

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Finite Element Method

Metode Elemen Hingga (Finite Element Method, FEM) adalah sebuah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah matematis seperti persamaan diferensial parsial (PDP) dengan mendekati domain kontinu (misalnya suatu struktur) sebagai sebuah himpunan dari bagian-bagian yang lebih kecil atau elemen-elemen. Pendekatan ini memungkinkan kita untuk memecahkan masalah kompleks yang sulit atau tidak mungkin diselesaikan secara analitis dengan membagi domain tersebut menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut elemen-elemen.

Secara umum, FEM melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Pemilihan Domain: Domain yang kontinu dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil.
2. Pemilihan Fungsi Aproksimasi: Untuk setiap elemen, fungsi aproksimasi matematis dipilih untuk mewakili solusi dalam elemen tersebut.
3. Formulasi Persamaan: Persamaan untuk setiap elemen dinyatakan berdasarkan hukum fisika yang berlaku (seperti hukum Hooke dalam mekanika padat).
4. Penyusunan Sistem Persamaan: Persamaan dari semua elemen digabungkan untuk membentuk sistem persamaan aljabar.
5. Penyelesaian Sistem Persamaan: Sistem persamaan diselesaikan untuk mendapatkan solusi numerik yang mendekati solusi eksak atau yang diinginkan.

FEM digunakan luas dalam berbagai bidang seperti teknik sipil (analisis struktur), mekanika fluida (aliran fluida), dan banyak bidang ilmu lainnya di mana permasalahan matematis kompleks muncul. Kelebihan utama FEM adalah kemampuannya untuk menangani geometri yang kompleks dan kondisi batas yang beragam dengan cara yang efisien.

2.2 Definisi Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Salah satu cara untuk mengurangi pengaruh buruk tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu prosedur pengelasan yang benar dan tepat, atau dicari arus, kecepatan pengelasan dan masukan panas yang optimal . Proses pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan/atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi.

Terbatasnya teknologi pengelasan yang dapat diaplikasikan untuk proses pengelasan aluminum telah memberik peluang implementasi teknologi pengelasan tanpa pencairan atau non-cair (solid-state welding), diantaranya adalah las gesek (friction welding, FW) dan las gesek puntir (friction stir welding, FSW). Teknik pengelasan non cair pada aluminum dan paduannya dapat mengeliminir terjadinya

retak panas dan rongga udara terjebak, deformasi dan penyusutan rendah, dan tidak memerlukan filler metal dan gas pelindung.

Proses FSW menggunakan perangkat pengelasan yang relatif sederhana dan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin freis vertikal untuk memutar indenter las yang akan berfungsi sebagai pemberi energi panas gesekan (friction) dan sekaligus pengaduk (stir).

2.2.1 Friction Stir Welding

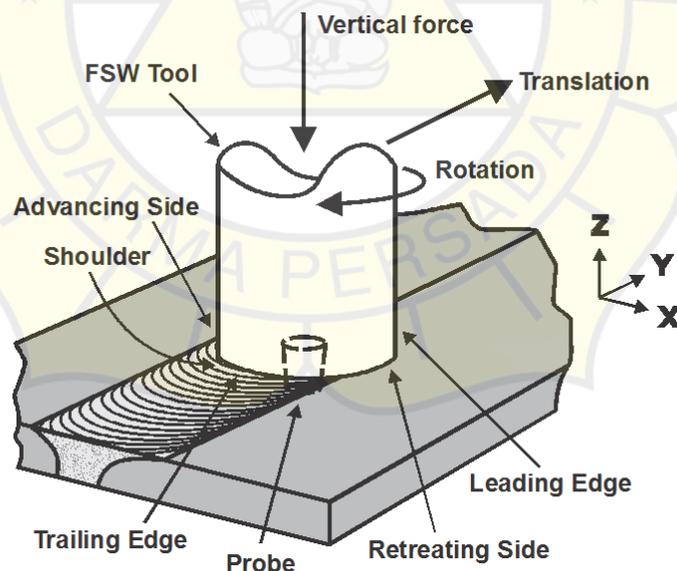
FSW adalah proses pengelasan yang memanfaatkan putaran dari tool yang bergesek terhadap dua buah lempengan logam yang akan disambung. Pengelasan ini biasanya digunakan pada plat-plat logam. Plat yang akan disambung diletakkan berjejer dan di cekam, kemudian tool yang berputar digerakan secara kontinyu dan dengan gerakan aksial yang konstan. Prinsip dasar dari proses pengelasan FSW sangat sederhana yaitu dengan menggunakan sebuah tool yang terdiri dari pin dan shoulder yang diputar pada kecepatan putaran tertentu.

Dalam pengelasan FSW, tool memiliki 2 peranan utama yaitu memanaskan logam induk yang disambung dan menggerakkan material untuk menghasilkan sambungan. Panas yang dihasilkan pada pengelasan FSW tercipta akibat adanya gesekan antara tool FSW dan benda kerja. Panas lokal yang terjadi mengakibatkan adanya pelunakan logam induk bagian adukan tool. Kombinasi putaran dan translasi tool FSW memungkinkan material bergerak dari sisi depan pin hingga sisi belakang pin.

Dalam pengelasan FSW, seberapa cepat tool itu berputar dan seberapa cepat tool itu melewati jalur pengelasan (joint line) merupakan dua kecepatan alat yang harus

diperhitungkan. Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan. Proses pengelasan FSW dimulai dengan tool berputar searah jarum jam dan bertranslasi dari kanan ke kiri. Sisi advancing berada pada daerah kiri, dimana vector kecepatan logam cair searah dengan welding direction. Sementara itu sisi retreating berada pada sisi kanan, daerah dimana vector kecepatan aliran logam cair berlawanan arah dengan welding direction.

Proses pengelasan FSW menggunakan rotating cylindrical tool dengan indenter untuk memanaskan material dengan gesekan. Perkakas berputar menggosok material dan berjalan sepanjang garis las seperti yang dijelaskan pada gambar 2.1. Akibat dari gesekan tersebut maka perkakas akan tersambung menjadi satu. Prinsip kerja metode pengelasan ini adalah 80% dari titik lebur material.



Gambar 2. 1 Skema pengelasan Friction Stir Welding[9]

Metode friction stir welding ini juga minim dengan distorsi atau penyimpangan bentuk oleh panas. Berikut ini adalah batasan-batasan dalam pengelasan friction stir welding :

1. Kecepatan putar tool

Merupakan kecepatan putaran spindel per menit (rpm). Kecepatan putaran yang tinggi dapat meningkatkan strain rate (perubahan regangan suatu material sehubungan dengan waktu dan dapat mempengaruhi proses rekristalisasi (pemurnian suatu zat dari campuran).

2. Translasi material

Memiliki peranan vital dalam menghasilkan sambungan las yang baik. Kekuatan tarik maksimum dapat berkurang secara signifikan apabila translasi terlalu cepat, dengan translasi yang rendah akan menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik maksimum yang tinggi.

3. Desain tool

Desain bentuk dan dimensi tool sangat mempengaruhi hasil pengelasan, bentuk pin yang berada di ujung tool berperan sebagai pengaduk logam induk. Beberapa desain tool yang biasanya digunakan diantaranya adalah silinder berulir, segitiga berulir, dan meruncing berulir.

4. Material

Hal ini mempengaruhi tingkat pendinginan dan temperatur gradien dari material. Semakin tebal material maka akan menyimpan panas yang besar. Hal ini akan berakibat pada waktu pendinginan yang semakin lama.

Pengelasan dengan menggunakan metode friction stir welding memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya, diantaranya adalah :

1. Mengurangi material consumable seperti electrode dan logam pengisi lainnya.

2. Saat proses pengelasan tidak menghasilkan emisi yang berbahaya.
3. Konsumsi energi yang lebih rendah karena tidak memerlukan gas pelindung cairan.

Selain mempunyai keunggulan metode pengelasan FSW ini juga memiliki kekurangan/cacat diantaranya adalah masalah-masalah yang sering timbul dalam proses pengelasan FSW adalah sering terjadinya cacat pada daerah stir zone.

Cacat-cacat tersebut antara lain ialah incomplete penetration, void dan flash/ripplesh.

1. Incomplete Penetration

Cacat yang disebabkan karena proses pengelasan yang terlalu dingin mengakibatkan material tidak meleleh dan menyatu dengan sempurna sehingga terbentuk celah atau lubang pada daerah lasan.

2. Flash/Ripples

Material yang terkelupas atau keluar kepermukaan dari sisi advancing dan sisi retreating akibat penekanan/penetrasi dari welding tool yang terlalu dalam serta pergerakan maju dan gerak berputar dari welding tool terhadap welding direction

3. Void

Cacat rongga yang terjadi karena kurangnya tekanan welding tool terhadap material benda kerja dan mengakibatkan friction heat yang dihasilkan dari gesekan antara welding tool dengan material benda kerja tidak mampu melelehkan material dengan sempurna.

2.2.2 Siklus Friction Stir Welding

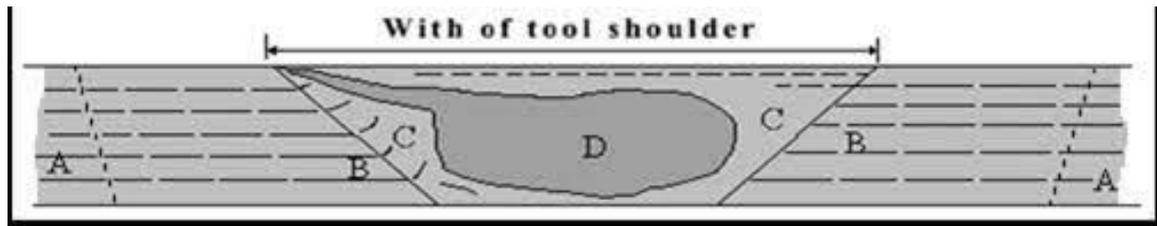
Siklus pada proses friction stir welding dapat dibagi dalam beberapa bagian, dimana pada setiap bagian mempunyai aliran panas dan thermal profile yang berbeda.

Menurut Frigaard et al. (2001) ada beberapa siklus proses FSW, diantaranya:

1. Dwell Time, pada awalnya proses pemanasan dilakukan pada benda kerja dengan friction tool berputar tanpa bergerak translasi (stationery). Pada langkah ini material yang ada di bawah friction tool dipanaskan hingga melunak dan tool akan bergerak translasi sepanjang joint line. Biasanya pada langkah ini juga proses pin/probe penetrasi ke benda kerja dimulai.
2. Transient Heat, proses ini terjadi saat friction tool mulai bergerak translasi biasanya pada saat pemanasan sementara dimana pada saat ini panas yang dihasilkan dan suhu pada sekitar friction tool menjadi tidak stabil lalu bergerak hingga menjadi steady – state pada saat friction tool mulai bergerak.
3. Pseudo steady–state, pada proses berlangsung terjadi fluktuasi suhu pada area sekitar friction tool tetapi tidak terjadi perubahan secara mikrostruktur.
4. Post steady–state, pada saat pengelasan akan berakhir panas benda kerja akan meningkat di sekitar friction tool.

2.2.3 Daerah Pengelasan FSW

Daerah pengelasan merupakan daerah yang terbentuk oleh panas yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Daerah hasil pengelasan (www.ansatt.hig.no. 2003)

Daerah hasil pengelasan dibagi menjadi beberapa bagian antara lain:

1. Parent metal atau unaffected material atau logam induk merupakan daerah yang tidak terpengaruh siklus termal, mikrostruktur maupun sifat mekanik. Struktur mikro berupa butiran halus memanjang searah dengan arah rol.
2. HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis dan perubahan sifat mekanik. Pada daerah ini terjadi perubahan struktur mikro.
3. Thermomechanically affected zone (TMAZ) adalah daerah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami deformasi struktur tetapi tidak terjadi rekrystalisasi.
4. Daerah weld adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan rekrystalisasi yang menghasilkan butiran halus didaerah pengadukan. Weld bentuknya bergantung pada parameter proses, geometri tool, temperature, benda kerja dan konduktivitas termal material.

Pada standar ASM (2007), Friction stir welding dalam prosesnya memiliki beberapa parameter yang akan menentukan seberapa baik kualitas lasan yang dihasilkan.

Parameter tersebut adalah :

1. Kecepatan Rotasi (rpm) dan Kecepatan Las (feeding)

Pada proses pengelasan dengan metode friction stir welding, dibutuhkan sebuah tool yang bergerak secara rotasi dan translasi sekaligus sebagai fungsi untuk menghasilkan panas dan pengadukan material. Pemilihan kedua parameter kecepatan ini harus dilakukan dengan tepat supaya proses pengelasan dapat berjalan dengan baik dan efisien. Untuk menghasilkan panas yang optimal, dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan memperbesar kecepatan rpm dan menurunkan kecepatan lasnya. Atau bisa juga dengan mengkombinasikan dua jenis kecepatan tersebut untuk mendapat panas yang diharapkan. Sehingga, material yang dilas dirasa cukup panas dan viscous sesuai yang dibutuhkan dalam pengelasan ini dan menimalisir beban pada tool.

2. Plunge Depth, Tekanan dan Kemiringan Tool

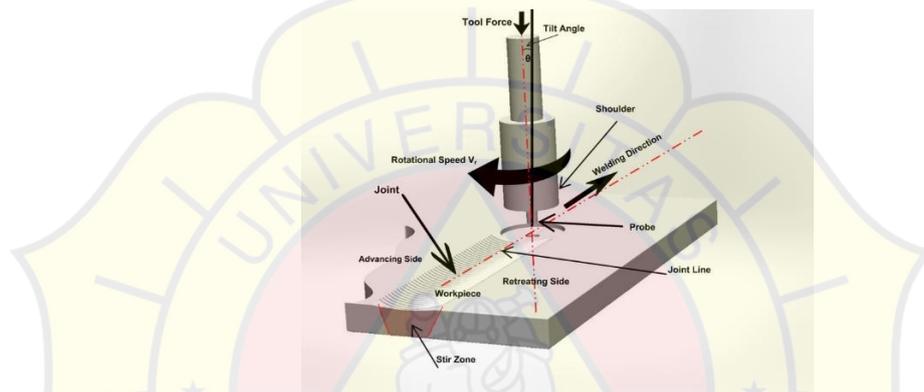
Plunge depth didefinisikan sebagai kedalaman titik terendah probe di bawah permukaan material yang dilas dan telah diketahui sebagai parameter kritis yang menjamin kualitas lasan. Hal ini perlu diatur dengan baik untuk menjamin tekanan ke bawah tercapai dan memastikan tool penuh menembus lasan. Plunge depth yang dangkal dapat mengakibatkan cacat dalam lasan, sebaliknya jika berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan tool karena berinteraksi dengan alasnya.

Tekanan pada tool diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur joint line dan memberi efek tempa (forging). Material panas ditekan dari atas oleh shoulder dan ditahan dari bawah oleh alas. Proses ini bertujuan untuk memadatkan material sehingga penguatan sambungan terjadi akibat efek tempa tersebut. Selain itu, tekanan yang diberikan juga menghasilkan

panas tambahan karena adanya penambahan permukaan yang bergesekan dengan material.

Kemiringan tool adalah besarnya sudut yang dibuat antara sumbu tool dengan permukaan benda kerja, hal ini harus sangat diperhatikan karena akan sangat mempengaruhi hasil dari pengelasan friction stir welding.

Kemiringan yang dibuat berkisar $0-4^\circ$ di mana bagian belakang shoulder lebih rendah dibandingkan dengan bagian depannya.



Gambar 2. 3 Skema derajat kemiringan tools (Mohamed M. El-Sayed Seleman)

2.3 Tools Friction Stir Welding

Friction tool pada proses FSW memiliki 2 bagian utama yaitu pin dan shoulder. Shoulder merupakan bagian yang menghasilkan panas dengan gesekan yang dilakukan terhadap benda kerja, bagian ini juga menjadi penahan material panas yang ada dibawahnya. Disamping itu bagian pin yang memberikan gaya vertikal ke arah benda kerja yang menjaga kondisi contact tool dengan benda kerja. Sedangkan pin adalah bagian yang melakukan penetrasi ke dalam benda kerja, dimana bagian tool ini adalah bagian yang mengaduk material atau mengalirkan material yang sudah melunak akibat panas yang dihasilkan shoulder, sehingga menciptakan suatu sambungan antara dua material [5]. TWI merupakan lembaga yang

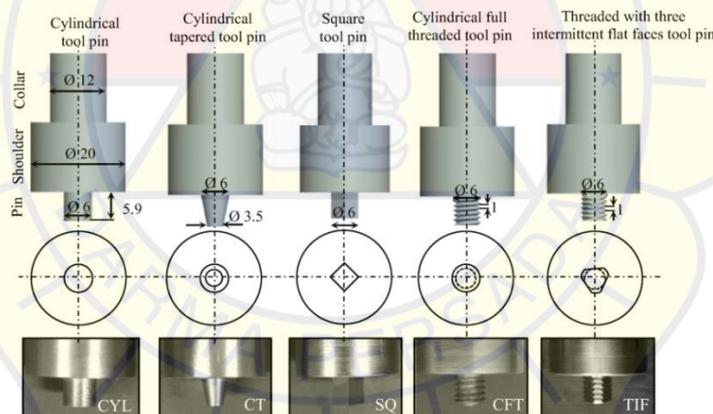
mengembangkan perancangan tool pada FSW, probe dengan berulir berhasil dibuat untuk menghasilkan deformasi plastis yang terjadi pada benda kerja sehingga dapat memungkinkan pencampuran material dilakukan pada putaran lebih tinggi sehingga menghasilkan kualitas lasan yang lebih optimal karena mampu mereduksi kekosongan sambungan (K.J. Colligan, 2003:34).

Pada saat pengelasan gesekan antara tool dan benda kerja menghasilkan panas sekitar 80-90% dari temperatur titik lebur benda kerja yang akan dilas. Material tool harus memiliki titik cair yang lebih tinggi dari benda kerja agar saat pengelasan berlangsung material tool tidak ikut tercampur dengan lasan (Efendi, 2016). Bentuk pin mulai menjadi lebih kompleks dengan meningkatnya teknologi saat ini seperti Threaded pin, Fluted pin dan frustum pin dengan bagian bawah rata ditemukan dengan maksud untuk mempercepat travel speed, menyempurnakan pengadukan material lalu memperbaiki kualitas pengelasan. Scroll shoulder dan concave shoulder dibuat untuk mengurangi efek undercutting dan flash pada sambungan yang ditimbulkan oleh bagian bawah tool shoulder (Thomas, 1999). Desain tool yang menjadi lebih kompleks juga diiringi dengan berkembangnya material tool dari metode friction stir welding harus memiliki kriteria berupa temperatur lebur (melting point) yang tinggi, physical dan chemical wear resist dan efektif melepaskan panas saat pengelasan. FSW saat ini terdapat beberapa tool yang digunakan seperti polycrystalline cubic boron nitride (PCBN), AISI 316 dan AISI310 stainless steel dan alloy 600 dari nickel alloy (Mishra, 2007)

Pada saat melakukan perancangan tool, hal pertama yang harus diperhatikan adalah pemilihan material dengan karakteristik yang harus dipenuhi. Karakteristik tersebut ialah:

- a. Memiliki kekuatan yang baik di temperatur tinggi.
- b. Stabilitas material baik di temperatur tinggi.
- c. Tahan gesek dan aus.
- d. Material tidak dapat bereaksi dengan benda kerja/ yang akan dilas.
- e. Ketangguhan yang baik.
- f. Thermal Expansion yang rendah.
- g. Machinability yang baik.
- h. Mikrostruktur yang homogen.

Macam macam jenis friction tool dapat di lihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Macam-macam tools Fricstion Stir Welding

Proses friction stir welding melibatkan adanya beban mekanikal, sehingga menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada tool terhadap bidang yang akan dilas.

Gaya-gaya tersebut adalah :

1. Downward Force, gaya yang diberikan oleh mesin kepada tool yang diteruskan ke benda kerja dan berfungsi untuk menjaga kontak antara tool

dengan benda kerja sehingga tingkat penetrasi dan panas yang dihasilkan tetap terjaga selama proses pengelasan berlangsung.

2. Traverse Force, gaya yang bekerja paralel dengan gerakan translasi dari tool dan merupakan gaya positif yang dihasilkan akibat gerakan translasi dari tool itu sendiri.
3. Lateral Force, gaya yang bergerak tegak lurus dengan arah gerak translasi dari tool, hal ini timbul karena adanya kemiringan tool.
4. Torque, sejumlah gaya yang timbul akibat adanya gerak rotasi tool dan resistansi material pada proses pengelasan berlangsung. (ASM, 2007)

Dalam proses friction stir welding terdapat pembagian zona berdasarkan fase pembentukan sambungan sepanjang joint line. Telah dijelaskan dalam prinsipnya, bahwa penyambungan material dilakukan dengan kombinasi proses pengadukan dan penempaan material yang telah melunak akibat panas yang dihasilkan dari gesekan tool dengan material.

Tools yang telah dibuat harus dilakukan heat treatment sebelum digunakan untuk mendapatkan bahan yang lebih keras setelah di heat treatment.

2.3.1 Heat Treatment

Heat treatment merupakan proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro nya melalui proses pemanasan serta pengaturan kecepatan pendinginan tanpa merubah komposisi kimia logam tersebut. Tujuan dari proses heat treatment adalah untuk mendapatkan sifat-sifat logam yang dibutuhkan. Perubahan sifat logam

akibat proses heat treatment dapat mencakup keseluruhan maupun sebagian dari logam tersebut.

Perlakuan panas (Heat Treatment) mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (internal stress), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. Perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

Adanya sifat alotropik dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. Alotropik itu sendiri merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Pada temperatur dibawah 910°C sel satuannya Body Center Cubic (BCC), temperatur antara 910°C dan 1392°C sel satuannya Face Center Cubic (FCC), sedangkan temperatur diatas 1392°C sel satuannya kembali menjadi BCC.

Ada beberapa jenis heat treatment yaitu:

- Hardening
- Tempering
- Annealing

- Normalizing.

Setelah dilakukan treatment maka bahan yang sudah selesai di treatment sudah bisa dipakai karna dalam penerapannya baja yang telah di treatment sudah lebih keras dibanding baja yang belum di treatment.

2.4 Kecepatan Putar Tools

Pada pengelasan jenis Friction stir welding, ada beberapa factor yang mempengaruhi hasil dan kekuatan las, diantaranya adalah putaran spindle, feed rate (kecepatan makan), Tool angle (sudut probe), Plug Depth (kedalaman pemakanan) dan Joint Design. Putaran spindle adalah kecepatan putaran probe yang terhubung pada mesin (CNC) Friction stir welding, Putaran spindle ini yang mengakibatkan tool dan benda kerja bergesekan sehingga terjadi kenaikan suhu namun tidak sampai pada titik leleh, sehingga kedua benda kerja dapat tersambung dengan baik, putaran spindle harus selalu konstan dari titik awal hingga titik akhir agar tidak terjadi kegagalan las pada titik tertentu.

2.5 Software ABAQUS

Abaqus adalah salah satu perangkat lunak simulasi yang paling umum digunakan di dunia untuk analisis elemen hingga (finite element analysis, FEA). Dikembangkan oleh Dassault Systèmes SIMULIA, Abaqus digunakan secara luas dalam industri untuk memodelkan dan menganalisis perilaku struktur, termasuk respons mekanik, termal, elektrik, dan kinerja umum material.

Perangkat lunak ABAQUS telah dimanfaatkan untuk menyelidiki evolusi suhu selama terjun, diam, dan bergerak. Tahapan gesekan aduk las paduan aluminium 7050 dan pengaruh konduksi panas oleh pelat belakang Yu, Zheng, dan Lai (2018).

2.6 Hipotesis Penelitian

1. Diduga dengan menggunakan desain tools bentuk pin bulat hasil dari pengelasan akan lebih baik .

2. Diduga dengan putaran rpm 1200 dan dengan menggunakan tools bentuk pin bulat mempunyai hasil yang paling maksimal.
3. Diduga adanya pengaruh sudut kemiringan putaran tools terhadap waktu pengelasan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

