BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan landasan teoritis dan empiris yang digunakan untuk memperkuat arah dan posisi penelitian yang dilakukan. Pada bab ini dibahas beberapa penelitian sebelumnya (Tabel 2.1) yang berkaitan dengan analisa kekuatan pengelasan, khususnya pada sambungan *T-Joint,* material pipa $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn, serta penerapan metode elemen hingga dalam menganalisis tegangan, deformasi, dan faktor keamanan sambungan las. Tinjauan ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan penelitian sejenis, metode yang digunakan, serta celah penelitian yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Judul Penelitian	Metode/Topik Utama
1	Frastiana Ramadhan Basri, Hartono Yudo, Wilma Amirudin	2016	ANALISA KEKUATAN SAMBUNGAN PIPA *T-JOINT* MENGGUNAKAN PELAT PENGUAT DENGAN VARIABEL DH/DB MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA	Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (FEM) untuk menganalisis distribusi tegangan dan deformasi pada sambungan pipa *T-Joint* dengan pelat penguat akibat variasi DH/DB.
2	Azzaky Alghifari.1,	2016	ANALISA KEKUATAN	Penelitian ini menggunakan

	Hartono Yudo1, Wilman Amirudin.		PERCABANGAN PIPA *T-JOINT* Dh/Db = 1 TANPA PLAT PENGUAT DENGAN VARIASI SUDUT AKIBAT BEBAN MOMEN YANG BEKERJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA	metode elemen hingga (FEM) untuk menganalisis distribusi tegangan dan deformasi pada percabangan pipa *T-Joint* Dh/Db = 1 tanpa pelat penguat akibat pengaruh variasi sudut dan beban momen.
3	Antonius Wahyu Cahyo Purnomo	2016	PERHITUNGAN DISTRIBUSI TEGANGAN SISA PENGELASAN SAMBUNGAN–T PADA INSTALASI PIPA	Penelitian ini menggunakan metode analisis tegangan sisa untuk menghitung distribusi tegangan sisa akibat proses pengelasan pada sambungan T instalasi pipa.
4	Azwinur1, Mukhsinun Hadi Kusuma, Usman, Surya Dharma,	2025	EFFECTS OF HEAT INPUT ON MECHANICAL PROPERTIES, MICROSTRUCTURES AND THERMAL CONDUCTIVITY OF	Metode eksperimental digunakan melalui proses pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) dengan variasi

	Akhyar		COPPER ALLOY IN GAS TUNGSTEN ARC WELDING TECHNOLOGY	heat input untuk menganalisis pengaruhnya terhadap sifat mekanik, struktur mikro, dan konduktivitas termal paduan tembaga.
5	Minghui Pan, Yuchao Li, Siyuan Sun, Wenhe Liao, Yan Xing and Wencheng Tang	2023	TENSILE BEHAVIORS AND MECHANICAL PROPERTY ANALYSES OF T-WELDED JOINT FOR THIN-WALLED PARTS IN CONSIDERATION OF DIFFERENT TIG WELDING CURRENTS USING MULTIPLE DAMAGE MODELS AND FRACTURE CRITERIONS: NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENT VALIDATION	Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik dan eksperimen dengan variasi arus pengelasan TIG, disertai penerapan beberapa model kerusakan dan kriteria fraktur untuk menganalisis perilaku tarik dan sifat mekanik sambungan las T, serta melakukan validasi hasil simulasi terhadap data eksperimen
6	Priagung Surya	2018	PENGARUH VARIASI ARUS PULSED	Metode eksperimental

	Binathara, Wikan Jatimurti, dan Alvian Toto Wibisono		CURRENT, CONTINUOUS CURRENT, DAN FLOWRATE GAS PELINDUNG ARGON TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN METODE TUNGSTEN INERT GAS (TIG)	digunakan melalui proses pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) dengan variasi arus pulsed current, continuous current, dan flowrate gas pelindung argon untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kekerasan dan struktur mikro hasil pengelasan.
7	Rabih Kamal Kassab, Henri Champliaud, Ngan Van Lê, Jacques Lanteigne and Marc Thomas	2012	EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENT ANALYSIS OF A T-JOINT WELDING	Penelitian ini menggunakan metode kombinasi eksperimen dan analisis elemen hingga pada sambungan las T-Joint, yang bertujuan untuk memvalidasi hasil simulasi numerik terhadap data eksperimen serta menganalisis perilaku mekanik

				sambungan akibat proses pengelasan.

Dalam industri perpipaan, proses fit-up dan pengelasan merupakan tahapan kritis yang menentukan penerimaan hasil kerja (accept atau reject) melalui inspeksi dan kualifikasi oleh biro klasifikasi seperti BKI (*Biro Klasifikasi Indonesia*), NK (*Nippon Kaiji*), LR (*Lloyd's Register*) dan DNV & GL (*Det Norske Veritas Germanischer Lloyd)* Oleh karena itu, pekerja pengelasan harus memiliki kompetensi yang terverifikasi.

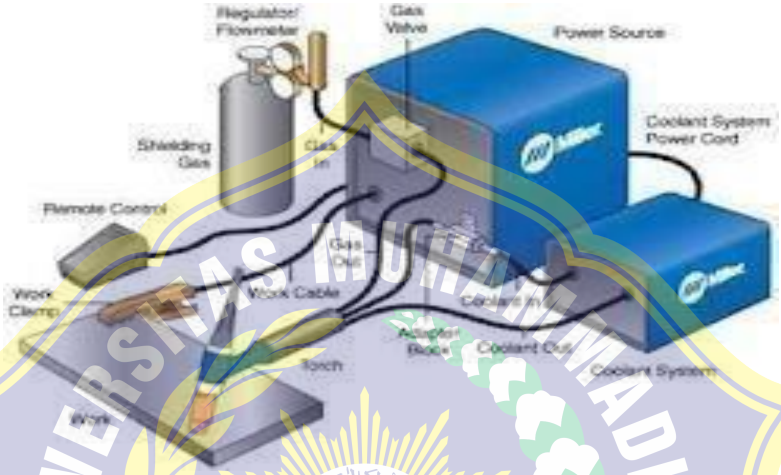
Menurut (Pazooki et al., 2017) Tegangan sisa dan distorsi pada proses pengelasan memiliki hubungan yang sangat erat. Pengendalian distorsi dapat dilakukan dengan memanipulasi tegangan yang timbul selama proses pengelasan maupun tegangan sisa yang tertinggal pada benda kerja melalui pendekatan rekayasa tegangan. Untuk memahami mekanisme pengurangan distorsi tersebut, dikembangkan model elemen hingga tiga dimensi yang kemudian divalidasi melalui pengukuran temperatur, distorsi, serta tegangan sisa, dan didukung oleh analisis mikrostruktur material.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan GTAW (*Gas Thungsten Arc Welding*)

Proses *welding* (pengelasan) proses salah satu penyambungan material (bahan) dengan dicairkan kedua benda logam dengan bantuan gas pelindung. Definisi proses dan prosedur dalam *welding* akan mengikuti standart yang di inginkan oleh owner untuk penyesuian hal-hal yang akan di butuhkan dari kapal tersebut. Dalam penyambungan logam *ferro* atau *non-ferro* untuk menjadikan bagian yang satu, di perlukan pemanasan dan juga perawatan material agar dengan ketentuan standart masing–masing. Dalam standart WPS (*Welding Procedure Specification*) perawatan dan pelaksanaan proses *welding* semuanya tergantung dalam modul tersebut. Semuanya sudah di uji kelayakan, keamanan dan ketahanan material yang sudah terferifikasi baik nasional maupun internasional.

Menurut (Setiawan, 2021) proses pengelasan GTAW (*Gas Thungsten Arc Welding*) salah satu metode pengembangan modern yang di khususkan untuk jenis dengan thicknes di >3 mm (milli meter) dengan penetrasi dalam, tanpa spatter dan flux. Sangat berbeda dengan proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) semua proses pengelasan tersebut masih membutuhkan flux untuk menjaga cairan pengelasan dari penyambungan dua benda logam agar tidak terkontaminasi dengan atmosfer udara luar.



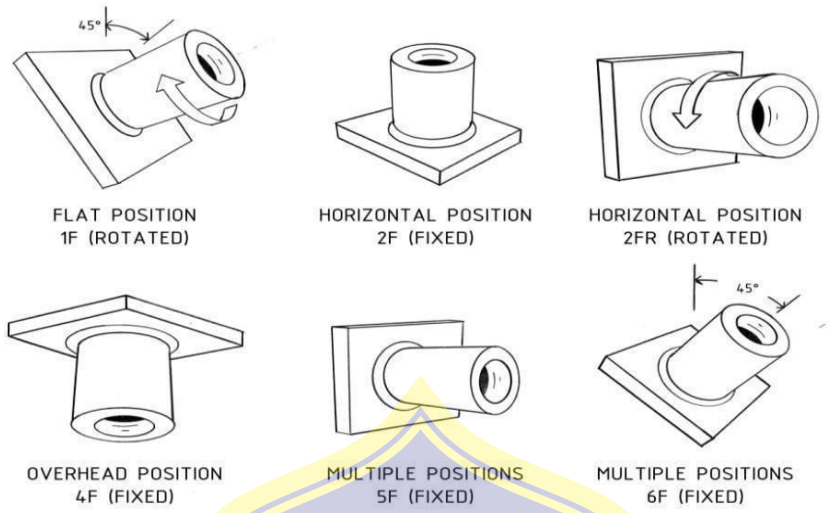
Gambar 1. Peralatan Las GTAW

(Sumber: https://junaidilas.blogspot.com/2017/09/mesin-dan-perlengkapan-las-gtaw.html)

2.2.2 Sambungan Las Pipa

a. Sambungan Fillet Pipa

Sambungan fillet pada pipa yaitu sambungan las paling efesien pada pipa dengan material plat (datar) yang membentuk sudut 90° tanpa membentuk kampuh las atau bevel. sambungan pengelasan dua komponen disatukan dengan posisi saling tegak lurus atau membentuk sudut tertentu, kemudian dilas pada bagian sudut pertemuannya menggunakan las fillet. Pipa yang di sumbu pipa dimiringkan ± 45° dan benda kerja diputar selama pengelasan. oleh plat tidak perlu penetrasi yang dalam karena fungsi dari sambungan pipa bertujuan untuk pondasi saja tanpa fungsi yang khusus. Sambungan fillet merupakan sambungan dasar dan wajib di kuasai karena lebih mudah pengerjaan nya bila di bandingan kan dengan sambungan yang lain seperti butt joint *T-Joint* sering sekali di jumpai pada fabrikasi pipa.



Gambar 2. Sambungan Fillet Pipa

(Sumber:https://openwa-pressbooks pub.translate.goog/lwtechweldingpipe/chapter/pipe-welding-positions/?pto=imgs)

b. Sambungan Butt Joint Pipa

Sambungan butt joint pada pipa yaitu sambungan las jenis sambungan yang di lakukan dengan cara menghubungkan dua material (sambungan lurus) di potong lurus secara langsung. Sambungan ini membentuk sambungan yang kuat. Dari potongan pipa tersebut di pastikan membentuk sudut 90° sama lurus agar tidak terjadi deformasi (perubahan bentuk) setelah di lakukan *welding.* Pada sambungan butt joint ini mempunyai kelemahan dan keunggulan tersendiri.

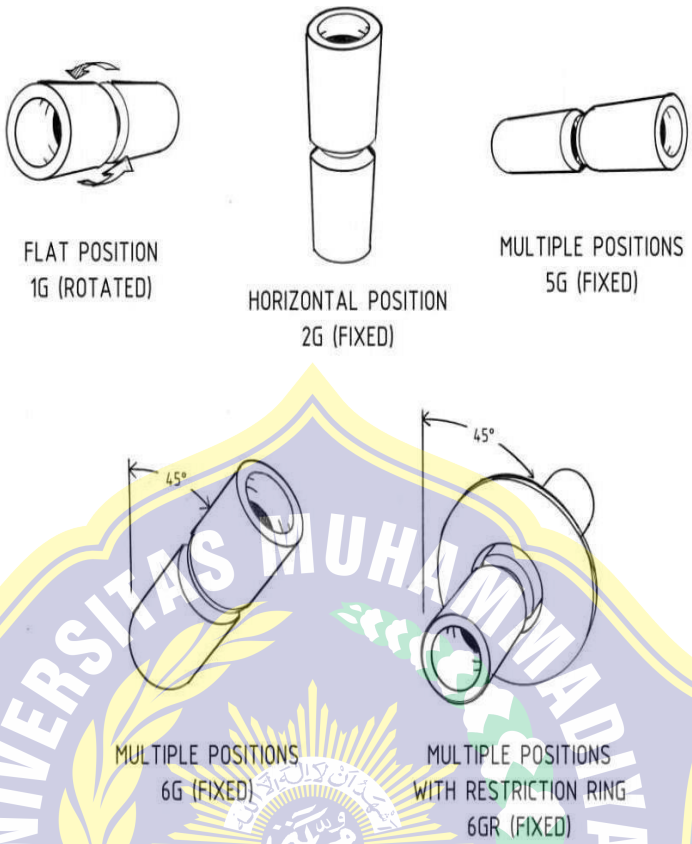
- Kelemahan sambungan butt joint yaitu:

1) Persiapan yang rumit.
2) Tingkat distorsi tinggi.
3) Keterampilan *welding* yang kompeten.

- Keunggulan sambungan butt joint yaitu:

1) Menghasilkan sambungan yang kuat.
2) Tahan uji tarik.

Di bawah ini macam – macam sambungan butt joint paa pipa gambar 2.3.



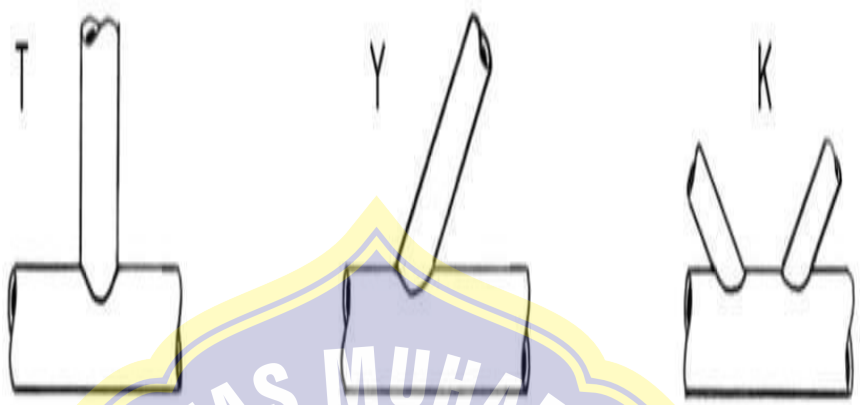
Gambar 3. Sambungan Butt Joint pada Pipa

(*Sumber* : *https://openwa-pressbooks-pub.translate.goog/lwtechweldingpipe/chapter/pipe-welding-*)

c. Sambungan *T-Joint* Pada Pipa

Sambungan *T-Joint* yaitu fitting pada pipa yang membentuk huruf T dari material perpipaan yang menghubungkan ke tiga pipa secara langsung untuk membagi atau menyalurkan fluida. Proses pengelasan pada sambungan T dalam perpipaan terdapat beberapa tantangan, dalam aksebilitas terbatas terutama pada bagian fitting material. Dari sambungan tersebut ada yang harus benar benar di perhatikan dari material pipa satu dengan pipa utama harus tegak lurus presisi 90°. Sambungan ini sangat sering di pakai di dunia industry karena efesiensi pada materian dan penetrasi inkomplek pada setart stop *welding*. Untuk proses pengelasan nya juga tidak terlalu sulit atau rumit.

Di karenakan sudut setengah lingkaran saja berbeda dengan butt joint yang harus memiliki keahlian khusus di bidang nya. *T-Joint* juga bisa di kategorikan fillet joint karena bentuk fitting dan posisi *welding* yang berkonsentrasi pada titik andstop pengelasan. Di bawah ini macam–macam sambungan *T-Joint* pada pipa gambar 2.4.



Gambar 4. Sambungan *T-Joint* pada Pipa

(Sumber : https://openwa-pressbooks-pub.translate.goog/lwtechweldingpipe/chapter/pipe- welding-positions/?pto=imgs)

2.2.3 Material $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn

a. Karakteristik Fisik dan Kimia

Paduan tembaga-nikel (CuNi) merupakan kelompok paduan yang memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, terutama terhadap air laut. Paduan $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn secara nominal terdiri dari 10% nikel, 1% besi, dan 1% mangan, dengan sisanya adalah tembaga berdasarkan (Febrianto. F, 2015). Penambahan nikel secara signifikan meningkatkan ketahanan korosi terhadap air laut dan mengurangi laju biofouling (bakteri atau alga laut). Besi dan mangan ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap korosi. Sifat fisik tipikal dari $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn meliputi densitas (sifat ringan), titik lebur, konduktivitas termal (perpindahan massa pada material), dan koefisien ekspansi termal (perambatan panas) yang perlu dipertimbangkan dengan baik dalam proses pengelasan menurut (Nugroho et al., 2021). Komposisi kimia dan metallurgi CuNi yang

tepat sangat penting untuk memastikan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang optimal, karena itu material CuNi menjadi solusi dalam pembangunan kapal yang bisa membuat laju kapal semakin cepat dari ke unggulan benda kerja tersebut.

b. Sifat Mekanik

Sifat mekanik $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn, seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh dan kekerasan. Dipengaruhi oleh komposisi kimia, proses manufaktur dan perlakuan gerak panas. Paduan ini umumnya memiliki sifat metallurgi kekuatan yang moderat dan keuletan yang baik. Data mengenai sifat mekanik tipikal $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn, termasuk rentang nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh dan elongasi akan diuraikan berdasarkan literatur yang relevan. Pemahaman terhadap sifat mekanik material dasar ini penting sebagai pembanding dengan sifat mekanik hasil pengelasan berdasarkan (Firmansyah D. R., 2022).

c. Aplikasi dalam Sistem Perpipaan

System perpipaan di kapal merupakan system yang kompleks untuk pembangunan dan perencanaan nya. Dalam system perpipaan mempunyai hubungan erat dengan beberapa prinsip-prinsip dynamic stress, thermodinamika dan Analisa statis. Tata letak material yang akan di kerjakan sesuai gambar atau desaig sangat perlu di perhatikan agar mengurangi segala hal yang tidak di inginkan missal: susunan gambar, panjang pipa dan jalur instalasi pipa yang terencana sebaik mungkin agar terhindar dari stress tinggi pada struktur material. Pada instalasi system perencanaan pipa mengharapkan hasil jaringan instalasi pipa yang efesien dari mana aplikasinya bagus secara mutu dan pengaplikasian dari segi tataletak atau segi keamanan untuk pengoprasian nya. Semua itu harus sesuai dengan peraturan-peraturan biro klarifikasi maupun spesifikasi installation guide dengan system pendukung berdasarkan (Windyandari et al., 2013).

Karena ketahanan korosinya yang unggul terhadap lingkungan air laut, $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn banyak digunakan dalam berbagai aplikasi sistem perpipaan, termasuk:

a. Sistem perpipaan air laut pada kapal dan platform lepas pantai.

b. Instalasi desalinasi air laut.

c. Sistem pendingin yang menggunakan air laut sebagai media pendingin

d. Komponen sistem hidrolik dan pneumatik di lingkungan maritim. Keandalan sambungan las pada sistem perpipaan yang terbuat dari material ini sangat krusial untuk memastikan operasi yang aman dan efisien.

2.2.4 Fire Main System

Sistem pemasukan air laut ke dalam pipa pemadam kebakaran ditempatkan pada setiap sistem pengeluaran pemadam kebakaran terdapat katup-katup yang terisolasi yang berada disekeliling kapal dan pipa air dengan tepat akan mengunci penghubung yang ditempatkan berdekatan dengan nozzle. Hampir di seluruh area kerja diatas kapal sedemikian hingga tertutup dan pasokan air laut dapat dibawa untuk digunakan sebagai pemadaman api pada tiap titik di bagian kapal. Nozzle jet atau spray akan disetel untuk menyediakan penyemprot air yang dapat digunakan untuk melawan api serta mendinginkannya tanpa harus disemprotkan.

2.2.5 Proses Pengelasan Gas *Tungsten Arc Welding* (GTAW)

a. Prinsip Dasar GTAW

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), atau yang sering disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG), adalah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda tungsten non- consumable untuk menghasilkan panas las.

Busur listrik terbentuk antara ujung elektroda tungsten dan benda kerja, dalam lingkungan gas pelindung inert, seperti argon atau helium, yang melindungi area las dari kontaminasi atmosfer. Filler metal dapat ditambahkan secara manual atau tidak digunakan sama sekali, tergantung pada jenis sambungan dan ketebalan material menurut (Firdiansyah C et al., 2022).

b. Keuntungan dan Kerugian Las GTAW pada Material CuNi

GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) sering dipilih untuk pengelasan material non- ferrous menjadi ke unggulan proses pengelasan tersebut. Beberapa keuntungan dan kekurangan dalam proses las modern tersebut contoh nya:

- Keuntungan las GTAW material CuNi Kualitas las yang tinggi.
    1. Hasil las yang di hasilkan auto bagus.
    2. Kontrol panas yang presisi, meminimalkan distorsi.
    3. Tidak menghasilkan spatter/slag.

4. Cocok untuk pengelasan material tipis.

- Kekurangan las GTAW material CuNi.

1. Biaya sangat tinggi.
2. Proses pengelasan sangat lambat.
3. Membutuhkan welder yang competen.
4. Potensi cacat las sambungan dissmillar.

2.2.6 Penggunaan *Saddle* Pada Sambungan Pipa

a. Konsep dan Fungsi *Saddle*

Saddle adalah komponen tambahan yang digunakan dalam pembuatan sambungan pipa, terutama pada sambungan T atau sambungan cabang lainnya dan menjadi spare yang sangat penting. *Saddle* berfungsi sebagai elemen transisi cabang yang menyesuaikan bentuk antara pipa utama dan sambungan pipa, mendapatkan permukaan yang lebih baik untuk pengelasan dan berpotensi mendistribusikan tegangan secara lebih merata pada area sambungan. Salah satu jenis penyangga dan fitting khusus untuk di rancang menompang pipa dari pipa menjadikan hal yang sangat penting pada sistem perpipaan.

Ada dua macam bagian suddle yaitu: bagian bawah (*base*) dan bagian atas. Penjelasan bagian bawah suddle yaitu suatu material struktural yang di gunakan sebagai penyalur induk dari bagian sistem perpipaan secara langsung ke kontruksi atau plat. Bagian atas pada suddle material pipa yaitu material pipa fittup melengkung ke atas pada bentuk luar pipa. Fungsi dari material pipa atas sebagai penompang dan penjepit atau bersentuhan material pipa untuk memebantu ke stabila posisi pipa dalam suppot penyanggaan.

1. Fungsi *saddle* dalam sistem perpipaan, khususnya pada sambungan T, sangat penting untuk efisiensi dan fleksibilitas instalasi. *Saddle* atau lebih spesifiknya clamp *saddle* adalah komponen yang memungkinkan pembuatan cabang dari pipa utama tanpa perlu memotong atau mengganti bagian pipa tersebut. *Saddle* memastikan pipa cabang terpasang dengan posisi yang tepat dan sejajar, mendukung efisiensi aliran fluida. Cocok untuk sistem yang memerlukan penyesuaian atau perluasan jaringan tanpa gangguan besar.

b. Keuntungan Pengunaan Dengan *Suddle* Pada Sambungan *T-Joint*

Dari tahun ke tahun pengembangan desaign dalam kemudahan untuk meningkatkan produksi dalam keperluan pembangunan negara. Beberapa keuntungan penggunaan *suddle* pada pengelasan sambungan T sebagai berikut:

1. Mengurangi proses fittup dan mengurangi peritungan yang tidak sesuai dari proses pemasangan pada diagram pipa.
2. Lebih cepat dalam fabrikasi.
3. Memudah kan modifikasi aktual pada kontruksi atau onboot.
4. Lebih kuat dan tahan lama.
5. Meningkatkan tegangan sisa pada pengelasan untuk menghasil kan sambungan *welding* yang kuat.
6. Berpotensi mengurangi stress pada metrial dari akibat pengelasan.
7. Memungkinkan sudut cabang yang bervariasi.
8. Dalam penggunaan suddle pada sambungan T sangat memudah kan dalam hal pekerjaan terutama modifikasi.

Kekurangan atau keterbatasan dalam penggunaan suddle sebagai berikut:

1. Memerlukan biaya lebih mahal.
2. Tidak semua jenis material bisa menggunakan *suddle.*
3. Memerlukan fitting dan *welding* lebih banyak.
4. Keterbatasan Material dan Ukuran Pipa.

c. Jenis-Jenis *Saddle*

Saddle digunakan untuk membuat cabang dari pipa utama secara efisien tanpa harus memotong atau mengganti bagian pipa. Terdapat berbagai jenis *saddle* yang tersedia, dibedakan berdasarkan bentuk dan fungsinya seperti.

- *half-saddle.*
- *full-saddle.*
- *saddle* dengan desain khusus untuk aplikasi tertentu.

Beberapa penjelasan dari penggunaan *saddle:*

1. *Half-saddle* di gunakan untuk aplikasi ringan atau tekanan rendah. Pengelasan dilakukan di sisi atas dan samping cabang.
2. *Full-saddle* permukaan pipa utama di sekitar titik cabang (360˚). Memberikan kekuatan lebih tinggi dan distribusi tekanan yang lebih merata. Digunakan untuk sistem bertekanan tinggi atau lingkungan korosif seperti kelautan. Merupakan sambungan cabang berbentuk pelana yang dipasang di atas pipa utama.
3. *Saddle* digunakan untuk membuat sambungan *T-Joint* tanpa memotong pipa utama. Biasanya tersedia dalam bentuk standar dan bisa disesuaikan dengan diameter pipa. Pemilihan jenis *saddle* yang tepat bergantung pada ukuran dan konfigurasi pipa yang disambung serta persyaratan gambar isogeometrik.

2.3 Pengujian Sifat Mekanik Material Las

2.3.1 Pengujian *Hidrotest* Pipa $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn

Metode pengujian dalam perpipaan ini tekanan pada sistem dengan cara mengisi pipa menggunakan cairan (angin atau air) dan menekannya hingga mencapai batas tertentu. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa pipa dan sambungannya aman tida ada kebocoran. Untuk proses pengujian ini pipa $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn berhasil lulus uji hidrostatik pada tekanan (isi sesuai tekanan pengujian, rumus nya: 1,5 kali tekanan kerja pada sistem tersebut), tanpa menunjukkan kebocoran, deformasi permanen, atau tanda- tanda kegagalan struktural.

Material $CuNi_{10}$ Fe_1 Mn menunjukkan ketahanan yang baik terhadap tekanan internal, sesuai dengan standar pengujian hidrostatik untuk aplikasi kelautan dan perpipaan industri. Hasil pengujian membuktikan bahwa proses fabrikasi dan sambungan las pada pipa sudah aman dari kebocoran. Untuk memenuhi kriteria kinerja, baik dari sisi kekedapan maupun integritas mekanis. Pengujian ini juga menunjukkan bahwa kombinasi antara komposisi material dan teknik sambungan yang digunakan cocok untuk aplikasi bertekanan tinggi, seperti sistem pendingin.

2.4 *Safety Factor*

2.4.1 Pengertian *Safety Factor*

Safety Factor (faktor keamanan) adalah rasio antara kekuatan maksimum yang mampu ditahan oleh suatu material atau struktur terhadap beban kerja yang bekerja pada kondisi operasi. Faktor ini digunakan sebagai margin keamanan dalam perancangan teknik untuk mengantisipasi ketidakpastian yang mungkin terjadi selama proses manufaktur maupun saat komponen beroperasi.

Secara umum, *safety factor* menunjukkan seberapa jauh suatu komponen berada dari kondisi gagal. Jika nilai *safety factor* lebih besar dari satu, maka komponen masih berada dalam kondisi aman. Sebaliknya, nilai yang mendekati atau kurang dari satu menunjukkan bahwa struktur berisiko mengalami kegagalan.

2.4.2 Fungsi dan Tujuan Safety Factor

Penerapan safety factor dalam desain teknik bertujuan untuk mengantisipasi berbagai ketidakpastian yang dapat memengaruhi kinerja struktur. Faktor ini digunakan untuk mengantisipasi ketidakpastian beban seperti beban kejut, fluktuasi tekanan, dan beban dinamis, serta mengompensasi variasi sifat material akibat toleransi produksi maupun cacat internal. Selain itu, *safety factor* juga mempertimbangkan kemungkinan kesalahan manufaktur, termasuk cacat pengelasan dan ketidaksempurnaan geometri. Dalam kondisi operasi, faktor ini berperan dalam menghadapi degradasi material seperti korosi, kelelahan (*fatigue*), dan keausan, sekaligus meningkatkan keandalan serta umur pakai komponen atau struktur. Dengan demikian, safety factor merupakan parameter penting untuk menjamin keselamatan, keandalan, dan kontinuitas operasi suatu sistem.

2.4.3 Dasar Teori Safety Factor

Secara matematis, safety factor dapat dinyatakan dengan beberapa pendekatan tergantung pada jenis analisis yang digunakan.

a. Berdasarkan Tegangan

Untuk analisis Berdasarkan Tegangan penentuan faktor keamanan yang didasarkan pada perbandingan antara tegangan kekuatan material dengan tegangan kerja yang terjadi pada suatu komponen. Metode ini digunakan untuk menilai apakah suatu struktur masih berada dalam batas aman terhadap kemungkinan terjadinya luluh (*yield*) atau patah (*failure*).

Secara prinsip, suatu komponen dinyatakan aman apabila tegangan kerja maksimum yang timbul akibat beban operasi lebih kecil dibandingkan tegangan yang diizinkan material. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan:

berbasis tegangan, safety factor dirumuskan sebagai:

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma max}$$

Keterangan:

- SF = Safety Factor
- σ_y =Tegangan luluh material (Equivalent Stress)
- σ_{max} =Tegangan kerja maksimum

Penentuan nilai safety factor tidak bersifat tetap karena harus disesuaikan dengan kondisi perancangan dan operasi komponen. Nilai ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu jenis pembebanan yang bekerja (statis atau dinamis), sifat dan kekuatan material yang digunakan, serta metode manufaktur yang dapat menimbulkan variasi kualitas. Selain itu, kondisi lingkungan operasi seperti temperatur, korosi, dan getaran juga berperan penting dalam menentukan besarnya faktor keamanan. Tingkat konsekuensi kegagalan turut menjadi pertimbangan; semakin tinggi risiko akibat kegagalan, semakin besar safety factor yang diperlukan. Pemilihan nilai tersebut juga harus mengacu pada standar atau kode desain yang berlaku agar komponen yang dirancang memenuhi persyaratan keselamatan dan keandalan.

2.4.4 Jam Orang (*Man Hour*)

Jam orang (*man hour*) merupakan satuan yang digunakan untuk menyatakan jumlah waktu kerja efektif yang dibutuhkan oleh tenaga kerja dalam menyelesaikan suatu pekerjaan. Dalam konteks fabrikasi dan pengelasan pipa, man hour menjadi parameter penting untuk mengukur produktivitas, efisiensi tenaga kerja, serta estimasi biaya pekerjaan.

Secara umum, man hour didefinisikan sebagai total waktu kerja yang dihasilkan oleh satu orang pekerja selama satu jam. Perhitungan ini digunakan untuk merencanakan kebutuhan tenaga kerja dan mengevaluasi kinerja proses produksi. Pada pekerjaan pengelasan, termasuk pembuatan sambungan *T-Joint,* analisis man hour membantu mengidentifikasi tahapan pekerjaan yang paling memakan waktu dan berpotensi menimbulkan inefisiensi.

Secara matematis jam orang dapat dihitung dengan persamaan:

$$MH = n \times t$$

Keterangan:

- MH = *Man Hour* (Jam-Orang)
- n = Jumlah Tenaga Kerja
- t = Waktu Kerja (Jam)

Perhitungan man hour digunakan sebagai parameter pendukung untuk mengevaluasi efisiensi proses fabrikasi spesimen. Tahapan pekerjaan yang diperhitungkan meliputi persiapan material, proses fit-up *T-Joint*, pengelasan fillet, pembersihan hasil las, serta inspeksi visual.

Analisis man hour pada penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran kebutuhan waktu kerja aktual pada proses pembuatan sambungan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi produktivitas dan pertimbangan aspek ekonomis. Selain itu, data jam orang juga bermanfaat untuk membandingkan metode pengerjaan, misalnya antara sambungan dengan *saddle* dan tanpa *saddle,* apabila dilakukan pada kondisi penelitian yang sebanding.

2.4.5 Presentasi Efesiensi Waktu

Persentase efisiensi waktu merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat penghematan waktu suatu metode kerja dibandingkan dengan metode acuan. Dalam bidang manufaktur dan fabrikasi, efisiensi waktu menjadi

salah satu indikator produktivitas karena berkaitan dengan durasi pengerjaan, penggunaan tenaga kerja, dan biaya produksi. Semakin singkat waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan tanpa mengurangi kualitas hasil, maka semakin tinggi tingkat efisiensi metode tersebut. Pengukuran efisiensi waktu dilakukan dengan membandingkan waktu pengerjaan metode referensi dengan metode pembanding. Selisih waktu yang diperoleh menunjukkan besarnya penghematan waktu, yang kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase untuk memudahkan evaluasi dan perbandingan kinerja antar metode. Persentase efisiensi waktu dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Formula:

$$\text{Efesiensi Waktu (\%)} = \frac{\text{T awal} - \text{T baru}}{\text{T awal}} \text{x } 100\ \%$$

Keterangan :

- T awal = Waktu Metode Referensi (dengan *saddle*)
- T baru = Waktu Metode Pembanding (tanpa *saddle*)

Hasil perhitungan efisiensi waktu digunakan untuk mengevaluasi seberapa besar peningkatan produktivitas yang dihasilkan oleh metode tanpa *saddle*. Apabila nilai efisiensi yang diperoleh bernilai positif, maka metode tanpa *saddle* mampu menghemat waktu pengerjaan dibandingkan metode dengan *saddle*, sehingga dapat dikatakan lebih efisien dari aspek waktu. Sebaliknya, apabila nilai efisiensi bernilai nol, kedua metode memiliki waktu pengerjaan yang sama. Jika nilai efisiensi bernilai negatif, maka metode tanpa *saddle* memerlukan waktu pengerjaan yang lebih lama dibandingkan metode referensi. Dengan demikian, persamaan efisiensi waktu ini dapat digunakan sebagai dasar untuk membandingkan kinerja kedua metode fabrikasi dari segi waktu pelaksanaan pekerjaan.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURABAYA