

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

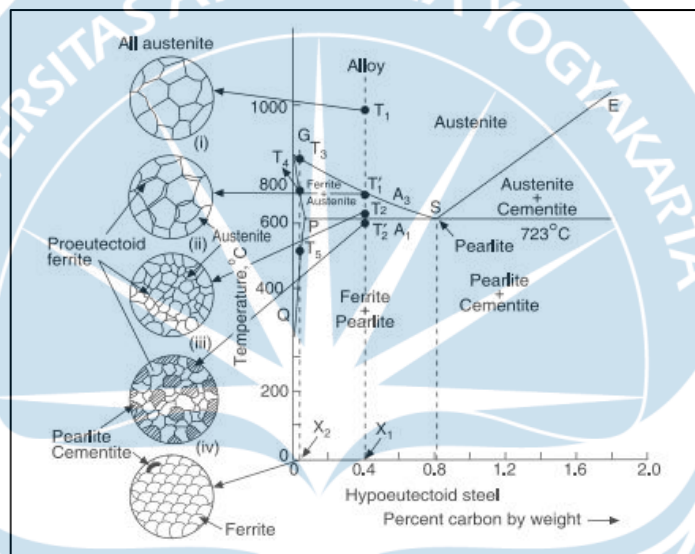
Baja telah menjadi bahan yang sangat berpengaruh dalam industri manufaktur, otomotif, dan berbagai bidang rekayasa mekanik, selama beberapa dekade terakhir. Baja golongan *machinery steel* merupakan salah satu bahan pembuat komponen utama pada industri manufaktur dan otomotif. Baja *machinery steel* digunakan untuk pembuatan komponen seperti: *torsion bars, crank-shafts, gears, coupling, chain driver, bush steel-rollers, axles, bolts-nuts, connecting rods, torque tubes*, dan komponen mesin lain (Jami dkk, 2021; Gurumurthy dkk, 2021; Bilal dkk, 2019). Baja *machinery steel* adalah golongan baja karbon yang khusus digunakan sebagai bahan pembuat komponen mesin karena memiliki sifat mekanik dasar: ketahanan *fatigue*, kekuatan, ketangguhan, dan sifat mampu keras. Sifat-sifat tersebut sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan komponen mesin yang dituntut memiliki sifat mekanik keras agar tahan terhadap gesekan dan kuat terhadap beban kerja. Gurumurthy dkk (2021) dan Jami dkk (2021) menyatakan bahwa sifat mekanik baja karbon akan meningkat secara signifikan dengan metode *heat treatment*. Penerapan proses *Heat treatment* pada baja *machinery steel* terus dilakukan seiring perkembangan industri manufaktur dan otomotif yang pesat pada dekade ini dan masa mendatang.

Rajan dkk (2011) mendefinisikan *heat treatment* sebagai proses pemanasan dan pendinginan yang diaplikasikan pada baja dan paduan dalam keadaan padat untuk memperoleh sifat yang diinginkan dengan mengubah struktur mikro. Salah satu proses *heat treatment* yang diterapkan oleh industri manufaktur dan otomotif ialah proses *hardening*. Proses *hardening* atau proses pengerasan dilakukan pada baja *machinery steel* bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan dan nilai kekuatan baja yang tinggi pada komponen mesin. *Hardening* didefinisikan sebagai proses pemanasan pada suhu pengerasan dan diikuti dengan pendinginan cepat untuk memperoleh struktur mikro *martensite* yang berkontribusi terhadap tingkat kekerasan tinggi (Rajan dkk, 2011). Sifat mekanik dan kekuatan komponen yang meningkat pasca proses *hardening* diharapkan akan mengoptimalkan umur pakai komponen dan menekan biaya pembuatan komponen.

Baja *machinery Steels* yang menjadi objek penelitian adalah ASSAB 705 dan ASSAB 709. Material tersebut merupakan produk dari PT. ASSAB Steels Indonesia. Data pekerjaan di Divisi *heat treatment*, Institusi ABC, menunjukkan bahwa ASSAB 705 dan ASSAB 709 merupakan tipe material *machinery steel* yang paling sering diorder untuk proses pengerasan (lampiran 1). Nilai kekerasan material yang diminta konsumen bervariasi dalam rentang 42 HRC hingga 58 HRC (lampiran 1), meskipun ASSAB menyatakan bahwa nilai kekerasan maksimal yang mampu diraih ASSAB 705 dan 709 adalah 52 HRC (lampiran 2). Nilai kekerasan minimal yang dipersyaratkan dalam penelitian ini ialah 42 HRC untuk memenuhi nilai kekerasan minimal yang dibutuhkan konsumen. Bilal dkk (2019) menyatakan bahwa material AISI 4340 dan AISI 4140 (sepadan ASSAB 705 dan ASSAB 709) digunakan dalam struktur mikro berbeda (pasca proses pengerasan) karena kekuatannya yang tinggi, ketahanan abrasi, dan ketahanan leleh yang tinggi, namun kurang dalam hal ketangguhan.

Divisi *Heat Treatment*, Institusi ABC, menerapkan proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 dengan menggunakan faktor temperatur *austenite* 900°C, waktu tahan minimal 20 menit, dan media *quench* atau pendinginan *oil*. Faktor perlakuan tersebut merupakan metode warisan dari pengalaman praktisi dan belum pernah dievaluasi kebenarannya. Praktisi memilih faktor perlakuan berdasarkan rekomendasi buku *heat treatment: Principles and Techniques* karya Rajan dkk (2011). Temperatur *austenite* 900°C dipilih karena pada temperatur tersebut telah terbentuk struktur *austenite* seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1 menampilkan perubahan struktur mikro baja karbon 0,4% dan dijadikan referensi karena material ASSAB 705 dan ASSAB 709 memiliki komposisi karbon sebesar 0,4% (lampiran 2). Hal ini berbeda dengan rekomendasi dari ASSAB yang menyatakan bahwa temperatur *austenite* untuk ASSAB 705 dan ASSAB 709 berkisar antara temperatur 830°C hingga 860°C. Rajan dkk (2011) mengungkap bahwa perlakuan panas dengan temperatur tinggi menimbulkan resiko oksidasi dan pertumbuhan ukuran butiran, sehingga menurunkan nilai regangan dan kekuatan mekanik. Waktu tahan (*holding time*) minimal 20 menit dipilih berdasarkan waktu yang diperlukan material untuk memiliki kesamaan warna kondisi dalam oven pemanas. Kesamaan warna antara material dan oven pemanas digunakan sebagai tolok ukur kesamaan temperatur. Pemilihan media pendinginan *oil* mengacu pada tipe media pendinginan yang direkomendasikan untuk baja karbon sedang paduan rendah (Rajan dkk, 2011). Penggunaan media

pendingin *oil* telah sesuai dengan rekomendasi ASSAB yang memberikan pilihan media pendinginan air atau *oil* untuk proses *quench*. Evaluasi parameter proses *hardening* perlu dilakukan karena temperatur *austenite* yang digunakan lebih tinggi dibandingkan dengan rekomendasi ASSAB, sehingga memiliki potensi dampak pada penurunan kekuatan mekanik (Rajan dkk, 2011). Bila tidak ditangani segera, penurunan kekuatan mekanik akan menimbulkan potensi kerusakan atau kegagalan fungsi komponen. Pemilihan temperatur *hardening* mempengaruhi biaya listrik yang timbul, sedangkan pemilihan media pendingin mempengaruhi biaya bahan baku. Evaluasi parameter proses *hardening* perlu dilakukan pula untuk mengoptimalkan biaya proses.



Gambar 1. Diagram fase baja karbon dan perubahan struktur mikro

ASSAB 705 dan ASSAB 709 memiliki kesamaan kadar komposisi penyusun utama karbon serta unsur tambahan mangan dan molibdenum, namun sedikit berbeda pada kadar unsur tambahan kromium serta keberadaan unsur nikel pada ASSAB 705. Kesamaan komposisi penyusun, golongan *machinery steel*, dan harga produk, serta keterbatasan informasi material pada katalog resmi (lampiran 2), menimbulkan persepsi pengguna (*design engineer*) bahwa kedua material tersebut sama atau sepadan, sehingga dalam penggunaannya kerap dilakukan substitusi material. Kenyataannya, secara teoritis keberadaan unsur nikel dan kadar komposisi kromium memberikan perbedaan pada karakteristik material berupa sifat yang lebih tangguh dan ulet, namun nilai kekerasan lebih rendah. Masalah yang muncul adalah proses substitusi material tidak menyesuaikan jenis beban kerja dan kondisi kerja komponen terhadap karakteristik sifat mekanik material,

sehingga berpotensi memicu kerusakan komponen. Kesalahan pemilihan material pada kondisi kerja dengan friksi/gesekan yang tinggi menyebabkan material akan aus dan berdeformasi karena nilai kekerasan yang rendah. Pemilihan material yang salah pada kondisi beban kerja berat dapat menyebabkan komponen pecah karena nilai ketangguhan yang rendah. Perlu dilakukan evaluasi dampak proses *hardening* pada nilai kekerasan dan ketangguhan ASSAB 705 dan ASSAB 709 agar pemilihan material dan substitusinya tepat. Ketiadaan evaluasi berpotensi menyebabkan kesalahan pemilihan atau substitusi material sehingga memperpendek umur pakai komponen, dan berdampak pada biaya pembuatan komponen yang lebih tinggi.

Bilal dkk (2019) menyatakan bahwa manipulasi struktur mikro untuk memperoleh struktur *martensite* pada baja menghasilkan kekuatan tarik dan nilai kekerasan tinggi, namun menurunkan ketangguhan dan keuletan baja. Seorang *design engineer* perlu mengetahui informasi nilai kekerasan dan nilai ketangguhan yang tepat dalam merancang komponen agar memenuhi standar kualitas yang diperlukan. Rancangan komponen yang terlalu keras memberikan ketahanan gesek yang baik, namun meningkatkan resiko kerusakan material karena menjadi getas (contoh pada Gambar 2). Sebaliknya, rancangan komponen yang tidak keras memberikan ketangguhan material yang baik, namun menurunkan ketahanan gesek komponen. Masalah yang muncul ialah, mengacu kepada katalog resmi ASSAB 705 dan ASSAB 709, belum ada informasi yang memberikan penjelasan mengenai *trade off* antara nilai kekerasan terhadap nilai ketangguhan material sebagai pertimbangan untuk menentukan kombinasi yang diperlukan dalam mendesain komponen dengan disertai metode pengerasan yang tepat untuk mencapainya. Kegagalan yang terjadi ialah *design engineer* tidak dapat mengkomparasi nilai ketangguhan material dengan hasil perhitungan kekuatan konstruksi, sehingga komponen berpotensi *over-specification design* atau *under-specification design*. Desain yang *over-specification* ialah kondisi dimana desain dirancang dengan kekuatan jauh di atas nilai kekuatan yang diperlukan. *Over-specification design* berdampak pada biaya pembuatan komponen menjadi lebih mahal dan berpotensi merusak komponen lain yang memiliki nilai kekuatan yang lebih kecil. Sebaliknya, *under-specification design* merupakan sebuah kondisi dimana kekuatan desain tidak memenuhi nilai kekuatan yang diperlukan. Dampaknya ialah komponen mengalami kerusakan yang lebih cepat akibat pembebanan yang tidak mampu diterima, seperti contoh pada Gambar 3. Evaluasi

proses *hardening* disertai dengan data nilai kekerasan dan ketangguhan diperlukan sebagai referensi untuk memilih material dan menentukan nilai kekuatan yang tepat. Tanpa ada evaluasi, *over-specification design* tetap dilakukan sebagai solusi aman meskipun biaya pembuatan tinggi.



Gambar 2. Roda gigi patah akibat getas (kekerasan terlalu tinggi)

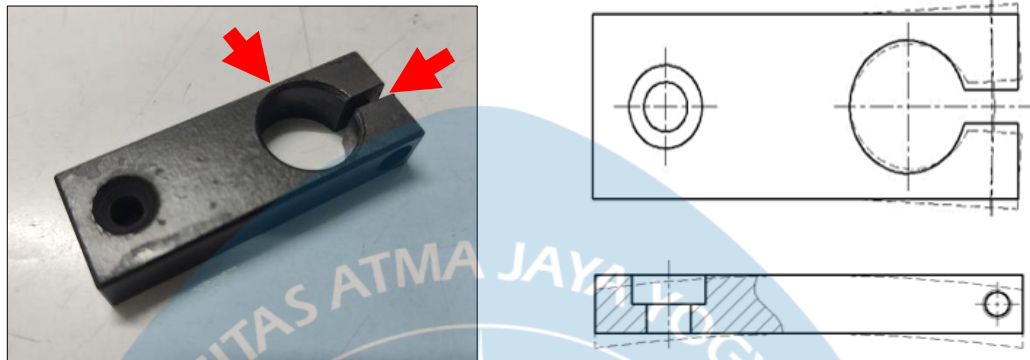


Gambar 3. *Crack* pada komponen akibat nilai ketangguhan rendah

Proses pengerasan material ASSAB 705 dan ASSAB 709 menimbulkan dampak kegagalan lain berupa resiko distorsi material pada komponen. Selama proses *heat treatment*, tegangan sisa dan distorsi berkembang sebagai respon terhadap perubahan temperatur yang tidak seragam dan transformasi fase struktur mikro, konsekuensinya sangat penting untuk memprediksi dan meminimalkan distorsi material, ungkap Nunes dkk (2019). Diperlukan pengujian untuk mengungkap pengaruh proses pengerasan material ASSAB 705 dan ASSAB 709 terhadap kemungkinan terjadinya distorsi pada material. Data terkait resiko dan besar distorsi yang terjadi diperlukan oleh *design engineer* untuk mempertimbangkan bentuk rancangan komponen dan memprediksi kemungkinan kegagalan akibat distorsi pada rancangan atau ukuran kritis. Nunes dkk (2019) menyatakan bahwa distorsi yang dihasilkan oleh proses manufaktur, seperti *heat treatment*, dapat meningkatkan biaya produksi komponen sebesar 20-40% dan diperlukan proses permesinan tambahan untuk menyelesaikannya. Ketiadaan pengujian distorsi



material pasca proses pengerasan berpotensi menimbulkan masalah berupa perubahan bentuk komponen yang berdampak pada biaya persiapan material, biaya perbaikan, atau pembuatan komponen baru. Contoh distorsi yang terjadi pada profil komponen dan kesejajaran ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Komponen mengalami distorsi

Divisi *Heat Treatment*, Institusi ABC, saat ini menerapkan 3 metode penyelesaian permasalahan distorsi material akibat proses *hardening*. Metode pertama ialah dengan menambah dimensi komponen menjadi berukuran lebih besar/tebal (*allowance*) dari ukuran sebenarnya. Tujuannya, paska proses *hardening*, dilakukan proses pemesinan lanjutan hingga mencapai dimensi sebenarnya dengan harapan menghilangkan bentuk distorsi yang terjadi. Belum ada ketentuan mengenai besar *allowance* yang diterapkan, sehingga penambahan dimensi komponen berdasarkan intuisi perancang. Hal ini mengakibatkan biaya material lebih besar dan muncul biaya pemesinan tambahan. Metode kedua ialah melakukan proses perbaikan komponen yang terdistorsi dengan menggunakan pemanasan api las karburasi. Metode perbaikan ini hanya dapat diterapkan pada komponen berbentuk silinder, dimana distorsi terjadi pada sumbu utama silinder. Komponen dengan penyimpangan sumbu tertinggi dipanaskan hingga temperatur tertentu dan diberi penekanan dengan menggunakan *clamp*. Tujuannya adalah sumbu diharapkan terdistorsi kembali menuju posisi dan bentuk yang benar pada saat komponen dingin. Metode ini memiliki kelemahan berupa waktu perbaikan yang lama dan hanya dapat dilakukan oleh tenaga terampil. Dampak buruk metode ini adalah nilai kekerasan material tidak sesuai dengan permintaan akibat adanya proses pemanasan dengan api las. Biaya yang muncul pada metode ini antara lain biaya operasional perbaikan dan proses pemesinan lanjutan untuk menghilangkan distorsi. Metode terakhir adalah dengan mengganti komponen dengan bahan *raw material* yang baru. Metode ini merupakan opsi terakhir dan

tidak efektif menyelesaikan permasalahan distorsi karena masih memiliki resiko distorsi pada pembuatan komponen yang baru. Metode ini menimbulkan biaya material dan pemesinan yang besar. 3 metode yang ditempuh belum menyelesaikan masalah distorsi sepenuhnya. Diharapkan data hasil pengujian distorsi dapat digunakan oleh perancang untuk menghindari potensi terjadinya distorsi dan meminimalkan biaya perbaikan atau pembuatan komponen.

Permasalahan yang telah dipaparkan memerlukan solusi penyelesaian berupa parameter baru proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 yang mengoptimalkan kualitas material untuk meminimalkan biaya produksi. Ide dasar penelitian ialah melakukan pengujian proses *hardening* dengan faktor yang bervariasi, kemudian menguji sifat mekanik masing-masing material ASSAB 705 dan ASSAB 709. Tujuan penelitian ialah menghasilkan parameter proses *hardening* dengan biaya produksi yang minimal. Hasil lain penelitian ialah data nilai kekerasan dan nilai ketangguhan yang maksimal, serta resiko deformasi yang paling minimal. Data tersebut digunakan sebagai: 1) perbandingan spesifikasi dan keunggulan dari masing-masing material, 2) pertimbangan *design engineer* dalam menentukan material, bentuk, dan dimensi komponen yang dirancang. Pemilihan material dan proses *hardening* yang tepat diharapkan akan kekuatan mekanik komponen dan menekan biaya pembuatan komponen. Penelitian menggunakan metode *Design of Experiment* untuk mengetahui parameter proses pengerasan material ASSAB 705 dan ASSAB 709 yang tepat. Penelitian menerapkan dan menguji berbagai variasi faktor proses *hardening* yang mempengaruhi nilai kekerasan, nilai ketangguhan, dan efek distorsi material.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Rumusan masalah yang disimpulkan dari latar belakang adalah:

- a. Belum ada evaluasi parameter proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 untuk memaksimalkan nilai kekerasan dan ketangguhan material, serta meminimalkan biaya produksi.
- b. Belum ada komparasi kualitas material ASSAB 705 dan ASSAB 709 sebagai pertimbangan pemilihan material dan spesifikasi kekuatan rancangan komponen, untuk menekan biaya pembuatan komponen, berdasarkan: 1) nilai kekerasan, 2) nilai ketangguhan, dan 3) resiko distorsi material.

### 1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

- a. Memperoleh parameter proses *hardening* material ASSAB 705 dan ASSAB 709 yang tepat untuk mencapai spesifikasi kekuatan mekanik yang dibutuhkan dengan biaya produksi yang minimal.
- b. Memperoleh komparasi kualitas material ASSAB 705 dan ASSAB 709 pasca proses *hardening* sebagai pertimbangan pemilihan material dan spesifikasi kekuatan rancangan komponen untuk menekan biaya pembuatan komponen. Data kualitas meliputi: 1) nilai kekerasan, 2) nilai ketangguhan, dan 3) potensi distorsi material.

Manfaat yang diperoleh dari penelitian antara lain:

- a. Bagi *design engineer*, diperoleh data ketangguhan material dan nilai kekerasan yang direkomendasikan untuk digunakan sebagai dasar pemilihan jenis material dan nilai kekerasan yang dibutuhkan komponen dalam proses perancangan.
- b. Bagi *design engineer*, diperoleh data resiko distorsi material berdasarkan dimensi material sehingga dalam proses perancangan dapat meminimalkan desain atau ukuran kritis.
- c. Bagi PPC atau PPIC, diperoleh data resiko distorsi material berdasarkan bentuk dan ukuran material sehingga dapat merencanakan proses permesinan yang meminimalkan resiko distorsi. Bagi industri *Heat Treatment*, diperoleh rekomendasi proses pengerasan yang menghasilkan nilai kekerasan terbaik dan resiko kegagalan minimal.
- d. Bagi operator Divisi *Heat Treatment*, diperoleh data resiko distorsi material yang mungkin terjadi selama proses pengerasan sehingga dapat merencanakan metode pengerjaan yang tepat untuk meminimalkan distorsi.
- e. Bagi dunia pendidikan, diperoleh hasil penelitian ilmu pengetahuan material yang berkontribusi bagi perkembangan industri manufaktur.

### 1.4. Batasan dan Asumsi Penelitian

Batasan masalah penelitian disusun sebagai berikut:

- a. Jenis material yang dibahas dalam penelitian adalah ASSAB 705 dan ASSAB 709 produk PT. ASSAB Steels Indonesia.



- b. Penelitian dilakukan di Divisi *Heat Treatment*, Institusi ABC, dan eksperimen proses pengerasan dengan menggunakan tungku pemanas listrik dan metode pengerasan konvensional.
- c. Metode uji kualitas yang dipilih adalah uji kekerasan, uji ketangguhan, uji distorsi, uji keseragaman struktur mikro.
- d. Media pendinginan ditentukan menggunakan air destilasi dicampur *chemical aqua quench (water based)* merk Houghton Aqua Quench 364 dengan perbandingan 1:10, dan *oil quench* merk Idemitsu tipe Daphne Master Quench A-S, sesuai dengan penggunaan di Divisi *Heat Treatment*, Institusi ABC.
- e. Alat ukur yang digunakan pada pengujian distorsi adalah *dial caliper* dengan resolusi 0,02 mm, *profile projector* dengan resolusi 0,001 mm, serta *outside dial indicator* 0,001 mm dan *ceramic surface plate*.
- f. Nilai kekerasan minimal yang dipersyaratkan harus dicapai dalam penelitian ini ialah 42 HRC, sesuai dengan nilai kekerasan minimal yang dibutuhkan konsumen.