

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Pengelasan Secara Umum

Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair^[2]. Pada proses pengelasan akan melibatkan suhu tinggi yang digunakan untuk melelehkan bagian logam induk ataupun logam pengisi. Penggunaan suhu tinggi bukan tanpa akibat, dimana struktur logam akan mengalami perubahan, selanjutnya pada logam akan mengalami perubahan, selanjutnya logam akan dilakukan pendinginan, pada proses pendinginan akan terjadi perubahan struktur yang mengakibatkan sifat mekanis dan sifat fisis pada logam^[3]. Pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan dengan cara menggunakan tekanan (*pressure*), dan tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*).

2.2 Las Gesek

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan. Konsep kerjanya permukaan dari dua bahan yang akan disambung, salah satu berputar sedangkan yang lainnya diam, dikontakkan oleh gaya tekan dengan variasi kecepatan sehingga menghasilkan panas, dari panas tersebut logam meleleh dan menyatu dengan logam lainnya^[4]. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara kontinu sehingga panas yang

ditimbulkan oleh gesekan yang kontinu akan terus meningkat. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan ^{hingga} pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (*melting temperature*) maka terjadilah proses pengelasan dengan menyambungannya 2 bahan tersebut.

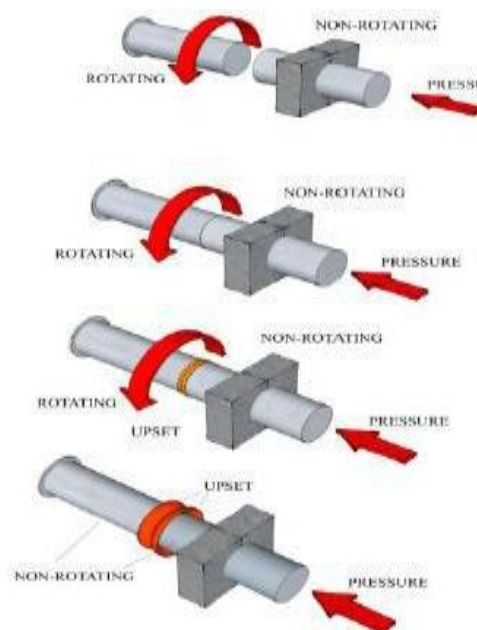
Pengelasan gesek/*friction welding* merupakan pengelasan tanpa menggunakan kawat las/elektroda sehingga bisa dipastikan bahwa sambungan yang diperoleh antara kedua material yang dilas adalah sambungan yang homogen. Selain itu penyambungan poros dengan proses ini dapat meminimalisir bergesernya sumbu dari material yang dilas.

Dalam proses pengelasan gesek/*friction welding*, kecepatan putaran merupakan variabel yang sensitif dan dalam hal ini dapat divariasikan jika waktu dan temperatur pemanasan serta tekanan dikontrol dengan baik.

2.2.1 Prinsip Kerja Las Gesek

Pada tahun 1950, *AL Chudikov* seorang ahli mesin dari Uni Sovyet, mengemukakan hasil pengamatannya tentang teori tenaga mekanik dapat diubah menjadi energi panas. Gesekan yang terjadi pada bagian-bagian mesin yang bergerak menimbulkan banyak kerugian karena sebagian tenaga mekanik yang dihasilkan berubah menjadi panas. *Chudikov* berpendapat, proses demikian mestinya bisa dipakai pada proses pengelasan. Setelah melalui percobaan dan penelitian dia berhasil mengelas dengan memanfaatkan panas yang terjadi akibat gesekan. Untuk memperbesar panas yang terjadi, benda kerja tidak hanya diputar tetapi ditekan satu terhadap yang lain. Tekanan juga berfungsi mempercepat fusi. Cara ini disebut las gesek (*Friction Welding*).

Gambar 2.1 menunjukkan suatu skema proses pengelasan gesek, dua buah batang uji yang akan disambung dengan cara pengelasan gesek, batang yang satu berputar dan batang lainnya diam. Proses gesekan akan terjadi pada saat batang uji yang diam dikenai gaya penekanan, panas akibat gesekan akan terus meningkat selama gaya penekanan terus dilakukan hingga mencapai suhu leleh (*melting*) dan terjadi fusi pada kedua permukaan yang bergesekan.



Gambar 2.1. Skema sistem pengelasan gesek
 Sumber : Ahmad Adi Saputra, 2017 ^[5]

2.3 Baja ST 37

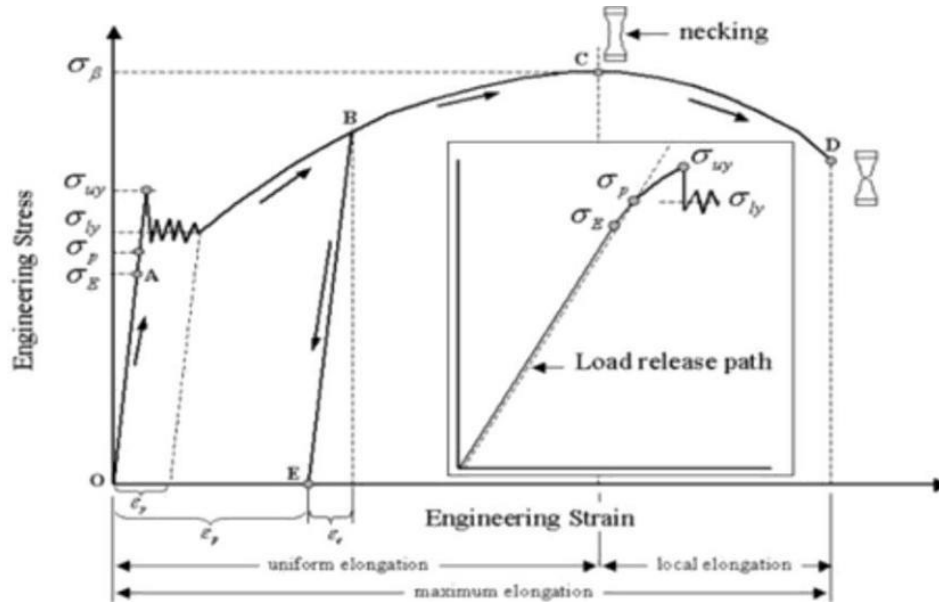
Baja ST 37 adalah baja karbon sedang yang setara dengan AISI 1045, dengan komposisi kimia karbon : 0.5%, Mangan : 0.8%, Silikon : 0.3% ditambah unsur lainnya. Dengan kekerasan sekitar 170 HB dan kekuatan tarik 650 – 800 N/mm². Secara Umum baja ST 37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali dengan dilakukan pemakaian khusus ^[6].

Kekuatan tarik ini adalah maksimum kemampuan sebelum material mengalami patah. Kekuatan tarik yield (σ_y) baja harganya dibawah kekuatan tarik maksimum. Baja pada batas kemampuan yield merupakan titik awal dimana sifatnya mulai berubah dari elastis menjadi plastis, Perubahan sifat material baja tersebut pada kondisi tertentu sangat membahayakan fungsi konstruksi mesin. Kemungkinan terburuk konstruksi mesin akan mengalami kerusakan ringan sampai serius. Kepekaan retak yang rendah cocok terhadap proses las, dan dapat digunakan untuk pengelasan plat tipis maupun plat tebal. Kualitas daerah las hasil pengelasan lebih baik dari logam induk. Baja ST 37 dijelaskan secara umum merupakan baja karbon rendah, disebut juga baja lunak, banyak sekali digunakan untuk pembuatan baja batangan, tangki, perkapalan, jembatan, menara, pesawat angkat dan dalam permesinan. Pada pengelasan akan terjadi pembekuan laju las yang tidak serentak, akibatnya timbul tegangan sisa terutama pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dan las. Tegangan sisa dapat diturunkan dengan cara pemanasan pasca las pada daerah tersebut, yang sering disebut *post heat*.

2.4 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus, maka akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap dengan berupa kurva. Kurva ini dapat menunjukkan hubungan antara gaya tarik dengan perubahan panjang^[7]. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan

pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji.



Gambar 2.2. Profil Singkat Uji Tarik.

Sumber: www.infometrik.com

- Batas elastis σ_{ϵ} (*elastic limit*) dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “nol” pada titik O.
- Batas proporsional σ_p (*proportional limit*) Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- Deformasi plastis (*plastic deformation*) Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula.
- Pada gambar d yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.

- e. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*) Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- f. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*) Tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
- g. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*) Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.
- h. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*) Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
- i. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*) Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
- j. Regangan total (*total strain*) Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
- k. Tegangan tarik maksimum TTM (UTS, *ultimate tensile strength*) ditunjukkan dengan titik C (σ_β), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

Hukum Hooke (*Hooke's Law*) Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan

berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah *linier* atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut : rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

Hubungan antara stress dan strain dirumuskan dengan hukum Hooke: $E = \sigma/\epsilon$. Untuk memudahkan pembahasan, kita modifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Selanjutnya kita dapatkan, yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap.

E diberi nama "*Modulus Elastisitas*" atau "*Young Modulus*". Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini sering disingkat kurva SS (*SS curve*). Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Pengujian Tarik dilakukan dengan mesin uji tarik, *Universal Testing Machine* (UTM). Mesin uji tarik untuk material yang terdiri atas beberapa bagian. Bagian atas disebut sebagai *Crosshead* atau bagian yang bergerak dan menarik benda uji, sepasang ulir silinder akan membawa atau menggerakkan bagian *crosshead*, sementara itu bagian bawah disebut statik. Dibagian *crosshead* terdapat sensor *loadcell* yang akan mengukur besarnya gaya tarik, sedangkan untuk mengukur perubahan panjang digunakan *strain gages and extensometer*^[8].

2.5 Metode Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*. Definisi kualitas menurut Taguchi adalah kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan. Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari empat buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target.
3. Produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
4. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Karakteristik kualitas adalah hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas produk yang melalui proses tersebut. Menurut taguchi, karakteristik kualitas yang terukur dapat dibagi menjadi tiga kategori.

1. *Nominal is the best*

Karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai terget yang tepat pada suatu nilai tertentu.

2. *Smaller the better*

Pencapaian karakteristik apabila semakin kecil (mendekati nol : nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik.

3. *Larger the better*

Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar semakin baik^[9].

Langkah Penelitian Taguchi

Langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah (1) fase perencanaan, (2) fase pelaksanaan, dan (3) fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen. Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level. Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif. Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut :

- ***Perumusan masalah:*** Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.

- ***Tujuan eksperimen:*** Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.
- ***Memilih karakteristik kualitas (Variabel Tak Bebas):*** Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselediki.
- ***Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (Variabel Bebas):*** Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselediki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselediki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming*, *flowcharting*, dan *cause effect diagram*.
- ***Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol:*** Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor

yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.

- ***Penentuan jumlah level dan nilai faktor:*** Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan ongkos percobaan.
- ***Identifikasi Interaksi antar Faktor Kontrol:*** Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuab proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.
- ***Perhitungan derajat kebebasan (degrees of freedom/dof):*** Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.
- ***Pemilihan Orthogonal Array (OA):*** Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati yaitu:

- Jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis OA untuk level dua faktor
 - Jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis OA untuk level tiga faktor
 - Jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: pilih yang mana yang dominan dan gunakan *Dummy Treatment*, Metode Kombinasi, atau *Metode Idle Column*.
 - Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Column*
- ***Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada orthogonal array:*** Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada orthogonal array terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.
- ***Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan:*** Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.
- **Jumlah Replikasi:** Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi.

Replikasi bertujuan untuk: 1) Mengurangi tingkat kesalahan percobaan, 2) Menambah ketelitian data percobaan, dan 3) Mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga memungkinkan diadakan test signifikansi hasil eksperimen.

- **Randomisasi:** Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk: 1) Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan, 2) Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, dan 3) Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (independen) satu sama lain. Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah pengerjaan berdasarkan setting faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi.

- **Analisis Data:** Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.

- ***Interpretasi Hasil:*** Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.
- ***Percobaan Konfirmasi:*** Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi: 1) Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya, dan 2) setting parameter (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.