

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk, dengan atau tanpa pengaruh tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi. Kerja las adalah menyambung dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Proses pengelasan umumnya diterapkan pada baja saat sebagian logam mengalami pemanasan melalui elektroda dan disatukan akan terbentuk sambungan. Umumnya, pada proses pengelasan juga ditambahkan dengan bahan penambah (*Filler Metal*). Saat temperatur turun maka logam induk dan filler metal akan membentuk satu ikatan/sambungan. Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi. Tekanan juga dapat digunakan bersama dengan panas, atau dengan sendirinya, untuk menghasilkan sambungan las. Pengelasan juga membutuhkan gas pelindung untuk melindungi logam pengisi atau logam lunak agar tidak terkontaminasi atau teroksidasi. Banyak sumber energi yang berbeda dapat digunakan untuk pengelasan, termasuk api gas (kimia), busur listrik (listrik), laser, berkas elektron dan gesekan. Meskipun sering kali merupakan proses industri, pengelasan dapat dilakukan dilakukan di berbagai lingkungan, termasuk di udara terbuka, di bawah air, dan di luar angkasa. Salah satu proses pengelasan penting adalah *Arc Welding*. Proses ini menggunakan daya pengelasan untuk membentuk dan mempertahankan busur listrik antara elektroda dan bahan dasar untuk melelehkan logam pada daerah pengelasan. Pengelasan dapat menggunakan arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC), dan elektroda. Daerah pengelasan terkadang dilindungi oleh

beberapa jenis gas inert atau semi-inert, yang dikenal sebagai gas pelindung, dan *Filler metal* terkadang juga digunakan.

Permasalahan dalam teknik pengelasan sangatlah banyak, terutama yang berkaitan dengan perubahan sifat mekanik setelah pengelasan yang diakibatkan oleh temperatur, waktu dan komposisi material logam induk maupun logam pengisi (*filler metal*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran latar belakang diatas dapat ditarik beberapa masalah dalam penelitian ini yaitu:

Bila proses pengelasan dilakukan dengan cara uji coba untuk mendapatkan parameter yang baik maka konsekwensinya akan membutuhkan banyak biaya penyediaan material dan waktu serta tempat dan peralatan yang khusus. Hal inilah yang melatarbelakangi penulis melakukan penelitian pengelasan dengan menggunakan software pengelasan untuk mendapatkan parameter yang terbaik dengan perkiraan sifat mekanik di akhir pengelasan.

1.3 Batasan Masalah

Proses pengelasan terbagi dalam lingkup, metode dan peralatan yang banyak ragamnya, oleh karena itu penulis membatasi dan menitikberatkan penelitian ini pada proses las *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Selain untuk mendapatkan parameter yang terbaik, di sisi lain, ruang lingkup pekerjaan untuk studi kasus kedua adalah untuk mengimplementasikan algoritma subrutin t8/5 yang ditentukan pengguna dengan model komputasi numerik. Kampuh yang digunakan adalah Kampuh V menggunakan baja karbon rendah yaitu material C22. Untuk mengetahui akurasi dari algoritma subrutin t8/5 dan menganalisa waktu pendinginan antara 800°C dan 500°C. *Increment cycle* yang ditetapkan untuk simulasi menjadi 600 increment. Oleh karena itu, setelah

menentukan dan mencapai akurasi algoritma subrutin, hasilnya kemudian dibandingkan dengan hasil software elemen hingga khusus. Bahan baja Struktur dari jenis C22 akan digunakan dalam simulasi ini. Dalam proses analisis akan ditentukan parameter-parameter seperti lebar, kedalaman, panjang depan dan belakang untuk dimensi kolam las, kecepatan, daya, dan efisiensi.

Untuk mencapai parameter optimal yang dibutuhkan, MSC Marc/Mentat akan digunakan sebagai software elemen hingga untuk menganalisa dan mensimulasikan hasil. Software ini dapat membuat model pengelasan secara teknis seperti model *Butt Joint* (Kampuh V). Model FEM dirancang dalam software MSC Marc/Mentat dengan dimensi (60 x 50 x 10) mm untuk meja, (60 x 50 x 2) mm untuk Logam induk. Perangkat lunak ini juga dapat digunakan untuk proses manufaktur dan mampu memberikan hasil yang dapat diandalkan antara simulasi dan proses nyata.

Bahasa pemrograman FORTRAN sangat penting digunakan di MSC Marc/Mentat untuk sepenuhnya memanfaatkan pemrograman subrutin ke dalam proses simulasi. Jadi, tantangannya adalah tidak ada panduan atau informasi yang diberikan tentang t8/5 yang lalu yang digunakan tentang apa masing-masing bahasa pemrograman di subrutin itu dan untuk apa peran masing-masing di MSC Marc/Mentat. Oleh karena itu, pemahaman tentang fungsi subrutin FORTRAN pada setiap baris koding yang digunakan dalam algoritma perlu dipelajari dan dijelaskan. Namun, penelitian ini telah memberikan tanggung jawab untuk melakukan studi dan membuat pemahaman lebih lanjut tentang algoritma subrutin t8/5 dan memahami masing-masing bahasa pengkodean sebelum diimplementasikan ke aplikasi apa pun yang menceritakan dengan pemanfaatan t8/5.

Selanjutnya, di sinilah pendekatan t8/5 digunakan di mana program simulasi, bahasa pemrograman MSC Marc/Mentat dan FORTRAN memainkan peran penting dalam menentukan

parameter dan fungsi terbaik yang akan digunakan setelahnya. MSC Marc/Mentat adalah solusi analisis elemen hingga tujuan umum dan nonlinier untuk secara tepat mensimulasikan perilaku masalah desain yang kompleks. Karena tujuan lain dari penelitian ini membutuhkan pemahaman tentang subrutin, maka FORTRAN diperlukan dalam penelitian ini untuk mengimplementasikan algoritma subrutin t8/5 dimana fungsinya memungkinkan pengguna untuk menggantikannya agar dapat digunakan sepenuhnya dalam proses simulasi. Dengan demikian, subrutin t8/5 yang ditentukan pengguna diimplementasikan, diuji dan dibandingkan dalam MSC Marc/Mentat dengan model *FEM* sederhana seperti model *Butt Joint* untuk memastikan akurasi ditetapkan sebelum diterapkan sepenuhnya ke struktur yang lebih kompleks.

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menemukan parameter pengelasan terbaik, mengimplementasikan, dan menggabungkan algoritma subrutin t8/5 menjadi model komputasi numerik pada MSC Marc/Mentat untuk bisa memprediksi laju pendinginan hasil pengelasan.

1.4.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

- 1 Menemukan parameter pengelasan yang terbaik untuk pengelasan *GMAW*
- 2 Menerapkan algoritma subrutin t8/5 dengan menggunakan bahasa pemrograman FORTRAN pada model komputasi numerik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai referensi bagi para praktisi pengelasan dalam penentuan parameter dan prediksi sifat material untuk bisa meningkatkan kualitas sambungan las.

1.6 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2020 sampai Desember 2020. Penelitian Pemograman Elemen Hingga dilakukan dimana dan kapan saja asalkan membawa perangkat keras (laptop).

Table 1. Jadwal Penelitian

No	Tanggal	Kegiatan
1.	13-09-2020	Mempelajari dan memahami materi tentang pengelasan. Rencana untuk memulai penelitian.
2.	28-09-2020	Memulai penelitian dengan membuat projek pada simulasi MSC Marc/Mentat.
3.	12-10-2020	Pemecahan masalah pada MSC Marc/Mentat ketika menjalankan simulasi dengan material C22 beserta penentuan parameter.
4.	26-10-2020	Mendefisikan t8/5 pada algoritma subrutin
5	09-11-2020	Periksa kembali weld path dan weld filler simulasi sebelum memasukkan t8/5
6	23-11-2020	Masukkan algoritma subrutin dan jalankan simulasi
7	07-12-2020	Pemecahan Masalah setelah menjalankan simulasi
8	25-01-2021	Kesimpulan analisis dan hasil

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENGELASAN

Proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi engineering, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan (Gery, dkk. 2005). Salah satu metode pengelasan yang sering dipakai oleh masyarakat umum, yaitu metode GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). Pengelasan ini juga disebut MIG karena menggunakan gas inert dimana elektroda yang digunakan tidak dicoating dan dapat mensuplai terus, karena berbentuk gulungan (Semih, 2007). Proses pengelasan, pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: *butt joint*, *backing joint*, *T joint*, *Cross joint*, *overlap joint*, *corner joint*, dan *edge joint*. Sambungan-sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Sedangkan untuk posisi pengelasan ada beberapa jenis, yaitu: flat, horizontal, vertical, dan overhead (ASME section IX, 2001).

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang dikenal dengan *Heat input* (masukan panas). Adanya masukan panas pada logam ini juga mengakibatkan adanya tegangan sisa yang nantinya akan menimbulkan distorsi.

Dalam proses pengelasan, penyambungan dapat dijamin baik bila terjadi pencampuran secara metalurgis antara masing-masing logam induk dan logam tambahan. Selama pengelasan, daerah di bawah logam las akan mengalami pemuaihan, sedangkan daerah di bawahnya mencoba menahannya. Bagian yang memuai itu akan mengalami tegangan tekan sedangkan daerah di

bawahnya melawan dengan tegangan tarik. Sebaliknya, selama proses pendinginan, daerah di bawah logam las mengalami tegangan tarik dan daerah di bawahnya melawannya dengan tekanan. Tegangan-tegangan yang terjadi pada pelat yang dilas ini terus ada hingga temperatur kamar. Tegangan yang demikian ini disebut tegangan sisa atau residual stress (Sonawan, dkk, 2003). Adanya tegangan sisa dalam suatu bahan kemungkinan dapat menguntungkan atau malah merugikan tergantung pada fungsi bahan, besar, dan arah tegangan sisa.

Pada awalnya area studi penelitian waktu pendinginan $t_{8/5}$ belum diteliti secara detail oleh peneliti sebelumnya. Penelitian ini dilakukan berdasarkan referensi sebelumnya, salah satunya dilakukan oleh Omar Yahya (2018) yang menyelesaikan tesis yang berfokus pada *Virtual Manufacturing* untuk Prediksi Formasi Martensit dan Nilai Kekerasan pada Proses Pengelasan Laser menggunakan Algoritma Subrutin di MSC Marc/Mentat. Namun, penulis tersebut tidak menekankan laju pendinginan secara khusus. Di samping itu referensi tentang penggunaan subrutin digunakan untuk membantu dalam informasi tentang pembuatan model di MSC Marc/Mentat.

Penggunaan simulasi dalam produksi kendaraan dan di bidang konstruksi baja maupun bidang pengurangan berat memiliki pengaruh yang menentukan pada pengembangan produk baru. Jadi, material berperforma tinggi yang peka terhadap suhu dan modern menggantikan semakin banyak baja struktural yang tidak dilapisi. Proses pengelasan pada kegiatan industry ini sangat penting, sehingga penentuan parameter yang akurat menjadi penting. Inilah sebabnya mengapa parameter pengelasan dan penentuan parameter spesifik yang tepat memiliki pengaruh yang besar dunia industry untuk menghasilkan produk dan teknologi yang efisien. Bergantung pada proses pengelasan, berbagai parameter pengelasan, geometri lapisan pengelasan, posisi pengelasan dan struktur lapisan mengubah masukan panas ke dalam komponen. Di satu sisi,

efisiensi berubah akan mempengaruhi perilaku pendinginan lebih dari 60%. Berbagai proses dan parameter pengelasan dianalisis serta potensi kesalahan yang berbeda dibahas dan berikut dampaknya akan diilustrasikan. Penjumlahan dari kemungkinan kesalahan menunjukkan bahwa kesesuaian dengan karakteristik mekanis dan teknologi, serta penentuan teoritis dari nilai-nilai ini, dan penghitungan dan simulasi ukuran yang dihasilkan seperti kekuatan, struktur mikro, atau tegangan internal secara praktis tidak memungkinkan. Pada akhirnya, rekomendasi adaptasi yang diperlukan dari standar aktual divisualisasikan.

Pengukuran laju pendinginan nyata dilakukan dengan termokopel. Untuk uji pengelasan digunakan termokopel tipe-K ($T = -200 \dots 1250^{\circ}\text{C}$, diameter kawat $2 \times 0,6 \text{ mm}$). Pengukuran laju pendinginan dilakukan dengan cara membenamkan termokopel ke dalam cairan yang masih cair segera setelah proses pengelasan. Karena posisi pengukuran dalam kaitannya dengan sambungan las bervariasi dengan pencelupan manual termokopel, beberapa pengukuran termokopel dilakukan per pengelasan.

Material modern berperforma tinggi memiliki potensi besar untuk konstruksi ringan. Selama produksi ada sifat material tertentu yang dapat disesuaikan dengan pengaturan waktu suhu khusus. Tetapi sulit untuk mensimulasikannya selama pengelasan. Proses pengelasan yang demikian selalu mewakili penurunan sifat material. Akibatnya, material ini hanya dapat dilas dalam parameter yang sangat sempit. Dalam prakteknya hal ini diwujudkan dengan nilai $t_8/5$ yang ditentukan.

Namun, menemukan $t_8/5$ sangat penting karena mikrostruktur dan sifat mekanik karakteristik yang dihasilkan dari logam las dan zona yang terpengaruh panas (HAZ) sangat dipengaruhi oleh parameter proses pengelasan dan masukan energi yang dihasilkan. Untuk produksi sambungan las yang terkontrol, proses pengelasan suhu-waktu harus berada dalam nilai batas yang spesifik

untuk material. Untuk memastikan sifat mekanik sambungan las, konsep waktu pendinginan $t_{8/5}$ (waktu pendinginan antara 800°C dan 500°C), biasanya digunakan untuk baja paduan rendah untuk menentukan nilai batas ini. Untuk banyak sambungan, kekuatan sambungan las tidak harus sesuai dengan kekuatan dasar.

2.2 Metode Elemen Hingga pada Pengelasan

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Hal ini tidak dapat atau sulit diselesaikan dengan solusi analisa matematis (Logan, 2000). Pendekatan metode elemen hingga adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (node). Dalam proses penentuan titik simpul yang disebut pendeskritan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh.

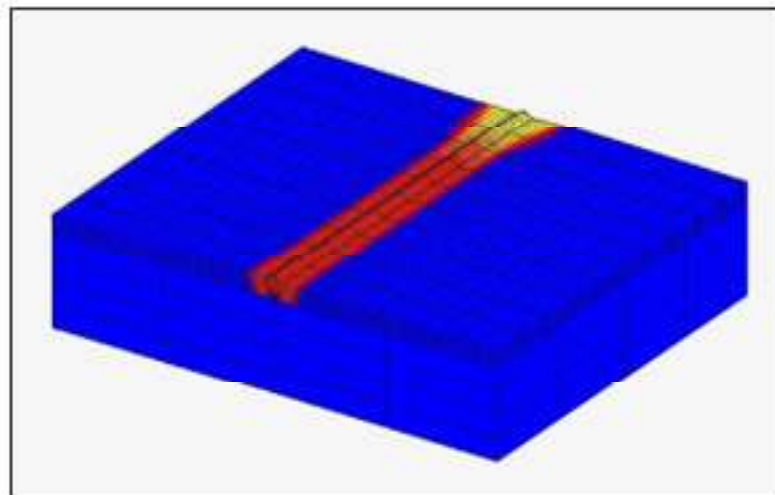
Ada dua pendekatan umum yang digunakan dalam metode elemen hingga, yaitu metode gaya dan metode displasmen atau kekakuan. Metode gaya menggunakan gaya internal sebagai problem yang tidak diketahui, sedangkan metode displasmen mengasumsikan displasmen titik simpul sebagai problem yang tidak diketahui. Metode displasmen lebih banyak dipakai pada program elemen hingga multi-guna seperti ANSYS karena formulasinya untuk masalah-masalah analisis struktur bisa lebih sederhana.

2.2.1 MSC Marc/Mentat

MSC Marc/Mentat adalah solusi analisis elemen hingga nonlinier yang canggih dan bertujuan umum untuk secara akurat mensimulasikan perilaku produk di bawah skenario

pemuatan statis, dinamis, dan multi-fisika. Fleksibilitas MSC Marc/Mentat dalam pemodelan perilaku material nonlinier dan kondisi lingkungan sementara membuatnya ideal untuk menyelesaikan masalah desain yang kompleks.

MSC Marc/Mentat sangat ideal untuk produsen produk yang mencari solusi nonlinier yang kuat. MSC Marc/Mentat memiliki kemampuan untuk secara elegan mensimulasikan semua jenis nonlinier, yaitu nonlinier geometris, material dan kondisi batas, termasuk kontak. Ini juga satu-satunya solusi komersial yang memiliki kemampuan simulasi manufaktur dan pengujian produk yang kuat, dengan kemampuan untuk memprediksi kerusakan, kegagalan, dan perambatan retak. Dikombinasikan dengan kemampuan multi-fisika yang membantu memasangkan analisis termal, listrik, magnet, dan struktural, MSC Marc/Mentat adalah solusi lengkap yang dapat menangani semua persyaratan simulasi nonlinier.



Gambar 2.1 Hasil Simulasi dari Software MSC Marc/Mentat

a. Solusi Nonlinier dan Multifisika

MSC Marc, dioptimalkan untuk analisis nonlinier, memberikan skema solusi yang komprehensif dan kuat untuk memecahkan masalah yang mencakup seluruh masa

pakai produk, termasuk simulasi proses manufaktur, analisis kinerja desain, kinerja beban layanan, dan analisis kegagalan. Ini termasuk:

- Analisis nonlinier yang menggabungkan semua bentuk nonlinier (Material, geometri, kondisi batas termasuk kontak)
- Analisis termal
- Analisis termomekanik gabungan
- Elektromagnetik
- Analisis piezoelektrik
- Listrik-Termal-Mekanis
- Elektrostatika dan Magnetostatika digabungkan dengan respons struktural
- Proses manufaktur seperti pembentukan lembaran logam, hydroforming, ekstrusi, blow molding, pengelasan, pemanasan induksi, quenching, curing, pemotongan dll.
- Analisis piezoelektrik dengan elemen 3D orde tinggi

b. Analisis Kontak

Selidiki interaksi antara beberapa komponen dengan kemampuan pemodelan kontak Marc yang superior dan intuitif.

- Selidiki interaksi antara beberapa komponen dengan kemampuan pemodelan kontak Marc yang superior dan intuitif.
- Siapkan model kontak dengan mudah dalam 1-D, 2-D atau 3-D, analisis dan visualisasikan interaksi komponen yang selalu berubah.
- Dapatkan efisiensi pemodelan dengan menghindari kebutuhan elemen kontak tambahan, pasangan kontak, atau definisi master budak.

- Siapkan dan selidiki kontak diri tanpa upaya pemodelan tambahan.
- Analisis efek gesekan dan perubahan material terkait dengan mudah.
- Kontrol perilaku kontak dengan kedekatan permukaan geometris dan kriteria termal
- Tambahkan, hapus, atau modifikasi definisi Tabel Kontak dengan mudah menggunakan metode Deteksi Kontak Otomatis yang tersedia di Marc.
- Proses pencarian dimulai berdasarkan toleransi kontak yang ditentukan pengguna atau otomatis.

c. Material Nonlinier

Pilih dari pustaka material propertis logam dan non-logam yang lengkap, dan koleksi lebih dari 200 elemen untuk analisis struktural, termal, multifisika, dan fluida untuk membuat model material yang digunakan dalam desain Anda secara akurat.

- Elastisitas isotropik, ortotropik dan anisotropik
- Plastisitas isotropik dan anisotropik
- Hiperelastisitas (bahan elastomer)
- Perilaku tergantung waktu dan waktu
- Serbuk logam, tanah, beton, bentuk paduan memori
- *Solder, viscoplasticity, creep*
- Komposit
- Piezoelektrik
- Model material yang ditentukan pengguna

- Opsi pemasangan data material yang luas untuk model material tingkat lanjut seperti karet, termoplastik plastik, dan logam
- Data material dapat disimpan ke dalam file data material terenkripsi

d. Kegagalan dan Kerusakan

- Pilih dari sekumpulan model kegagalan untuk mempelajari degradasi dan kegagalan logam, beton, komposit, dan elastomer.
- Kerusakan ulet
- Akumulasi kerusakan di elastomer
- Analisis kegagalan komposit
- Kegagalan ikatan laminasi
- Retak dan penghancuran tegangan rendah
- Mekanika fraktur
- Perambatan retak pada beban monoton, siklus rendah, dan siklus tinggi
- Model kegagalan yang ditentukan pengguna
- Prediksi kerusakan independen mesh menggunakan model Lemaitre

e. *Remeshing* Otomatis

Dapatkan akurasi yang lebih tinggi dengan upaya pemodelan yang lebih sedikit dengan bantuan skema remeshing otomatis yang memastikan kualitas mesh tinggi dalam masalah deformasi besar.

- Remeshing otomatis untuk model 2D dan 3D
- Kriteria yang ditentukan pengguna untuk kontrol mesh
- Bermanfaat untuk simulasi proses manufaktur dan analisis kontak-diri
- Elemen 3D urutan lebih tinggi untuk akurasi yang lebih baik

f. Teknologi pemecah inti

Teknologi nonlinier yang telah terbukti di Marc memberikan kepercayaan diri untuk mengembangkan solusi yang kuat dan akurat untuk berbagai masalah nonlinier.

- Kontrol konvergensi yang dilokalkan untuk mengembangkan solusi yang lebih baik dan lebih akurat.
- Terbaik di metode konvergensi kelas

2.3 Subrutin

Sebuah subrutin Fortran dideskripsikan dan didaftarkan untuk menyelesaikan sistem persamaan aljabar non-linier. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh salah satu peneliti, penulis mengatakan subrutin sangat berguna dimana pengguna hanya perlu mengeksekusi bit kode yang sama secara berulang-ulang.

Penulis juga menyebutkan bahwa subrutin dapat dianggap sebagai program terpisah di mana pengguna hanya perlu memanggil fungsi tersebut setiap kali pengguna ingin melakukan tugas tertentu. Salah satu fitur utama yang tersedia untuk subrutin adalah bahwa subrutin ini tidak bergantung pada program utama, MSC Marc/Mentat. Yang penulis jelaskan tidak ada kaitannya atau mengetahui tentang variabel-variabel yang digunakan dalam program utama.

Namun demikian, menulis subrutin bermanfaat bagi pengguna untuk memutuskan di mana memungkinkan pengguna untuk mengganti algoritme subrutin mereka sendiri untuk beberapa fungsi yang ada di MSC Marc/Mentat. Selain itu, pengguna memiliki akses untuk memecahkan masalah tidak standar yang tidak dapat diselesaikan oleh program utama.

Sebagian besar perubahan mikrostruktur pada pengelasan terjadi selama pendinginan las dari 800°C hingga 500°C ($t_{8/5}$) yang tidak umum terjadi di zona yang terpengaruh panas (HAZ). Kualitas las dan kemungkinan putus juga dapat berkorelasi dengan $t_{8/5}$. Model ringkasan yang menggunakan analisis dimensi telah diusulkan untuk estimasi waktu pendinginan las ($t_{8/5}$) untuk ketebalan pelat variabel. Untuk memulainya, Waktu pendinginan antara 800°C dan 500°C ($t_{8/5}$) memprediksi dampak sumber panas pada sambungan las dari titik fokus bola menuju logam dasar. Ada variasi dalam $t_{8/5}$ yang dapat dinilai jika diselesaikan secara eksperimental atau jika itu ditampilkan secara diagnostik.

Mengacu pada studi yang diselesaikan oleh Omar Yahya (2018), ia melakukan penelitian di mana model termal-struktural dan metalurgi yang digabungkan dari proses pengelasan laser disimulasikan dengan bantuan penggunaan perangkat lunak komputasi numerik yang ditingkatkan dengan Algoritma subrutin berbasis FORTRAN dalam MSC Marc/Mentat. Model benda uji yang digunakan identik dengan penelitian ini yaitu plat sambungan butt dengan ketebalan 2mm tetapi dengan bahan yang berbeda dari baja karbon rendah (C15). Meskipun algoritma subrutin $t_{8/5}$ yang ia gunakan tidak sama dengan yang digunakan pada penelitian ini, namun konsep pencapaian dan penghitungan $t_{8/5}$ masih serupa.

Namun disimpulkan bahwa algoritma subrutin untuk menghitung waktu pendinginan, $t_{8/5}$ berhasil dikembangkan dan diimplementasikan pada model spesimen.

Subrutin PLOTV yang dikembangkan dengan utilitas rutin ELMVAR untuk menentukan $t_{8/5}$ ditampilkan. Dalam penelitiannya juga dijelaskan bahwa setiap informasi disimpan dalam setiap increment untuk setiap node di MSC Marc/Mentat. Untuk menghitung $t_{8/5}$, setiap data suhu nodal akan diekstraksi dan digunakan pada setiap kenaikan untuk menganalisis $t_{8/5}$. Variabel state adalah data yang disimpan untuk setiap node yang dilambangkan dengan t^* , dimana $t(1)$

selalu merupakan temperatur saat ini. Karena $t_{8/5}$ hanyalah waktu pendinginan dan bukan waktu pemanasan, algoritme ditulis hanya untuk memastikan bagian yang menurun dari siklus termal. Argumen utama dari Algoritma ini memulai kalkulasi hanya suhu ketinggian yang ditetapkan sebagai $t(3)$ dalam subrutin, mencapai batas atas, yaitu 800°C .

Kemudian subrutin utilitas, ELMVAR, digunakan di dalam subrutin untuk mengekstrak kenaikan suhu di antara setiap kenaikan. Nilai kenaikan negatif akan menunjukkan bahwa node mendingin, dan oleh karena itu subrutin akan mulai menghitung $t_{8/5}$ atau selama kasus ini $t(2)$. Perhitungan $t_{8/5}$ mengandalkan penggunaan langkah waktu tetap. Artinya subrutin akan menentukan jumlah keseluruhan kenaikan yang diambil untuk node untuk mendingin dari 800°C menjadi 500°C dan menghitung $t_{8/5}$ dengan menambahkan interval tetap antara setiap dua kenaikan. $T_{8/5}$ disimpan secara independen untuk setiap node, memungkinkan nilai $t_{8/5}$ yang bervariasi di seluruh benda kerja.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan Dan Metode Pada Simulasi

Pada penelitian ini kita menggunakan perangkat lunak untuk menjalankan simulasi yaitu MSC Marc/Mentat. MSC Marc/Mentat adalah perangkat lunak analisis elemen hingga nonlinier yang digunakan untuk mensimulasikan perilaku material kompleks dan interaksi di bawah deformasi dan regangan besar. Itu juga dapat mensimulasikan skenario multi-fisika di seluruh perilaku struktural, termal, piezoelektrik, elektrostatik, magnetostatis, dan elektromagnetik. Msc marc menggunakan remeshing dua dimensi dan tiga dimensi otomatis untuk menganalisis struktur yang mengalami distorsi besar, dan perambatan retak. Yang akan digunakan pada simulasi ini untuk mengetahui simulasi pada pengelasan.

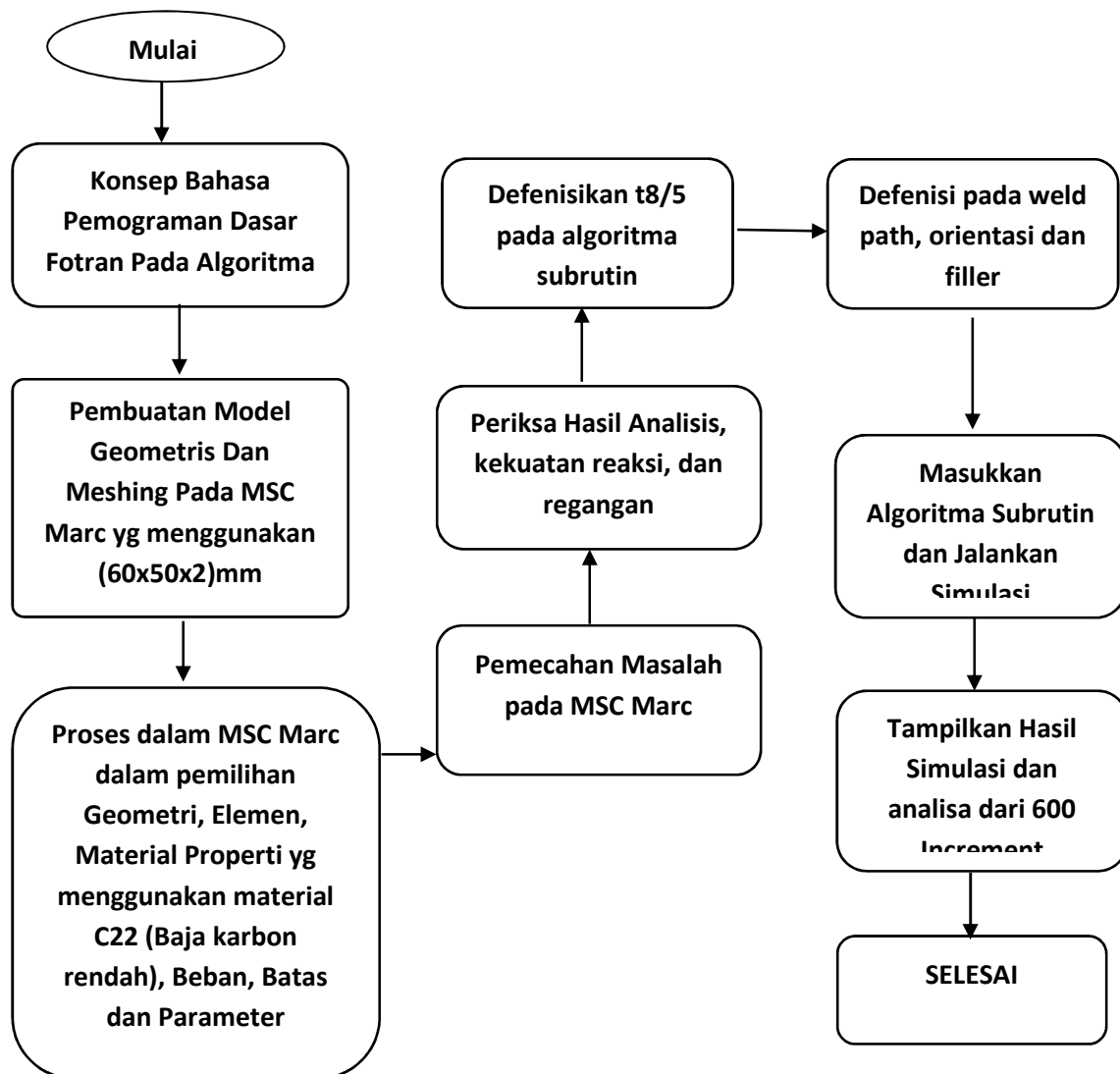
3.2 Variabel Yang Diamati

- Parameter pada simulasi
- Weld path dan weld filler pada benda kerja
- Kondisi awal dan beban

3.3 Kerangka Konsep

Secara garis besarnya, metode penelitian ini dapat digambarkan seperti pada diagram alir berikut:

DIAGRAM ALIR METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian