. Wahyuaji Narottama Putra , **Myrna Ariati**, Bambang Suharno , Deni Ferdian, Reza Miftahul Ulum ,The Effect of Pyrolysis Duration on Thermal Conductivity, Stability, Viscosity,of Dispersed PCB-based Particles in Thermal Fluid,(2023)
4. Yanuar Nugraha,**Myrna Ariati Mochtar**,Effect of Austenization and Repeated Quenching on the Microstructure and Mechanical Properties of Wear-Resistant Steel ,Journal of Materials Exploration and Findings (JMEF),Vol 1 issue 3,(2023) 1st edition.
5. **Myrna Ariati Mochtar**, Jaka Fajar Fatriansyah, Iping Suhariadi, and Valen Befri Harefa), Numerical Prediction of Austenite Grain Growth Characteristic of AISI O1 Alloy Steel , Journal of Materials Engineering and Performance 32 (322-334)(2022), <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07292-4>,Springerlink.
6. Moch. Syaiful Anwar, Efendi Maburri, **Myrna Ariati Mochtar**, Eddy S. Siradj, Evaluation of relationship of hardness and Larson Miller

- parameter on various types of heat resistant steels for prediction of creep rupture time application, AIP Conference Proceedings, Vol. 2506, (2022), E-ISSN:1551-7616
7. **Myrna Ariati M** and Rizki Aldila, Die soldering behavior of h13 and Cr-Mo-V tool steel on die casting process on nitriding-shot pinning Die surface treatment , Materials Science Forum, Volume 1000 MSF, pp. 381-390, (2020),ISSN:0255-5476E-ISSN:1662-9752
 8. Eko Cahyono, Rini Riastuti, **Myrna Ariati Mochtar**, and Alfian, Influence of annealing on microstructure and pitting corrosion resistance of UNS S32760 super duplex stainless steel repeated welds, AIP Conference Proceedings, 020003, Volume 2232, Issue 1, (2020), E-ISSN: 1551-7616
 9. Yudha Pratesa, Almira Larasati, Sri Harjanto, Bambang Suharno, **Myrna Ariati**, Degradation characteristics of porous Fe-Mn-C alloys obtained by sintering-dissolution process (SDP) for metallic bone scaffold, Sains Malaysiana 49(3), pp. 643-651, (2020), E-ISSN: 0126-6039.
 10. Evana Yuanita, Yuli Amalia Husnil, **Myrna Ariati Mochtar**, Rahma Lailani, Mochamad Chalid, The Effect of Alkalization Treatment on Fiber-Matrix Compatibility in Natural Fiber Reinforced Composite, Key Engineering Materials, Vol. 847 pp.28-33,(2020), ISBN(softcover): 978-3-0357-1619-1, ISBN(eBook): 978-3-0357-3619-9.
 11. Muhammad Panji Wiguna dan **Myrna Ariati M.S**, Characteristics of products of thermo reactive deposition surface treatment on jis-suj2 steel using Fe-Cr coating powder with process temperature variation, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 553, (2019), ISSN:1757-8981.
 12. Reza Fawazul and **Myrna Ariati M**, Effect of fev residual powders as an innovation of thermo reactive deposition process (trd) with material balance method to carbide surface characteristics on SUJ2 tool steel, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 012018, Volume 553, (2019), ISSN: 1757-8981

13. Annida Jihan Maulida and **Myrna Ariati M**, The Effect of Thermo Reactive Diffusion (TRD) Processing Time with Ferrochromium Powder on Carbide Layer Characteristics on SUJ 2 Tool Steel Substrate, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 012019, Volume 553, (2019), ISSN:1757-8981
14. Meryanalinda, **Myrna Ariati**, Citrawati F, Study on Phases Development and Mechanical Properties in Fe-Ni-Al Carbide Free Bainitic Steel Based on Lateritic Steel after Warm Rolling Open Access, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol 541(1), (2019), E-ISSN: 17578981
15. **Myrna Ariati**, Wahyuaji N. Putra, Abror Aryowiweko, Effect of FeCr/FeV ratio during thermo-reactive deposition (TRD) process on Mechanical Properties and Characteristics of Carbide layer of SUJ2 Steel, Materials Today: Proceedings, Vol 17 pp.1736-1742,(2019), E-ISSN: 2214-7853
16. Muhammad Yunan Hasbi, Fatayalkadri Citrawati, and **Myrna Ariati M**, The effect of Ni on mechanical properties and austempered microstructure developments in cold rolled low carbon Fe-Ni lateritic steels, Materials Today: Proceedings, Volume 13, pp. 229-234, (2019), E-ISSN:2214-7853
17. Wahyuaji Narottama Putra, Pandega Pramaditya, Putra Pramuka, and **Myrna Ariati Mochtar**, Effect of sub-zero treatment on microstructures, mechanical properties, and dimensional stability of aisi d2 cold work tool steel, Materials Science Forum, Volume 929 MSF, pp. 136-141, (2018),ISSN:0255-5476E-ISSN:1662-9752
18. **M Ariati**, W Narottama P, and A Cipto, Study of temperature effect on carbide layer formation behaviour of dual elements thermal reactive deposition on SUJ2 steel substrate, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 012019, Volume 432, (2018), ISSN:1757-8981.
19. **Myrna Ariati Mochtar**, Wahyuaji Narottama Putra, and Raditya Perdana Rachmansyah, Optimizing the substrate preheating process of high velocity oxygen fuel cobalt-based alloy coating on alloyed and carbon steels mechanical properties , Materials Science

- Forum, Volume 929 MSF, pp. 142-149, (2018), ISSN:0255-5476E-ISSN:1662-9752
20. **Myrna Ariati Mochtar**, Wahyuaji Narottama Putra, and Bayu Mahardika, Optimizing the dual elemental thermal reactive deposition time in carbide layer formation on SUJ2 tool steel, AIP Conference Proceedings,020012, Volume 1964,(2018), E-ISSN:1551-7616
 21. Yudha Pratesa, Sri Harjanto, Almira Larasati, Bambang Suharno, and **Myrna Ariati M**, Degradable and porous Fe-Mn-C alloy for biomaterials candidate, AIP Conference Proceedings, 020007, Volume 1933,(2018), E-ISSN:1551-7616
 22. Oknovia Susanti, **Myrna Ariati Mochtar**, and Sri Harjanto, Microstructure Transformation of Mg-1.6Gd during Hot Rolled at High Deformation Ratio, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 012071, Volume 202, (2017), ISSN:1757-8981.
 23. Oknovia Susanti, **Myrna Ariati Mochtar**, Sri Harjanto, Effect of severe reduction on mechanical properties during hot rolling of Mg-1.6Gd alloys, Materials Research Express 4(3), Vol. 4, (2017), E-ISSN: 2053-1591
 24. **Myrna Ariati**, Dwi Marta Nurjaya, Didi Rooscote, The effect of double shot peening and nitriding on the die soldering behaviour of H13 and Cr-Mo-V tool steel, International Journal of Technology 7(3), pp. 463-470, (2016), ISSN: 2086-9614
 25. **Myrna Ariati Mochtar**, Wahyuaji Narottama Putra, Stefany Aprilya N Simanjuntak, Pengaruh Shot Peening Setelah Nitriding Terhadap Fenomena Die Soldering Pada Baja 8407 Supreme Dan Dievar Untuk Pengecoran Paduan Aluminium Al-Si (Tipe ADC12), Prosiding Seminar Nasional Material dan Metalurgi (SENAMM VIII) Yogyakarta, 5 November 2015 ISBN 978-602-73461-0-9.

BUKU/MODUL

1. Perlakuan Panas dan Rekayasa Permukaan – Modul Mata Kuliah, Departemen Metalurgi dan Material, 2016, (updated akhir 2020)

2. Teknik Metalografi; Teknik Persiapan sampel dan Analisa Struktur Mikro – Modul Mata Kuliah,Departemen Metalurgi dan Material , 2012,(updated akhir 2022)

Dicetak Oleh: UI PUBLISHING

Komplek ILRC Gedung B Lt. 1 & 2
Perpustakaan Lama Universitas Indonesia,
Kampus UI, Depok, Jawa Barat - 16424

Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta Pusat - 10430
WA : 0818 436 500
E-mail: uipublishing@ui.ac.id