

**Simulasi pengujian tarik material ASTM A36 dan AISI 304
menggunakan *software* Ansys Workbench versi *student* 2025**

***Simulation of material tensile testing of ASTM A36 and AISI 304
using the student version of Ansys Workbench software 2025***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Yusuf Luqman Hakim

NPM: 203030121



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Yusuf Luqman Hakim

Nomor Pokok Mahasiswa : 203030121

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam laporan skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 25 Juni 2025

Penulis,



Yusuf Luqman Hakim

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Yusuf Luqman Hakim
NPM : 203030121
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS
Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Simulasi pengujian tarik material ASTM A36 dan AISI 304

menggunakan *software* Ansys Workbench versi *student 2025*”.

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 25 Juni 2025

Yang menyatakan,



Yusuf Luqman Hakim

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Simulasi pengujian tarik material ASTM A36 dan AISI 304
menggunakan *software* Ansys Workbench versi *student* 2025**



Nama: Yusuf Luqman Hakim
NPM: 203030121

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.

Pembimbing Pendamping



Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**Simulasi pengujian tarik material ASTM A36 dan AISI 304
menggunakan *software* Ansys Workbench versi *student* 2025**



Nama: Yusuf Luqman Hakim
NPM: 203030121

Tanggal sidang skripsi: 30 Juni 2025

Ketua : Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.



.....

Sekretaris : Mohammad Reza Hermawan, S.T. M.T.



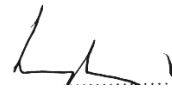
.....

Anggota : Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T.



.....

Anggota : Dr. Ir. Endang Achdi, M.T.



.....

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji dan syukur saya panjatkan pada kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan karunia, rahmat serta hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Simulasi pengujian tarik material ASTM A36 dan AISI 304 menggunakan *software* Ansys Workbench versi *student* 2025 ”.

Adapun tujuan dari penulisan laporan skripsi ini, yaitu untuk memenuhi syarat lulus jenjang S1 di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan. Dalam penyusunan laporan skripsi ini penulis menyampaikan terima kasih atas bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, serta dukungan orang tua, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan ini. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih pada:

1. Allah SWT. yang senantiasa memberikan karunia, kekuatan dan kesabaran dalam menyusun laporan skripsi.
2. Kedua Orang Tua yang telah memberikan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan pada jenjang selanjutnya dan mendukung selalu disetiap proses.
3. Bapak Heri Sonawan, selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan nasehat dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis.
4. Bapak Reza Hermawan yang telah senantiasa menjadi Dosen Pendamping dalam penulisan makalah ini.
5. Teman, Rekan semuanya yang telah mendukung proses skripsi.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan selama penelitian skripsi maupun dalam penulisan laporan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk laporan ini agar dapat dijadikan evaluasi dan pembelajaran dikemudian hari.

Akhir kata dan tidak lupa saya mengucapkan alhamdulillah, saya berharap semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, pada khususnya dan umumnya bagi semua pihak yang membaca. Terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Bandung, 25 Juni 2025

Penulis,



Yusuf Luqman Hakim

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	VIII
DAFTAR TABEL	X
ABSTRAK	XI
ABSTRACT	XII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	5
3. Tujuan.....	5
4. Manfaat.....	6
5. Lingkup masalah.....	6
6. Sistematika penulisan	7
BAB II STUDI LITERATUR	8
1. Pengujian tarik.....	8
2. Material ASTM A36 dan AISI 304	9
3. Metode elemen hingga.....	10
4. Faktor konsentrasi tegangan	11

5. Validasi analitik.....	13
BAB III METODOLOGI	14
1. Tahapan penelitian.....	14
2. Tempat penelitian	15
3. Alat dan bahan yang digunakan.....	15
4. Rancangan pengujian.....	15
5. Setup pengukuran/pengujian	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
1. Perbandingan hasil simulasi dengan analitik.....	24
2. Hasil simulasi gabungan ASTM A36 dengan AISI 304.....	24
3. Grafik perbandingan hasil simulasi dan hasil analitik tanpa takik	25
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	28
1. Kesimpulan.....	28
2. Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN.....	33
1. Simulasi tanpa takik.....	33
2. Simulasi dengan takik.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pengujian tarik	8
Gambar 2. Material ASTM A36 & AISI 304	10
Gambar 3. Metode elemen hingga software ansys workbench student	11
Gambar 4. Kurva faktor konsentrasi tegangan.....	12
Gambar 5. Diagram alir	14
Gambar 6. Lokasi penelitian	15
Gambar 7. Konsep perancangan 1 spesimen tanpa takik.....	17
Gambar 8. Konsep perancangan 1 spesimen dengan takik.....	18
Gambar 9. Konsep perancangan 2 spesimen tanpa takik.....	18
Gambar 10. Konsep perancangan 2 spesimen dengan takik.....	18
Gambar 11. Spesimen ASTM A36 50:50 AISI 304	19
Gambar 12. Spesimen ASTM A36 60:40 AISI 304	19
Gambar 13. Spesimen ASTM A36 40:60 AISI 304	19
Gambar 14. Spesimen ASTM A36 70:30 AISI 304	20
Gambar 15. Spesimen ASTM A36 80:20 AISI 304	20
Gambar 16. Spesimen ASTM A36 30:70 AISI 304	20
Gambar 17. Spesimen ASTM A36 20:80 AISI 304	21
Gambar 18. Spesimen ASTM A36 10:90 AISI 304	21
Gambar 19. Spesimen ASTM A36 90:10 AISI 304	21
Gambar 20. Standar spesimen uji tarik	22
Gambar 21. Grafik hasil perbandingan simulasi & analitik tanpa takik	25
Gambar 22. Grafik perbandingan hasil simulasi takik dengan tanpa takik.....	26
Gambar 23. Grafik perbandingan faktor konsentrasi tegangan analitik dan simulasi	26
Gambar 24. Menentukan nilai konsentrasi tegangan analitik	27
Gambar 25. <i>Input engineering data</i>	33
Gambar 26. <i>Input material properties spesimen</i>	34
Gambar 27. Pembuatan model geometri.....	34
Gambar 28. Pemilihan material yang ditentukan.....	35
Gambar 29. <i>Meshing</i>	35
Gambar 30. <i>Fixed support</i>	36
Gambar 31. <i>Analysis setting</i>	36
Gambar 32. Pemilihan nilai hasil yang ditentukan	37

Gambar 33. Pemberian beban maksimum sesuai arah uji tarik	37
Gambar 34. <i>Solving</i>	38
Gambar 35. Hasil simulasi uji tarik	38
Gambar 36. <i>Input engineering data</i>	39
Gambar 37. Pembuatan model geometri.....	40
Gambar 38. Sketching takik.....	40
Gambar 39. Pemilihan jenis material	40
Gambar 40. <i>Analysys setting</i>	40
Gambar 41. <i>Insert fixed support</i>	40
Gambar 42. Pemberian beban maksimum pada <i>force</i>	40
Gambar 43. Pemilihan nilai hasil normal <i>stress</i>	40
Gambar 44. <i>Solving</i>	40
Gambar 45. Hasil simulasi uji tarik	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan hasil simulasi dengan analitik	24
Tabel 2. Hasil simulasi gabungan ASTM A36 dengan AISI 304	24

ABSTRAK

Kerusakan pada poros *Induced Draft Fan* (IDF) di sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) umumnya disebabkan oleh kelelahan material, gesekan, serta pengaruh suhu tinggi yang terus-menerus. Salah satu metode perbaikan yang umum digunakan adalah *overlay welding*, yakni pelapisan logam tambahan untuk memperbaiki permukaan yang aus. Namun, metode ini berisiko menimbulkan tegangan sisa akibat proses pendinginan yang tidak seragam, di mana arah pengelasan *longitudinal* atau *circumferential* memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi tegangan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan pengaruh arah pengelasan terhadap distribusi tegangan sisa melalui pengujian tarik pada spesimen gabungan material ASTM A36 dan AISI 304 menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench Student 2025 berbasis metode elemen hingga (FEM). Variasi rasio ketebalan spesimen disusun dalam kombinasi 50:50 hingga 90:10 dan sebaliknya, dengan dua kondisi geometri: bertakik dan tanpa takik. Simulasi dilakukan dengan mengacu pada kurva *stress concentration factor* Peterson (1974) untuk menghitung koefisien konsentrasi tegangan (K_t). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan proporsi AISI 304 meningkatkan nilai tegangan maksimum karena kekuatan tariknya yang lebih tinggi dibanding ASTM A36. Spesimen bertakik mengalami konsentrasi tegangan lokal yang lebih besar, sesuai teori Peterson. Selisih hasil simulasi dengan perhitungan analitik berada di bawah 15%, masih dapat diterima secara teknis. Meski keterbatasan versi Student ANSYS membatasi konfigurasi simulasi, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan numerik melalui FEM efektif sebagai prediksi awal dalam desain material komposit, dan perlu divalidasi lebih lanjut secara eksperimental.

Kata Kunci: ASTM A36, AISI 304, Ansys Workbench, FEM, Konsentrasi Tegangan, Simulasi Uji Tarik, Spesimen Takik dan Tanpa Takik

ABSTRACT

Damage to the Induced Draft Fan (IDF) shaft in a Steam Power Plant (PLTU) system is generally caused by material fatigue, friction, and the influence of constant high temperatures. One commonly used repair method is overlay welding, which is an additional metal coating to repair worn surfaces. However, this method runs the risk of generating residual stress due to a non-uniform cooling process, where the longitudinal or circumferential welding direction has a significant influence on the distribution of that stress. This study aims to simulate the impact of welding direction on residual stress distribution through tensile testing of composite specimens made from ASTM A36 and AISI 304 materials, using Ansys Workbench Student 2025 software based on the finite element method (FEM). The variation in the thickness ratio of specimens is arranged in a combination of 50:50 to 90:10 and vice versa, with two geometric conditions: notched and notched. The simulation was conducted by referencing the stress concentration factor curve of Peterson (1974) to calculate the stress concentration coefficient (K_t). The results showed that the increased proportion of AISI 304 increased the maximum stress value due to its higher tensile strength than ASTM A36. According to Peterson's theory, notched specimens experience greater concentrations of local stress. The difference between the simulation results and the analytical calculations is below 15%, which is still technically acceptable. Although the limitations of the Student Ansys Workbench version limit the simulation configuration, this study shows that the numerical approach through FEM is effective as an early prediction in composite material design, and needs to be further validated experimentally.

Keywords: ASTM A36, AISI 304, Ansys Workbench, FEM, Notch and Notch Specimens , Tensile Test Simulation, Voltage Concentration

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu sistem pembangkitan energi listrik yang banyak digunakan di Indonesia karena efisiensi dan kemampuannya dalam menghasilkan energi skala besar secara kontinyu. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan energi panas hasil pembakaran batu bara untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Dalam siklus termal ini, terdapat berbagai komponen mekanik penting yang bekerja secara simultan, salah satunya adalah *Induced Draft Fan* (IDF), yaitu kipas hisap yang berfungsi menarik gas buang dari ketel pembakaran menuju cerobong serta mengarahkan partikel-partikel sisa pembakaran menuju sistem filtrasi agar emisi yang dilepaskan ke atmosfer tetap memenuhi standar lingkungan [1].

Seiring waktu, berbagai komponen mekanik dalam sistem PLTU, termasuk IDF, mengalami penurunan kinerja akibat kelelahan material, gesekan mekanis, maupun pengaruh temperatur tinggi. Salah satu komponen krusial pada IDF yang sering mengalami kerusakan adalah poros (*shaft*). Kerusakan pada poros ini sering terjadi akibat akumulasi beban berulang (*fatigue*), gesekan dengan komponen lain, serta prosedur bongkar-pasang bearing yang menyebabkan keausan permukaan. Area alur (*groove*) pada poros menjadi titik rawan karena merupakan lokasi konsentrasi tegangan, yang sangat rentan terhadap retak inisiasi dan propagasi akibat pembebanan dinamis secara terus-menerus [2].

Untuk mengatasi keausan dan kerusakan tersebut, industri umumnya menggunakan metode *overlay welding*, yakni proses pelapisan logam tambahan pada permukaan poros yang aus, diikuti dengan proses machining untuk mengembalikan dimensi geometri awal komponen. Teknik ini efektif digunakan dalam pemulihan poros karena dapat memperpanjang umur pakai tanpa mengganti seluruh komponen. Namun, salah satu tantangan dari metode ini adalah timbulnya tegangan sisa (*residual stress*) sebagai akibat dari proses pendinginan yang tidak seragam setelah pengelasan. Arah pengelasan menjadi salah satu faktor kritis dalam mempengaruhi distribusi tegangan sisa tersebut [3].

Dalam praktiknya, *overlay welding* dapat dilakukan dengan arah pengelasan *longitudinal* atau *circumferential*. Pengelasan *longitudinal* cenderung menghasilkan tegangan sisa yang lebih besar karena distribusi panas yang memanjang searah sumbu komponen, sehingga ketidakseimbangan termal lebih tinggi. Sebaliknya, pengelasan

circumferential umumnya menghasilkan distribusi panas yang lebih merata dan lebih disukai dalam praktik industri karena kestabilan termal yang lebih baik. Selain itu, pengelasan juga dapat memicu perubahan struktur mikro material akibat eksposur panas tinggi, yang secara langsung memengaruhi kekuatan dan kekerasan logam dasar [4].

Faktor-faktor lain seperti tegangan dan arus las, kecepatan pengelasan, jenis polaritas, tingkat penetrasi, dan kecepatan pendinginan juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kualitas hasil *overlay welding*. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap karakteristik tegangan sisa dan pengaruh arah pengelasan sangat penting untuk menjamin efektivitas proses perbaikan, terutama pada komponen yang bekerja di bawah beban berat dan bersifat kritis seperti poros IDF pada PLTU [5].

Penelitian mengenai tegangan sisa yang timbul akibat proses *overlay welding* pada arah *longitudinal* maupun *circumferential* telah dilakukan melalui pengujian eksperimental pada pipa baja karbon tipe SCH40 [6]. Proses penelitian tersebut menggunakan metode uji tarik yang dilakukan setelah pipa baja karbon rendah mengalami perlakuan *overlay welding*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa arah pengelasan berpengaruh terhadap besaran tegangan sisa, yang dapat mengalami peningkatan maupun penurunan. Selain itu, variabel diameter pipa juga memengaruhi nilai tegangan sisa dengan kecenderungan yang sama, yaitu dapat meningkat atau menurun. Faktor lain yang diamati adalah jumlah lapisan (*layer*) pengelasan, yang juga terbukti memiliki pengaruh serupa terhadap variasi nilai tegangan sisa [7].

Penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh *overlay welding* terhadap timbulnya tegangan sisa pada pipa baja karbon tipe SCH40 melalui pengujian tarik pasca-proses pengelasan. Kajian tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi besaran tegangan sisa yang dihasilkan akibat perlakuan pengelasan dengan variasi arah, diameter, dan jumlah lapisan. Sebagai pengembangan dari studi tersebut, penelitian ini dilakukan melalui pendekatan simulasi uji tarik menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench Student License tahun 2025, dengan pemodelan base material digantikan oleh baja karbon ASTM A36 dan lapisan hasil pengelasan dimodelkan menggunakan baja tahan karat AISI 304. Pendekatan ini diharapkan mampu memprediksi perilaku tegangan sisa secara numerik sebelum dilakukan verifikasi eksperimental, sekaligus memberikan gambaran lebih rinci terkait distribusi tegangan pada konfigurasi material berbeda.

Seiring dengan kemajuan teknologi, pendekatan berbasis simulasi numerik mulai banyak digunakan dalam mendukung proses evaluasi teknik perawatan komponen. Salah satunya adalah penggunaan perangkat lunak Ansys Workbench yang berbasis metode

elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*), yang memungkinkan analisis mendalam terhadap distribusi tegangan dan regangan pada berbagai kondisi pembebanan. Dalam penelitian ini, digunakan Ansys Workbench Student Edition 2025 untuk melakukan simulasi uji tarik (*tensile test*) guna memprediksi pengaruh arah pengelasan terhadap tegangan sisa pada spesimen material yang menyerupai kondisi poros IDF setelah dilakukan perbaikan *overlay welding* [8].

Karena keterbatasan data material poros IDF secara spesifik, simulasi ini menggunakan dua jenis material pengganti yang umum digunakan di industri, yakni ASTM A36 dan AISI 304. ASTM A36 adalah baja karbon rendah dengan sifat mekanik sedang, mudah dibentuk, dan sering digunakan dalam konstruksi struktural. Sementara itu, AISI 304 adalah baja tahan karat austenitik yang memiliki ketahanan korosi tinggi serta kekuatan tarik dan keuletan yang baik, sehingga cocok untuk simulasi komponen yang bekerja di lingkungan ekstrem [9]. Kedua material tersebut dijadikan contoh untuk membandingkan respons tegangan terhadap dua arah pengelasan berbeda, yaitu *longitudinal* dan *circumferential*.

Dengan pendekatan ini, penelitian tidak hanya bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan sisa yang terbentuk akibat arah pengelasan, tetapi juga mengevaluasi sejauh mana karakteristik material memengaruhi performa komponen setelah proses *overlay welding*. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi referensi praktis dan teoritis bagi industri dalam menentukan strategi perbaikan yang optimal serta mendukung peningkatan keandalan komponen kritis di lingkungan PLTU.

Pemahaman mengenai sifat mekanik suatu material menjadi hal yang sangat krusial di dunia rekayasa material dan teknik mesin dalam proses desain dan rekayasa komponen. Untuk mengetahui karakteristik mekanik dari suatu material adalah dengan cara melakukan pengujian tarik. Uji tarik ini akan memberikan informasi seperti tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas yang dimana akan digunakan sebagai dasar dari perancangan struktur. Sebelum dilakukannya pengujian dari secara langsung maka digunakannya sebuah perangkat lunak seperti Ansys Workbench yang merupakan sebuah teknologi simulasi numerik yang menunjang untuk memprediksi perilaku material [10].

Material ASTM A36 merupakan baja karbon rendah yang dikenal karena kemudahan dalam pengelasan dan kekuatannya yang sedang. Sedangkan AISI 304 sebagai baja tahan karat dikenal juga karena tahan terhadap korosi dan kekuatan tarik yang relatif tinggi. Kombinasi dari kedua material ini dapat menjadi alternatif dalam perancangan

struktur yang dimana akan memerlukan sebuah kompromi antara kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap lingkungan [11].

Studi ini mengacu pada penelitian terdahulu. Menurut Maulana et al (2020) yang melakukan simulasi uji tarik menggunakan Ansys Workbench pada baja karbon dan membandingkan hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa hasil selisih kurang dari 15%. Wijaya dan Sari (2019) meneliti yang berfokus pada pengaruh bentuk takik terhadap distribusi tegangan dan regangan pada material baja ini menunjukkan peningkatan yang signifikan di area takik pada konsentrasi tegangan. Terakhir, menurut Saputra et al. (2021) simulasi uji tarik pada sambungan dissimilar metal antar baja karbon dan stainless steel sangat relevan dengan pendekatan kombinasi material [12].

Ansys Workbench merupakan perangkat lunak berbasis elemen hingga yang memiliki keunggulan dalam biaya, efisiensi waktu, serta fleksibilitas dalam menguji sebuah model yang telah dibuat. Dalam solusi numerik inilah yang menjadikannya pendekatan langkah awal untuk memprediksi suatu perilaku material terhadap beban yang telah ditentukan sehingga mendapatkan hasil [13].

Penelitian ini akan difokuskan pada material ASTM A36 dan AISI 304, material ini sering digunakan dalam aplikasi struktur di manufaktur. Simulasi pengujian tarik dilakukan pada spesimen dari kombinasi ketebalan antara ASTM A36 dan AISI 304 yang memiliki berbagai rasio 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 40:60, 30:70, 20:80, dan 10:90. Kemudian spesimen akan dianalisis dalam dua kondisi yaitu dengan takik dan tanpa takik. Adanya takik pada spesimen mempresentasikan kondisi nyata yang kompleks dimana konsentrasi tegangan yang berpotensi sebagai titik awal kegagalan material. Faktor konsentrasi tegangan (K_t) yang digunakan dalam analisis mengacu pada kurva atau grafik konsentrasi tegangan yang telah dikembangkan dari literatur dan teori mekanika bahan, seperti yang dijelaskan dalam karya Shigley dan Budynas.

Hasil simulasi yang diperoleh dari *software* Ansys Workbench kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan analitik menggunakan rumus-rumus dasar mekanika bahan, untuk mengevaluasi seberapa besar penyimpangan (deviasi) yang terjadi antara pendekatan numerik dengan pendekatan teoritis. Dengan demikian, analisis ini tidak hanya menunjukkan kinerja mekanik dari kombinasi material tersebut, tetapi juga menilai keakuratan dan reliabilitas dari simulasi elemen hingga dalam merepresentasikan kondisi uji tarik secara realistis.

Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode prediksi kekuatan tarik menggunakan simulasi numerik terhadap

material kombinasi, serta memperkuat dasar ilmiah dalam penggunaannya pada perancangan struktur teknik. Selain itu, hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam melakukan pengujian eksperimental lanjutan, serta sebagai pertimbangan dalam desain struktur teknik yang melibatkan kombinasi material dengan sifat mekanik berbeda.

2. Rumusan masalah

Dilihat dari latar belakang diatas, maka didapatkan perumusan masalah yaitu:

- a. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan kombinasi material ASTM A36 dan AISI 304 terhadap nilai tegangan tarik maksimum yang dihasilkan pada simulasi menggunakan Ansys Workbench.
- b. Sejauh apa takik akan memengaruhi distribusi tegangan dan konsentrasi tegangan pada spesimen uji tarik kombinasi dari ASTM A36 dan AISI 304.
- c. Bagaimana perbandingan hasil simulasi pengujian tarik dengan hasil perhitungan analitik berdasarkan teori konsentrasi tegangan.
- d. Berapa besar tingkat penyimpangan antara hasil simulasi menggunakan Ansys Workbench dengan pendekatan analitik pada masing-masing variasi komposisi dan kondisi geometri (dengan dan tanpa takik).

3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *overlay welding* terhadap distribusi dan besaran tegangan sisa pada pipa dengan *base material* ASTM A36 dan lapisan AISI 304 baik dengan takik ataupun tanpa takik melalui simulasi uji tarik menggunakan Ansys Workbench Student License.

4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah

- a. Memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai perilaku tarik dari material komposit logam dua jenis (ASTM A36 dan AISI 304) dengan berbagai komposisi ketebalan melalui pendekatan simulasi.
- b. Menambah referensi akademik tentang pengaruh variasi geometri (takik) terhadap distribusi dan konsentrasi tegangan menggunakan pendekatan numerik.
- c. Menjadi dasar perbandingan antara metode simulasi dan pendekatan analitik dalam perhitungan tegangan tarik, terutama terkait dengan koefisien konsentrasi tegangan.
- d. Menjadi acuan bagi praktisi teknik dalam merancang komponen berbasis material campuran agar lebih tahan terhadap beban tarik dan konsentrasi tegangan, terutama pada area yang rentan seperti takik atau sudut tajam.
- e. Menyediakan data simulasi yang dapat digunakan untuk evaluasi desain produk, khususnya dalam industri manufaktur, konstruksi, dan otomotif yang menggunakan material logam campuran.

5. Lingkup masalah

Batasan-batasan ini ditetapkan untuk menjaga konsistensi hasil, menghindari kompleksitas yang tidak diperlukan, serta memungkinkan fokus evaluasi pada pengaruh komposisi material dan kehadiran takik terhadap perilaku tegangan tarik.

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Jenis material yang digunakan dalam simulasi terbatas pada ASTM A36 (baja karbon rendah) dan AISI 304 (baja tahan karat).
- b. Simulasi hanya dilakukan terhadap spesimen berbentuk standar uji tarik dengan variasi ketebalan berdasarkan perbandingan campuran material, yaitu: 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 40:60, 30:70, 20:80, dan 10:90.
- c. Geometri spesimen terbatas pada dua kondisi, yaitu dengan takik (notch) dan tanpa takik. Bentuk takik mengikuti standar takik elips (U-Notch), dan faktor konsentrasi tegangan ditentukan berdasarkan kurva faktor konsentrasi tegangan.
- d. Pengujian hanya dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan Ansys Workbench. Validasi dilakukan melalui perbandingan dengan perhitungan analitik berdasarkan teori tegangan dan regangan.
- e. Efek temperatur, kelelahan material, deformasi plastis lanjut, atau korosi tidak

- diperhitungkan dalam simulasi.
- f. Pengujian dilakukan dalam kondisi pembebanan statik tarik satu arah (*uniaxial tensile test*) hingga mencapai titik leleh atau putus.
 - g. Meshing yang digunakan tidak bisa melebihi batas maksimal meshing yang sudah diulang beberapa kali dalam pengujian, karena terkendala lisensi *software*
 - h. Fitur yang terbatas untuk software Ansys Workbench tipe student sehingga tidak dapat maksimal untuk melakukan pengujian simulasi.

6. Sistematika penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi perihal latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisi tentang kumpulan penelitian dari penelitian-penelitian yang ada di jurnal-jurnal terverifikasi dan berisi tentang informasi-informasi yang berkaitan tentang pengujian tarik, material, metode elemen hingga.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan diagram alir serta metodologi yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menampilkan jadwal hingga pelaksanaan kegiatan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir berisikan Kesimpulan dari hasil yang didapatkan serta saran untuk penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka ini merupakan sebuah rujukan yang didalamnya berisi sumber-sumber yang digunakan dalam karya tulis.

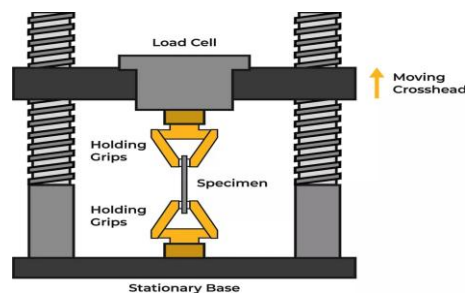
BAB II STUDI LITERATUR

1. Pengujian Tarik

Uji tarik merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang paling fundamental dan luas digunakan untuk menilai karakteristik mekanis suatu material. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana suatu material mampu menahan beban tarik hingga terjadi deformasi plastis yang berujung pada kegagalan atau keretakan. Dari pengujian ini, diperoleh sejumlah parameter penting seperti kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), tegangan luluh (*yield strength*), modulus elastisitas (*Young's modulus*), regangan (*strain*), serta persentase perpanjangan material setelah mengalami patah (*elongation after fracture*) [14].

Pengujian tarik umumnya dilaksanakan mengacu pada standar internasional seperti ASTM E8/E8M. Spesimen uji dirancang dengan geometri khusus, di mana bagian tengah dibuat lebih sempit guna memastikan bahwa kerusakan terjadi di area pengukuran, bukan pada bagian penjepit. Selama pengujian, mesin tarik memberikan gaya secara aksial dengan laju beban atau regangan yang telah ditentukan, sementara data gaya dan perubahan panjang direkam secara kontinu untuk menghasilkan kurva tegangan terhadap regangan (*stress-strain curve*).

Dengan berkembangnya teknologi komputasi, simulasi uji tarik berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) telah menjadi alternatif yang efektif, bahkan dalam beberapa situasi dapat menggantikan pengujian eksperimental. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih rinci terhadap penyebaran tegangan dan regangan, mengidentifikasi potensi lokasi konsentrasi tegangan sejak awal, serta memprediksi respons material di bawah berbagai kondisi pembebanan [15].



Gambar 1. Pengujian Tarik [16].

2. Material ASTM A36 dan AISI 304

ASTM A36 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang paling umum digunakan dalam bidang konstruksi dan manufaktur karena sifat mekaniknya yang seimbang antara kekuatan dan kemampuan fabrikasi. Baja ini memiliki kandungan karbon sekitar 0,26% dan elemen paduan lainnya seperti mangan, fosfor, dan sulfur dalam kadar terbatas, sehingga memudahkan proses pengelasan dan pembentukan panas maupun dingin. ASTM A36 memiliki kekuatan tarik minimum sebesar 400–550 MPa dan kekuatan luluh minimum sebesar 250 MPa, menjadikannya material yang cocok untuk aplikasi struktural seperti balok, pelat, dan rangka baja. Selain itu, baja ini juga sering digunakan sebagai material dasar dalam pengujian mekanik seperti uji tarik dan impak untuk menganalisis pengaruh proses perlakuan atau pengelasan. menunjukkan bahwa karakteristik mikrostruktur ASTM A36 akan mengalami perubahan signifikan akibat proses perlakuan panas, yang berdampak pada peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik. Sementara itu, bahwa sambungan las pada baja A36 menunjukkan pengaruh signifikan terhadap nilai tegangan sisa dan distribusi regangan. Dengan ketersediaan luas, harga ekonomis, serta performa struktural yang memadai, ASTM A36 tetap menjadi pilihan utama dalam berbagai studi rekayasa material [17].

AISI 304 merupakan jenis baja tahan karat austenitik yang paling umum digunakan dalam industri teknik, manufaktur, dan makanan karena karakteristik ketahanan korosinya yang tinggi serta kemudahan dalam proses pembentukan dan pengelasan. Komposisi kimianya didominasi oleh kromium sebesar 18–20% dan nikel 8–10,5%, yang berfungsi membentuk struktur austenit stabil pada suhu ruang dan meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi. AISI 304 memiliki kekuatan tarik ultimate berkisar antara 520 hingga 720 MPa dan kekuatan luluh minimum sekitar 215 MPa, dengan elongasi yang tinggi melebihi 50%, menjadikannya material yang sangat ulet dan mampu menahan deformasi tanpa patah.

Material ini menunjukkan ketahanan yang sangat baik terhadap berbagai jenis korosi seperti korosi atmosferik, korosi intergranular, dan korosi oleh bahan kimia ringan. Perlakuan seperti *cold working* dan *cryogenic treatment* mampu meningkatkan kekuatan tarik hingga lebih dari 1 GPa tanpa mengorbankan keuletan secara signifikan, berkat mekanisme *strain-induced martensitic transformation*. Dalam kondisi suhu tinggi, AISI 304 juga menunjukkan perilaku creep yang stabil dalam jangka pendek, sehingga masih relevan untuk digunakan pada aplikasi termal moderat. Selain itu, perlakuan permukaan seperti laser *shock peening* dan *ultrasonic impact peening* terbukti mampu meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan lelah melalui pembentukan butiran mikro hingga nano

dan tegangan residual kompresif. Penggunaan AISI 304 juga umum ditemukan pada aplikasi pengelasan, dengan hasil sambungan yang menunjukkan zona pengaruh panas (HAZ) yang relatif stabil dan tidak rentan terhadap retak panas. Secara keseluruhan, kombinasi antara kekuatan mekanik, keuletan, kemampuan pembentukan, serta ketahanan terhadap korosi menjadikan AISI 304 sebagai pilihan utama untuk aplikasi struktural maupun non-struktural yang memerlukan keandalan jangka Panjang [18].



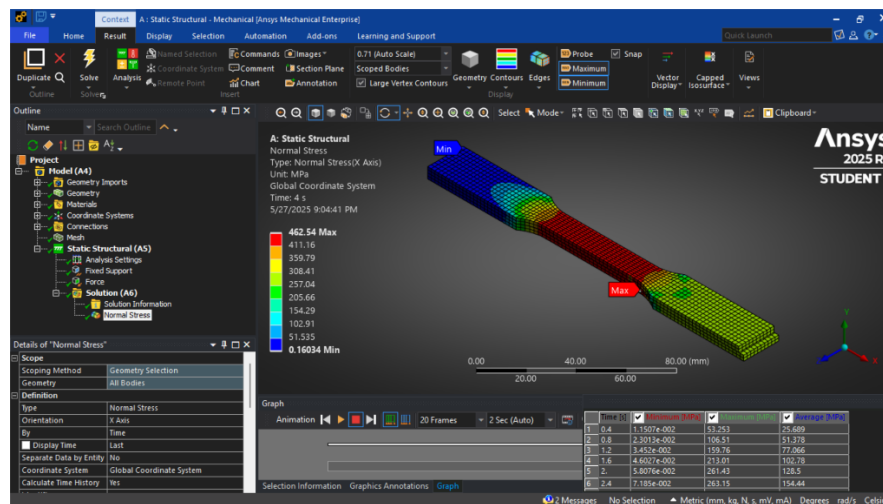
Gambar 2. Material ASTM A36 & AISI 304 [19].

3. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) merupakan pendekatan numerik yang andal untuk menyelesaikan persoalan fisis kompleks dengan cara memecah domain permasalahan menjadi bagian-bagian kecil atau elemen diskrit. Langkah-langkah dalam Metode elemen hingga meliputi pemodelan geometri melalui diskritisasi, formulasi karakteristik masing-masing elemen, penyusunan matriks kekakuan sistem secara keseluruhan, pemberian syarat batas, serta penyelesaian sistem persamaan linier yang dihasilkan. Ansys Workbench Student License berfungsi sebagai platform integratif yang menyatukan seluruh proses FEM (*Finite Element Method*) ke dalam satu antarmuka grafis yang intuitif, mulai dari tahap awal (*preprocessing*), pemrosesan (*solver*), hingga analisis hasil (*postprocessing*). Edisi Student 2025 dirancang untuk keperluan pendidikan dan tersedia secara gratis, dengan kapasitas hingga 32.000 nodes/elemen, memungkinkan pengguna untuk mensimulasikan berbagai fenomena struktural, termal, dan dinamis dengan akurat.

Platform ini juga mendukung beragam jenis analisis, termasuk statik linier dan nonlinier, vibrasi (modal dan harmonik), serta perpindahan panas dalam kondisi tunak

maupun tak tunak. Kemampuan meshing-nya mencakup fitur mesh adaptif otomatis dan kontrol mutu elemen untuk menjamin hasil yang konvergen dan akurat. ANSYS juga menyediakan bahasa pemrograman APDL (*Ansys Parametric Design Language*) guna menunjang pembuatan skrip otomatis dan simulasi parametrik. Integrasi antara konsep dasar FEM (*Finite Element Method*) dan penerapannya melalui studi kasus di Workbench memungkinkan pemahaman yang mendalam terhadap keterkaitan antara geometri, material, dan respons sistem. Dalam dunia pendidikan teknik, software ini sangat menunjang model pembelajaran berbasis proyek, didukung oleh ketersediaan panduan dan komunitas pengguna yang luas. Dengan demikian, Ansys Workbench Student 2025 menjadi sarana yang efektif untuk mengajarkan teori FEM (*Finite Element Method*) sekaligus mengaplikasikannya dalam praktik simulasi teknik secara menyeluruh [20].



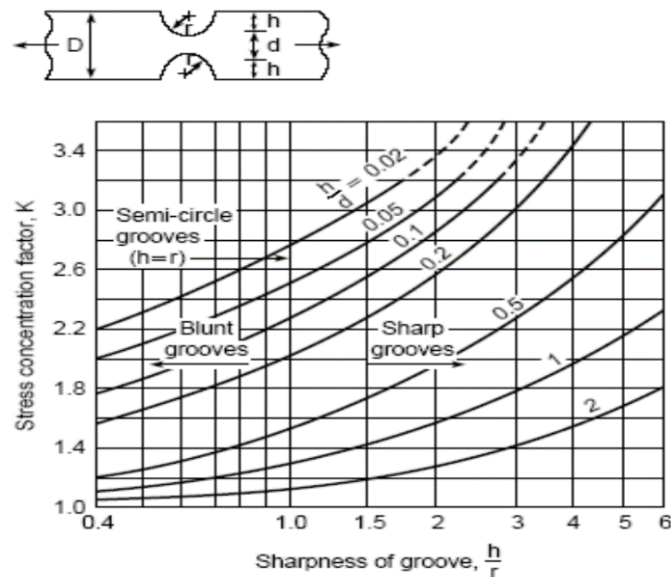
Gambar 3. Metode Elemen Hingga Software Ansys Workbench Student

4. Faktor Konsentrasi Tegangan

Faktor konsentrasi tegangan (K_t) merupakan rasio antara tegangan maksimum yang terjadi di sekitar ketidakaturan geometrik terhadap tegangan rata-rata pada bagian penampang yang tidak terganggu. Besarnya K_t sangat ditentukan oleh bentuk dan ukuran takik, termasuk rasio dimensi seperti diameter lubang, kedalaman alur, maupun jari-jari lengkung. Ketajaman takik menjadi faktor dominan dalam peningkatan konsentrasi tegangan, sementara pengaruh sifat material umumnya terbatas pada kondisi elastik linier. Berdasarkan pendekatan elastis klasik, diketahui bahwa semakin tajam suatu takik, maka tegangan lokal yang timbul akan semakin tinggi, sehingga meningkatkan potensi inisiasi retak. Untuk mendukung rekayasa desain, literatur teknik menyediakan data empiris, grafik, dan rumus korelasi yang digunakan untuk estimasi K_t dalam geometri standar. Dalam kasus geometri kompleks, simulasi numerik seperti metode elemen hingga (FEM)

digunakan untuk memodelkan distribusi tegangan secara lebih akurat, mencakup pengaruh tiga dimensi, interaksi antar takik, dan pembebanan kompleks.

Ketika terjadi plastisitas lokal di sekitar takik, distribusi tegangan akan berubah, menyebabkan nilai efektif K_t menurun dibandingkan nilai elastik murninya. Pendekatan berbasis energi seperti aturan Neuber diterapkan untuk memperkirakan redistribusi tegangan-regangan dalam zona plastis. Dalam analisis kelelahan, digunakan faktor konsentrasi kelelahan (K_f) yang umumnya lebih kecil dari K_t karena tidak seluruh konsentrasi tegangan efektif menyebabkan retak akibat ketahanan mikrostruktur material. Nilai K_f dipengaruhi oleh sensitivitas takik (q), yang bergantung pada kekuatan material, kondisi permukaan, dan struktur mikro. Untuk kasus beban siklik kompleks dan multiaksial, evaluasi konsentrasi tegangan dilakukan terhadap tegangan ekuivalen seperti von Mises, dan sering dikombinasikan dengan koreksi akibat tegangan rata-rata. Selain itu, perlakuan permukaan seperti *shot peening* atau laser *shock peening* dapat menghasilkan tegangan sisa kompresif yang membantu menunda inisiasi retak. Oleh karena itu, pemahaman menyeluruh terhadap faktor konsentrasi tegangan dan peranannya dalam kegagalan material sangat penting untuk menjamin integritas struktur dalam jangka panjang [21].



Gambar 4. Kurva Faktor Konsentrasi Tegangan [22].

5. Validasi Analitik

Validasi analitik merupakan proses evaluatif yang bertujuan membandingkan hasil simulasi numerik dengan solusi analitik atau formulasi teoritik yang telah terverifikasi secara matematis. Tujuan utama dari validasi ini adalah untuk mengukur tingkat kecocokan atau akurasi model dalam merepresentasikan fenomena fisik yang sesungguhnya. Validasi analitik lebih menekankan pada kesesuaian model terhadap kenyataan fisik. Proses ini umumnya diawali dengan penetapan ulang kondisi fisik, penyusunan asumsi, serta penyamaan kondisi batas dan pembebanan antara model dan solusi analitik.

Evaluasi perbedaan hasil dilakukan dengan pendekatan kuantitatif, menggunakan metrik seperti error relatif maksimum, norma L_2 , RMSE, MAPE, maupun *Grid Convergence Index* pada studi mesh. Validasi analitik juga mencakup analisis sensitivitas terhadap variabel utama dan pengaruh ketidakpastian input, sehingga dapat dibedakan antara kesalahan bentuk model dan ketidakpastian parametrik. Dalam kerangka formal seperti V&V (*Verification and Validation*), penetapan kriteria penerimaan dilakukan dengan pendekatan statistik yang sistematis, termasuk penggunaan interval kepercayaan atau uji kesetaraan.

Aspek penting lain dari validasi analitik adalah konsistensi dalam satuan, skala, dan penggunaan parameter nondimensional seperti bilangan Reynolds atau bilangan Courant. Untuk sistem multi-fisika, pendekatan validasi bertahap atau *progressive validation* diterapkan agar setiap sub-model dapat dievaluasi secara independen sebelum dikombinasikan. Seluruh proses ini harus didokumentasikan secara rinci, mencakup asumsi, ruang lingkup model, metode perbandingan, serta ketidakpastian yang masih tersisa. Dengan demikian, validasi analitik memegang peranan penting dalam menjamin kredibilitas model numerik, menentukan batas keandalannya, dan menjadi landasan untuk peningkatan model secara berkelanjutan melalui siklus verifikasi, validasi, dan kalibrasi [23]. Perhitungan analitik pada uji tarik biasanya mengikuti rumus dasar:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Di mana:

σ = tegangan (MPa)

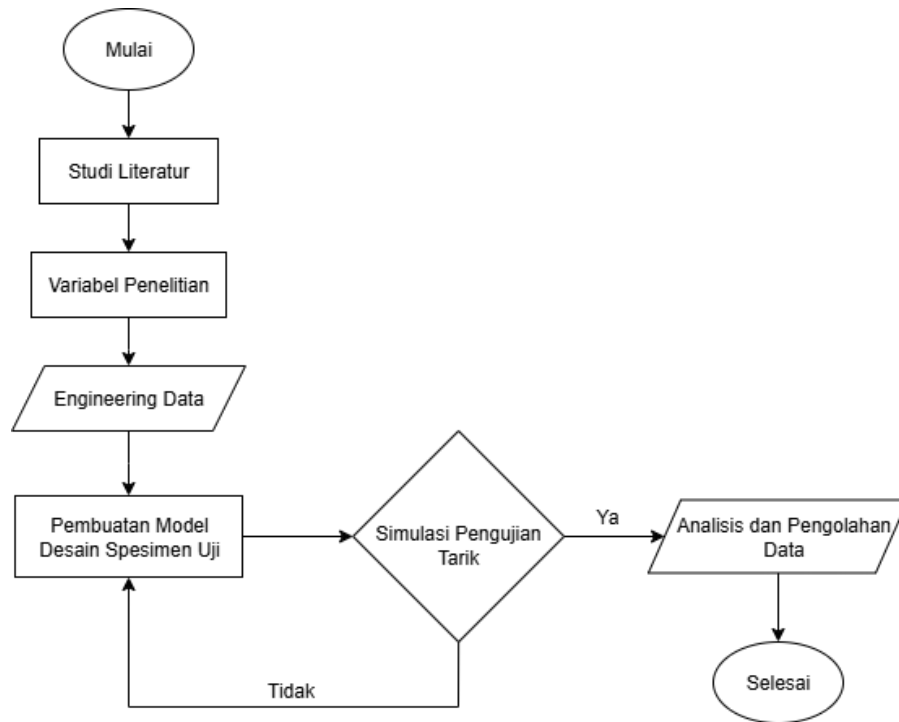
F = gaya tarik (N)

A = luas penampang (mm)

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan Penelitian

Tahapan pengujian agar didapat data dengan baik maka dilakukan pengujian dengan menggunakan diagram alir sebagai berikut.



Gambar 5. Diagram Alir

2. Tempat Penelitian

Penelitian pengujian tarik simulasi ini dilakukan di kantor PT.Gerlink Utama Mandiri



Gambar 6. Lokasi Penelitian

3. Alat dan bahan yang digunakan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

- Laptop
- Software Ansys Workbench versi *student* 2025

4. Rancangan Pengujian

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian simulasi numerik yang bersifat kuantitatif komparatif, karena membandingkan hasil simulasi dengan hasil perhitungan analitik. Dengan objek penelitian merupakan uji tarik hasil kombinasi antara dua material yaitu ASTM A36 dan AISI 304 dengan variasi ketebalan 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90. Setiap spesimen ini akan diuji dalam dua kondisi yaitu dengan takik dan tanpa takik.

Software

Simulasi dilakukan menggunakan Ansys Workbench dengan modul Statik Struktural.

Variabel Input

- a. Ukuran spesimen 12,5 x 6 mm
- b. *Material properties*: ASTM A36 dan AISI 304
- c. Beban maksimum pengujian tarik.
- d. Konsentrasi tegangan.

Variabel Output

- a. Perbandingan nilai hasil simulasi dengan hasil analitik.
- b. Perbandingan hasil simulasi tanpa takik dengan takik.
- c. Perbandingan hasil faktor konsentrasi tegangan simulasi dan analitik.

5. Setup pengukuran/pengujian

Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian mengikuti prosedur *software* Ansys Workbench yang meliputi:

a. *Input Engineering Data*

Memasukkan data material dari database atau literatur:

Terdapat beberapa properties material yang akan dipilih yaitu: *Density, Isotropic Elasticity (young's modulus, poisson's ratio, bulk modulus, shear modulus), Bilinear Isotropic Hardening (tangent modulus type: plastic, yield strength, tangent modulus, tensile ultimate strength)*.

b. Pemodelan Geometri

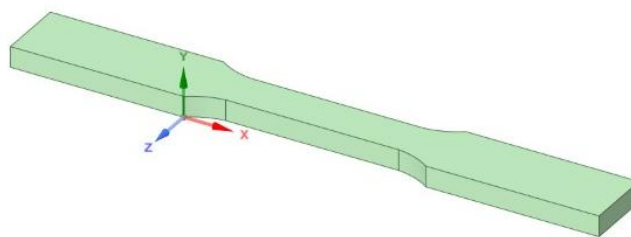
Setelah memasukan *Engineering data*, lalu selanjutnya memilih kolom *geometry* (untuk membuat model spesimen yang ukurannya sesuai dengan standar ASTM E8). Untuk pembuatan takik melanjutkan pada geometri *in design modeler*.

c. Running Simulasi

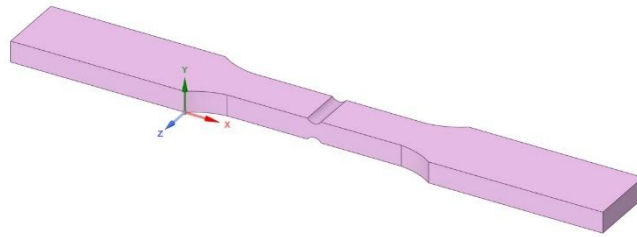
- Menginput spesimen yang telah dibuat dikolom geometri pada kolom model
- Lalu memilih jenis material pada geometri spesimen di tabel "*detail specimen*" yang terletak pada material assignment,
- Pada *work plane* terdapat dua spesimen yang dimana pada fitur *connections* terdapat "*detail contact region*" dimana kedua spesimen terdefinisi dengan *type contact* "*bonded*",

- Selanjutnya fitur *meshing* “*detail of mesh*” menginput default elemen size untuk memperbesar atau memperkecil daerah meshing, yang dimana untuk mengetahui daerah hasil dari nilai tegangan maksimum,
- Setelah itu fitur *static structural* untuk insert “*Fixed Support*” dan memilih area spesimen untuk ditahan, agar ketika diuji tarik spesimen tidak bergerak ke arah translasi y dan z dan rotasi ke arah x,y,z
- Menginput “*Force*” pada fitur static structural, dan memasukan nilai beban tarik pada “*Details of force*” yaitu pada magnitude dan memilih arah spesimen untuk diuji tarik,
- Lalu menginput “*detail of analysis settings*” untuk mengetahui step control hasil pengujian tarik.
- Selanjutnya langkah terakhir, pada “*Solution*” menginput nilai hasil apa yang akan ditampilkan pada pengujian tarik, yaitu dengan nilai “*Equivalent (Von-Mises)*”, dimana lebih spesifikasi untuk mengetahui kondisi total tegangan yang menyebabkan kegagalan, untuk pembebanan kompleks, dan menjadi standar untuk evaluasi kekuatan material.

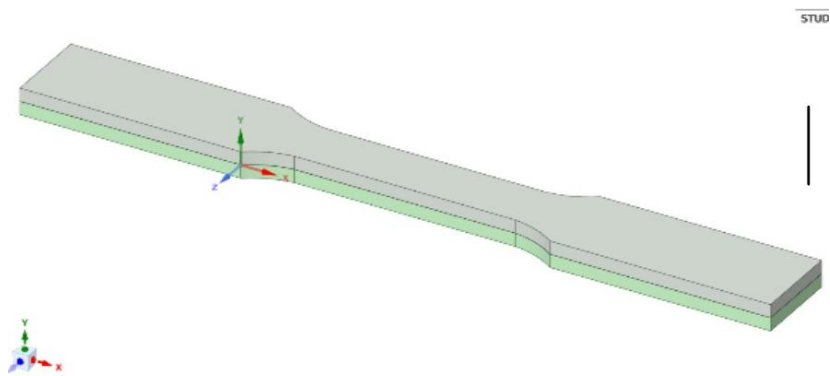
Konsep Rancangan Spesimen



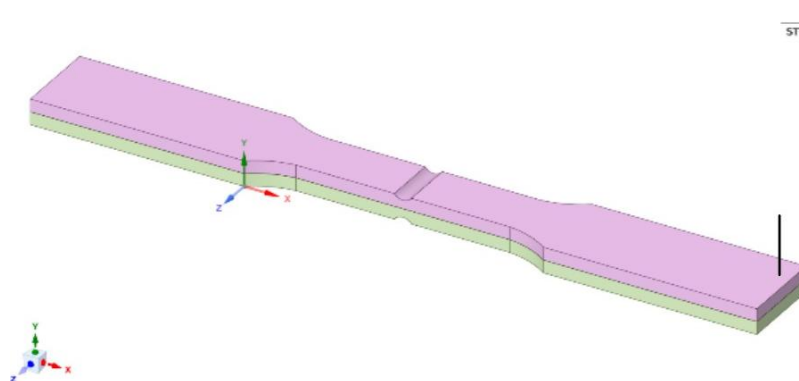
Gambar 7. Konsep Rancangan 1 Spesimen Tanpa Takik



Gambar 8. Konsep Rancangan 1 Spesimen Dengan Takik

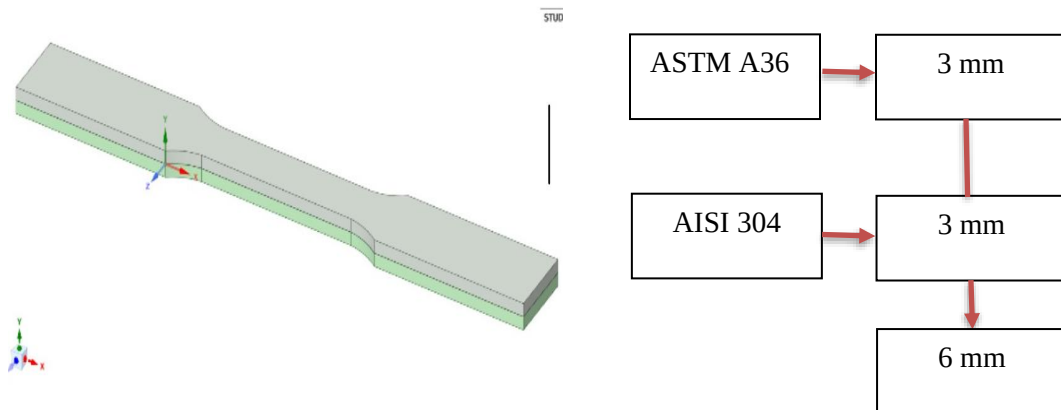


Gambar 9. Konsep Rancangan 2 Spesimen Tanpa Takik

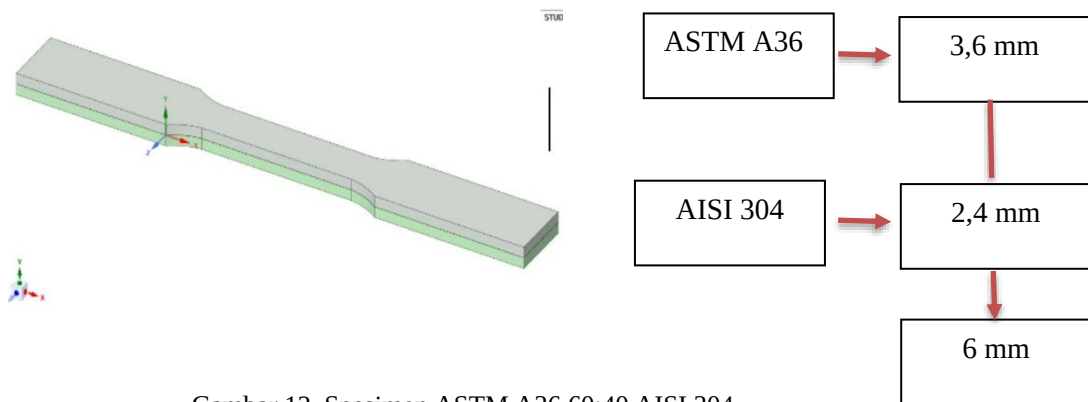


Gambar 10. Konsep Perancangan 2 Spesimen Dengan Takik

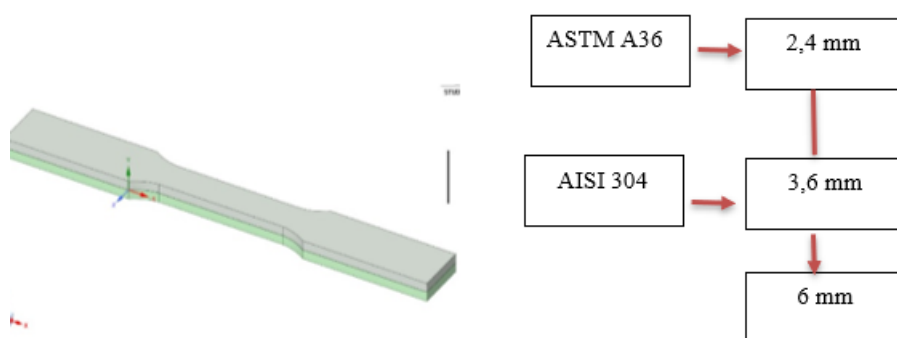
Rasio Perbandingan Spesimen



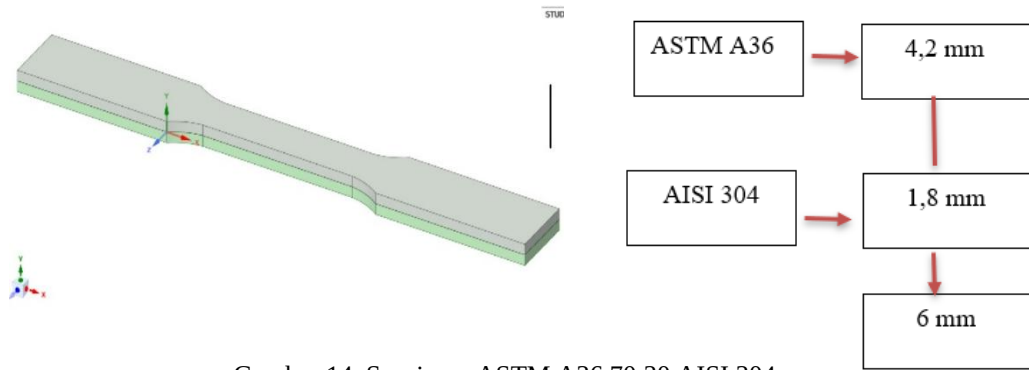
Gambar 11. Spesimen ASTM A36 50:50 AISI 304



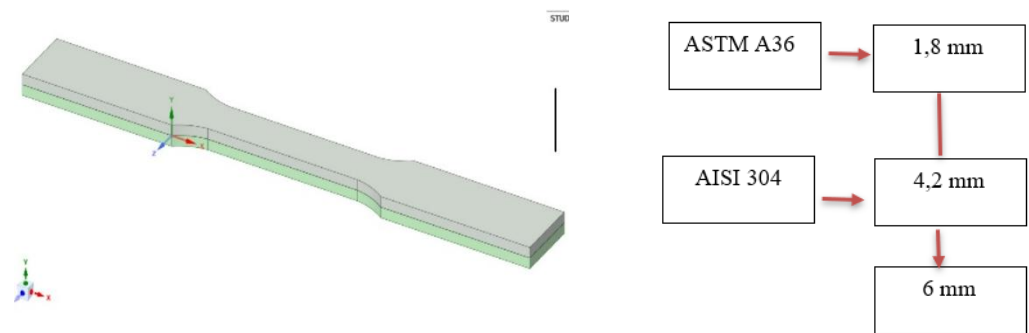
Gambar 12. Spesimen ASTM A36 60:40 AISI 304



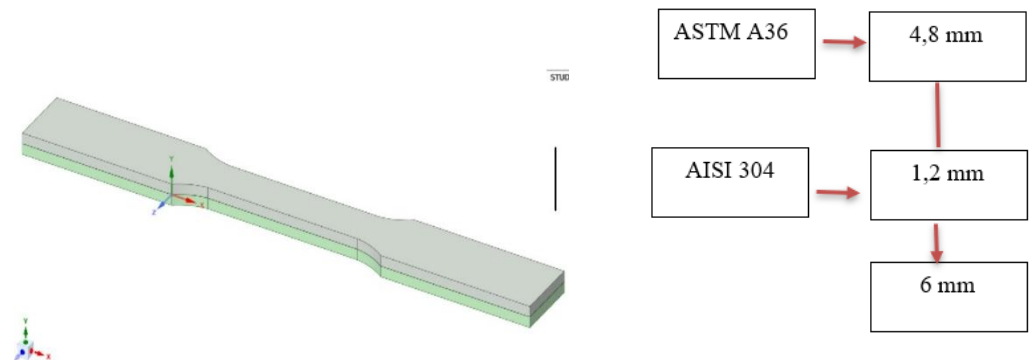
Gambar 13. Spesimen ASTM A36 40:60 AISI 304



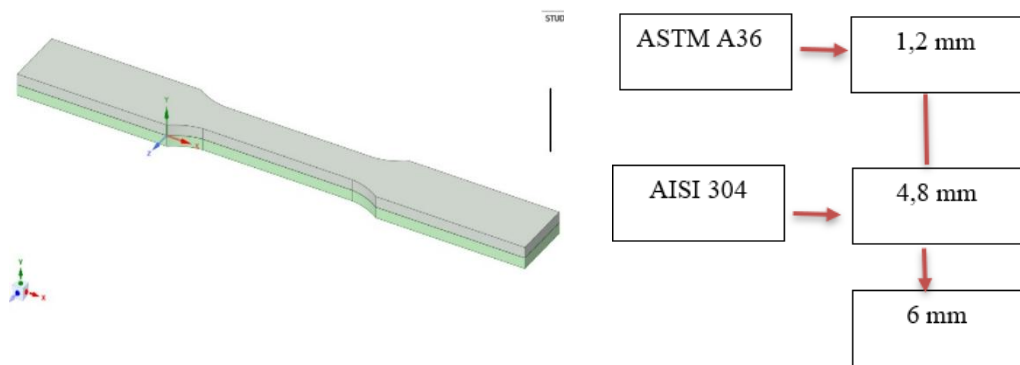
Gambar 14. Spesimen ASTM A36 70:30 AISI 304



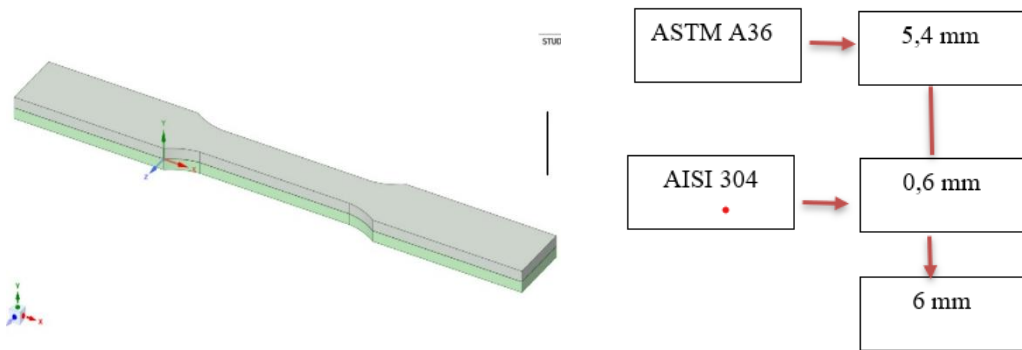
Gambar 16. Spesimen ASTM A36 30:70 AISI 304



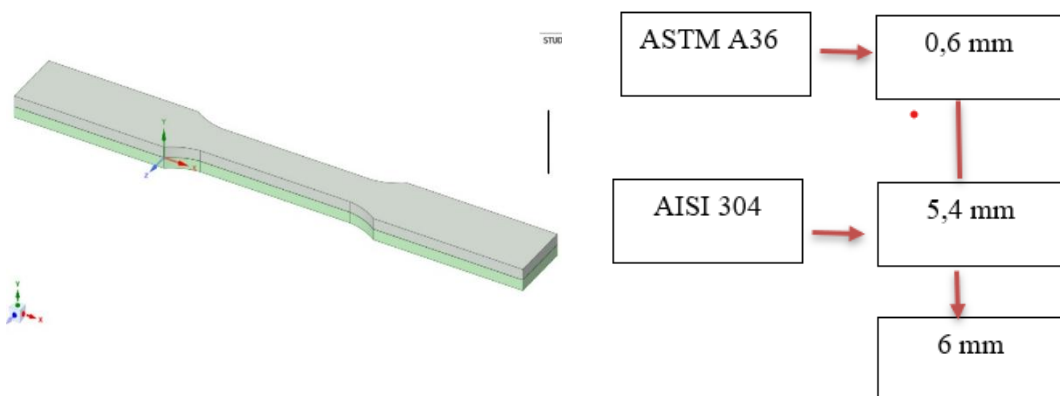
Gambar 15. Spesimen ASTM A36 80:20 AISI 304



Gambar 17. Spesimen ASTM A36 20:80 AISI 304



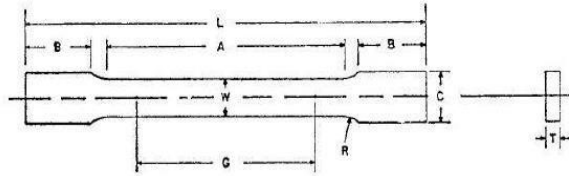
Gambar 19. Spesimen ASTM A36 90:10 AISI 304



Gambar 18. Spesimen ASTM A36 10:90 AISI 304

Uji Tarik

E8/E8M - 13a



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Gambar 20. Standar Spesimen Uji Tarik [24].

Konsep Pengolahan Data

- a. Ekstraksi hasil simulasi setelah simulasi selesai, data hasil berupa tegangan maksimum, distribusi tegangan (*von mises stress*) diambil dari Ansys Workbench untuk masing-masing variasi ketebalan dan kondisi takik. Penghitungan tegangan analitik dilakukan perhitungan analitik berdasarkan hukum Hooke dan rumus tegangan dasar $\sigma = F/A$.
- b. Untuk spesimen bertakik, perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan factor konsentrasi tegangan (K_t) sesuai dengan kurva dari Peterson's Stress Concentration.
- c. Perbandingan hasil simulasi dan analitik selisih atau deviasi antara hasil simulasi dan analitik dihitung dengan rumus:

$$\text{Persentase Penyimpangan} = \frac{|\sigma_{\text{simulasi}} - \sigma_{\text{analitik}}|}{\sigma_{\text{analitik}}} \times 100\%$$

- d. Visual data dilakukan dimana data hasil simulasi dan analitik disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk masing-masing variasi spesimen.
- e. Data yang diperoleh dianalisis untuk menarik kesimpulan mengenai pengaruh variasi proporsi material dan keberadaan takik terhadap kekuatan tarik.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Analitik

Tabel 1. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Analitik

HASIL SIMULASI PENGUJIAN TARIK					
SPESIMEN	HASIL SIMULASI		HASIL ANALITIK	FAKTOR TEGANGAN KONSENTRASI	
	TANPA TAKIK	DENGAN TAKIK	TANPA TAKIK	SIMULASI	ANALITIK
ASTM A36	550 MPa	1006 MPa	513 MPa	1.83	1.3
AISI 304	700 MPa	1325 MPa	631 MPa	1.89	

Tabel diatas menunjukkan bahwa hasil perbedaan hasil dari pengujian tarik. Dari kedua specimen tersebut terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil analitik yang didapatkan. Untuk specimen ASTM A36 dari hasil simulasi tanpa takik dengan hasil simulasi menggunakan takik terdapat perbedaan yang jauh. Sedangkan hasil simulasi tanpa takik dengan hasil analitik tidak jauh berbeda.

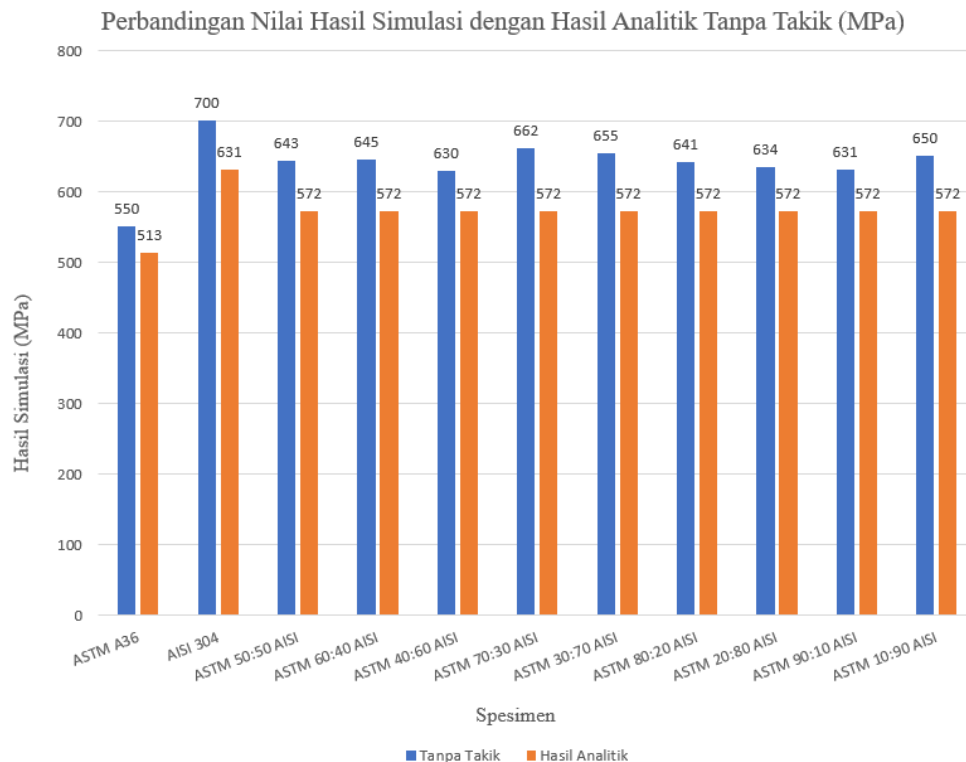
Specimen AISI 304 perbandingan hasil simulasi dengan hasil analitik tanpa takik menunjukkan hasil perbandingan yang tidak jauh berbeda.

2. Hasil Simulasi Gabungan ASTM A36 dengan AISI 304

Tabel 2. Hasil Simulasi Gabungan ASTM A36 dengan AISI 304

HASIL SIMULASI PENGUJIAN TARIK											
KONFIGURASI	SPESIMEN	CONNECTIONS	UKURAN SPESIMEN (mm)	UKURAN TEBAL PERBANDINGAN RASIO (mm)	BEBAN (N)	Ukuran Meshing (mm)	HASIL SIMULASI		HASIL ANALITIK (Mpa)	FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN	
							TANPA TAKIK (Mpa)	DENGAN TAKIK (Mpa)		SIMULASI	ANALITIK
1	ASTM A36	BONDED	12,5 x 6	6	38500	2.5	550	1006	513	1.83	1.3
2	AISI 304			6	47350		700	1325	631	1.89	
3	ASTM 50:50 AISI			3 : 3	42925		643	1254	572	1.95	
4	ASTM 60:40 AISI			3,6 : 2,4			645	1192	572	1.85	
5	ASTM 40:60 AISI			2,4 : 3,6			630	1208	572	1.92	
6	ASTM 70:30 AISI			4,2 : 1,8			662	1231	572	1.86	
7	ASTM 30:70 AISI			1,8 : 4,2			655	1233	572	1.88	
8	ASTM 80:20 AISI			4,8 : 1,2			641	1146	572	1.79	
9	ASTM 20:80 AISI			1,2 : 4,8			634	1151	572	1.82	
10	ASTM 90:10 AISI			5,4 : 0,6			631	1201	572	1.90	
11	ASTM 10:90 AISI			0,6 : 5,4			650	1258	572	1.94	
Rata-Rata							643	1200	572	1.87	

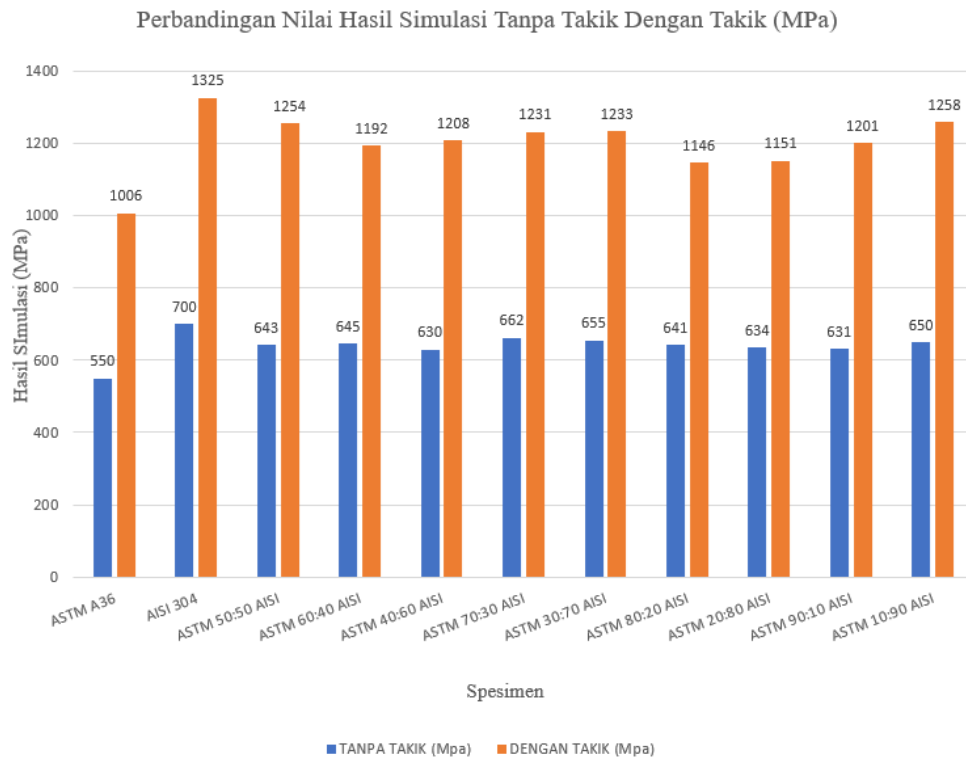
Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Analitik Tanpa Takik



Gambar 21. Grafik Hasil Perbandingan Simulasi & Analitik Tanpa Takik

Garis oranye menandakan hasil analitik tanpa takik, untuk nilai pada spesimen ratio perbandingan didapatkan 572 MPa didapatkan dari beban (42925 N) dibagi oleh luas penampang (12,5 x 6 mm). Untuk hasil simulasi tanpa takik memiliki nilai yang bervariasi hal ini menandakan bahwa nilai ini berpengaruh terhadap rasio ketebalan material. Hasil simulasi tertinggi didapatkan oleh material kombinasi ASTM A36 dengan AISI 304 yang memiliki rasio 70:30 dengan nilai 662 MPa. Material kombinasi tersebut ketika dibandingkan oleh hasil analitik memiliki nilai yang jauh sehingga perbedaannya 90 MPa. Untuk nilai perbandingan terendah didapatkan oleh material kombinasi dengan rasio 40:60 dengan nilai 630 MPa, dengan perbedaan nilai yang dihasilkan ketika dibandingkan dengan hasil simulasi adalah 58 MPa.

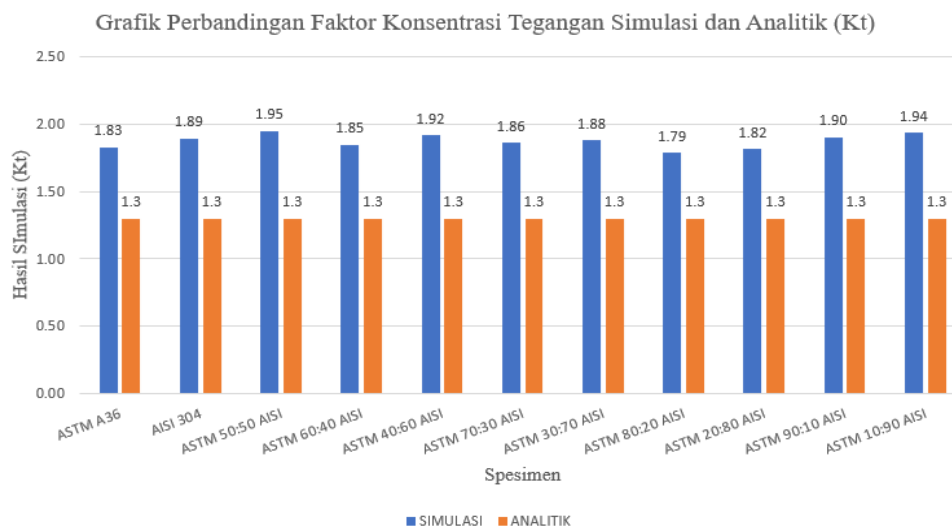
Grafik Perbandingan Hasil Simulasi Takik dengan Tanpa Takik



Gambar 22. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi Takik dengan Tanpa Takik.

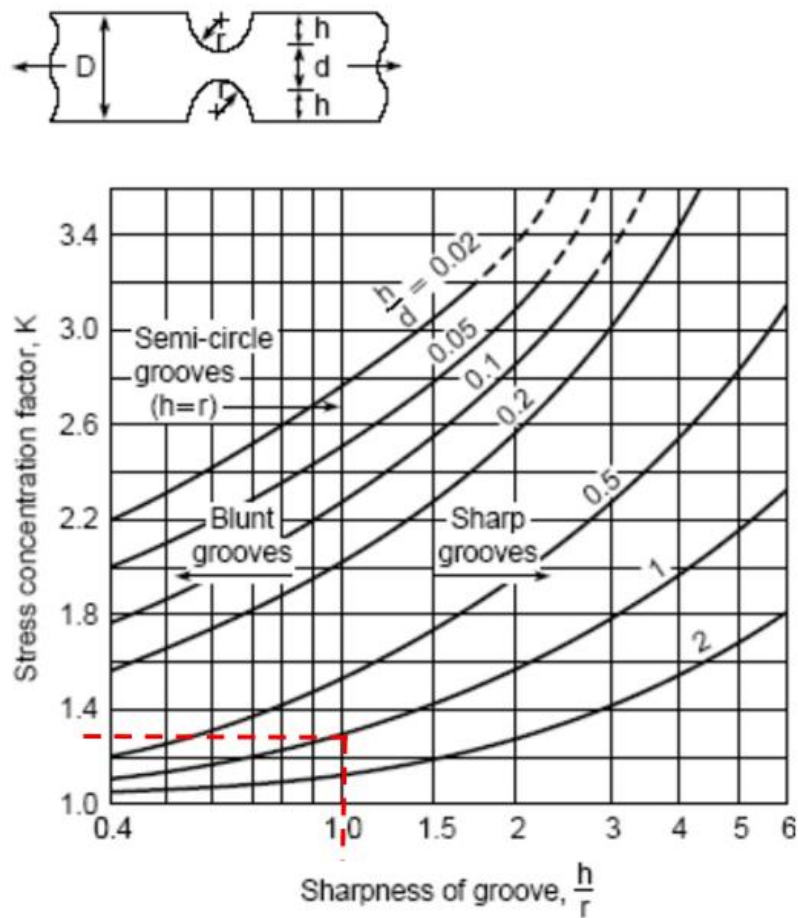
Grafik diatas menjelaskan bahwa dengan adanya takik berpengaruh besar terhadap hasil simulasi pengujian tarik.

Grafik Perbandingan Faktor Konsentrasi Tegangan Analitik dan Simulasi



Gambar 23. Grafik Perbandingan Faktor Konsentrasi Tegangan Analitik dan Simulasi

Grafik ini menjelaskan bahwa faktor konsentrasi tegangan analitik dan simulasi mendapatkan nilai yang berbeda untuk material ASTM A36 memiliki perbedaan 0.53, dan AISI 304 perbedaannya yaitu 0.59 lalu untuk rasio 50:50 perbedaannya yaitu 0.65, 60:40 yaitu 0.55, 40:60 yaitu 0.62, 70:30 yaitu 0.56, 30:70 yaitu 0.58, 80:20 yaitu 0.49, 20:80 yaitu 0.52, 90:10 yaitu 0.6, dan untuk 10:90 yaitu 0.64. Dan untuk nilai hasil analitik didapatkan dari grafik konsentrasi tegangan dengan nilai 1.3.



Gambar 24. Menentukan Nilai Konsentrasi Tegangan Analitik

Berikut merupakan grafik konsentrasi tegangan dimana hasil analitik dari konsentrasi tegangan yang didapat adalah $K_t = 1,3$.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan terhadap spesimen uji tarik dengan kombinasi material ASTM A36 dan AISI 304 menggunakan software ANSYS Workbench, serta perbandingan dengan perhitungan analitik, maka dapat disimpulkan:

- a. Kombinasi ketebalan material antara ASTM A36 dan AISI 304 memengaruhi nilai tegangan maksimum spesimen secara signifikan. Semakin tinggi proporsi AISI 304, tegangan tarik yang dihasilkan cenderung meningkat karena sifat mekanis AISI 304 yang lebih kuat dibandingkan ASTM A36. Hal ini selaras dengan hasil penelitian Suryanto et al. (2021) yang menyatakan bahwa pemilihan material campuran dapat memodifikasi respon tegangan struktur secara efektif.
- b. Arah pengelasan memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi tegangan sisa. Pengelasan *longitudinal* menghasilkan tegangan sisa yang lebih tinggi dibandingkan arah *circumferential*, yang dapat meningkatkan risiko deformasi dan kegagalan dini pada poros.
- c. Kehadiran takik menyebabkan peningkatan konsentrasi tegangan lokal, ditunjukkan dengan nilai tegangan maksimum yang lebih tinggi pada spesimen bertakik dibandingkan tanpa takik. Ini menunjukkan efek faktor konsentrasi tegangan (K_t) sesuai dengan teori Peterson (1974), dan dikonfirmasi juga oleh Putra dan Ramadhan (2020) dalam studi mengenai takik U dan V.
- d. Perbandingan antara hasil simulasi Ansys Workbench Student License dan perhitungan analitik menunjukkan terdapat penyimpangan ($<15\%$ pada sebagian besar variasi). Hal ini menunjukkan bahwa simulasi FEM (*Finite Element Method*) dapat digunakan sebagai metode prediksi yang masih harus diperbaiki dan terus dilakukan eksperimen dalam menentukan tegangan tarik awal sebelum dilakukan uji fisik.
- e. Dengan dilakukannya simulasi uji tarik dengan koneksi "*bonded*" terhadap kedua material pada penelitian ini belum dapat dijadikan referensi atau acuan yang valid karena adanya keterbatasan pada fitur Ansys Workbench versi Student 2025, khususnya dalam modul *Static Structural* yang mencakup pengaturan sifat mekanik material, koneksi antar material, dan konfigurasi model. Keterbatasan versi *student* serta minimnya informasi teknis menyebabkan hasil simulasi belum mampu menggambarkan proses uji tarik secara tepat atau akurat.

2. Saran

- a. Validasi eksperimental sangat disarankan guna memperkuat hasil simulasi. Uji tarik secara langsung menggunakan spesimen gabungan ASTM A36 dan AISI 304 dapat membantu mengetahui sejauh mana akurasi model simulasi.
- b. Penggunaan pendekatan numerik ini bisa diperluas ke jenis sambungan logam lain seperti lasan, sehingga dapat dimanfaatkan untuk perancangan struktur komposit atau struktur gabungan di bidang teknik mesin dan manufaktur.
- c. Untuk menggunakan *software* Ansys Workbench yang berlisensi agar dapat membuka semua fitur untuk lebih maksimal dalam pengerjaan pengujian atau memodelkan eksperimen yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Ziegler, M. Puccinelli, B. Bergallo, and A. Picasso, "INVESTIGATION OF TURBINE BLADE FAILURE IN A THERMAL POWER PLANT," *Case Stud. Eng. Fail. Anal.*, vol. 1, no. 3, pp. 192–199, 2013, doi: 10.1016/j.csefa.2013.07.002.
- [2] M. Rieger *et al.*, "FATIGUE CRACK GROWTH IN FULL-SCALE RAILWAY AXLES – INFLUENCE OF SECONDARY STRESSES AND LOAD SEQUENCE EFFECTS," *Int. J. Fatigue*, vol. 132, p. 105360, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.IJFATIGUE.2019.105360.
- [3] Y. Irwan, "PENGARUH SIFAT MEKANIK HASIL WELD OVERLAY CLADDING BAJA KARBON 0.35%C DENGAN ELEKTRODA E 309-16 DAN E 316-16," *Tek. Mesin*, p. 9, 2012. [Online]. Available: lib.itenas.ac.id
- [4] Z. Cheng, J. Huang, Z. Ye, Y. Chen, J. Yang, and S. Chen, "MICROSTRUCTURES AND MECHANICAL PROPERTIES OF COPPER-STAINLESS STEEL BUTT-WELDED JOINTS BY MIG-TIG DOUBLE-SIDED ARC WELDING," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 265, pp. 87–98, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2018.10.007.
- [5] M. Reza Hermawan and H. Sonawan, "CASE STUDY: FAILURE ANALYSIS OF INDUCED DRAFT FAN AFTER SERIOUS INSPECTION BY OVERLAY WELDING," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 118, p. 104855, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.ENGFAILANAL.2020.104855.
- [6] R. A. A. Nasihin, "ANALISIS PENGARUH ARAH PENGELASAN LONGITUDINAL SERTA CIRCUMFERENTIAL TERHADAP TEGANGAN SISA PADA PIPA BAJA KARBON 2 INCH (50 MM) DAN 4 INCH (100 MM) DENGAN PROSES OVERLAY WELDING," 2024, [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id>
- [7] M. Robby Apriansyah, "ANALISIS PENGARUH ARAH PENGELASAN LONGITUDINAL DAN CIRCUMFERENTIAL TERHADAP TEGANGAN SISA PADA PIPA BAJA KARBON DENGAN PROSES OVERLAY WELDING ANALYSIS OF THE EFFECT OF LONGITUDINAL AND CIRCUMFERENTIAL WELDING DIRECTION ON RESIDUAL STRESS IN

- CARBON STEEL P,” 2024, [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id>
- [8] T. S. Jun, W. H. Song, J. Y. Park, and D. C. Hur, “A COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES AND RESIDUAL STRESSES OF LINE PIPES SIZED BY EXPANSION AND COMPRESSION PROCESS,” *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 163, pp. 1–7, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.IJPVP.2018.03.008.
 - [9] Callister Jr, “MAAE 2700 ENGINEERING MATERIALS,” 2024, [Online]. Available: books.google.com
 - [10] F. T. Industri, “SIMULASI PROSES PEMOTONGAN BAJA KARBON RENDAH AISI 1018 DENGAN MESIN BUBUT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA,” 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.28441.
 - [11] R. G. Budynas *et al.*, “SHIGLEY’S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN EIGHTH EDITION IN SI UNITS ME GRAW HILL,” 2011, [Online]. Available: <https://books.google.co.id>
 - [12] J. Suryono, A. Putrawirawan, and R. R. Allo, “STUDI EKSPERIMENTAL DAN ANALITIS KEKUATAN TARIK PADA SAMBUNGAN PELAT BAJA,” *J. Inersia*, vol. 14, no. 1, pp. 33–42, 2023, doi: 10.46964/inersia.v14i1.372.
 - [13] A. Kirkland and S. Dyer, “ANSYS SOFTWARE TUTORIAL INTRODUCTION TO ANSYS MECHANICAL #1: BASICS OF FEA SIMULATION,” pp. 1–18, 2024, [Online]. Available: <https://www.collegesidekick.com>
 - [14] J. Wang, Y. Tang, J. Ye, and C. Xie, “TESTS AND FINITE ELEMENT SIMULATION OF YIELD ANISOTROPY AND TENSION-COMPRESSION STRENGTH DIFFERENCE OF AN EXTRUDED ZK60 MG ALLOY,” *Metals (Basel)*, vol. 11, no. 4, 2021, doi: 10.3390/met11040576.
 - [15] J. H. Eom, C. K. Jin, D. Y. Ahn, J. S. S. Babu, J. Y. Jang, and M. S. Lee, “COMPARISON OF FE SIMULATION AND EXPERIMENT ON TENSILE TEST OF TWB-HPF 22MNB5 STEEL,” *Metals (Basel)*, vol. 14, no. 10, 2024, doi: 10.3390/met14101176.
 - [16] A. Software, “ANSYS HANDBOOK.” [Online]. Available: <https://www.ansys.com/academic>
 - [17] H. MF, “ANALYSIS OF MECHANICAL BEHAVIOUR AND MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS CHANGE OF ASTM A-36 STEEL APPLYING VARIOUS HEAT TREATMENT,” *J. Mater. Sci. Eng.*, vol.

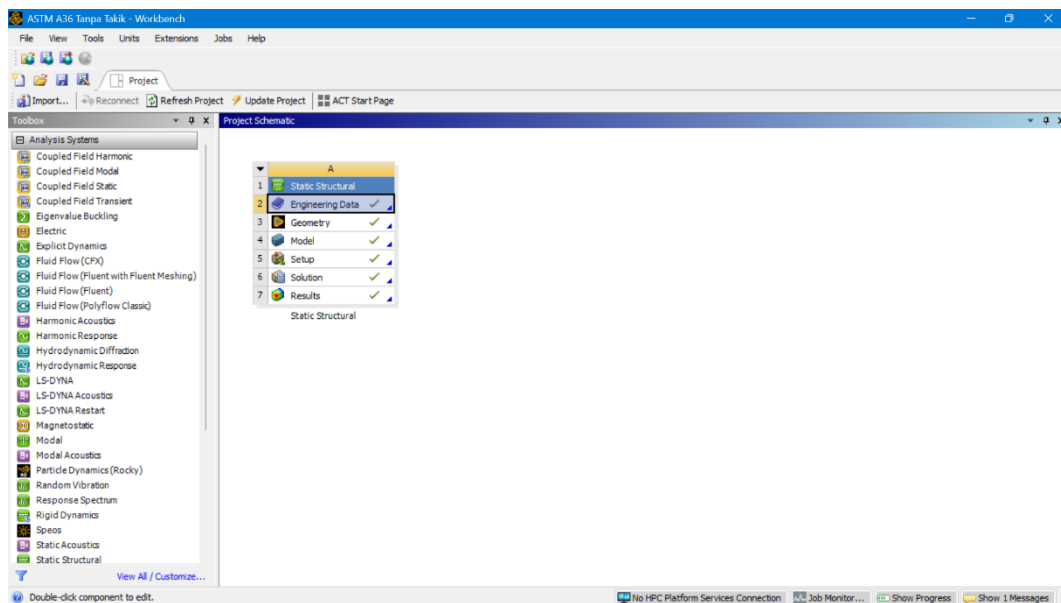
05, no. 02, 2016, doi: 10.4172/2169-0022.1000227.

- [18] M. Smetana, D. Gombarska, M. Slezak, L. Janousek, and P. Palcek, "INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND MAGNETIC PROPERTY CHANGES IN AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 304 AFTER COLD ROLLING UNDER VARIOUS HEAT TREATMENT CONDITIONS," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 5, 2025, doi: 10.3390/app15052810.
- [19] Leecosteel, "MATERIAL ASTM A36 & AISI 304." [Online]. Available: <https://www.leecosteel.com>
- [20] B. V. H. S. Sai, "THIS WORK IS LICENSED UNDER A CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE. A REVIEW PAPER ON FINITE ELEMENT METHODS USING ANSYS," *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 200–208, 2021, doi: 10.17148/IARJSET.2021.8334.
- [21] D. Arola and C. L. Williams, "ESTIMATING THE FATIGUE STRESS CONCENTRATION FACTOR OF MACHINED SURFACES," *Int. J. Fatigue*, vol. 24, no. 9, pp. 923–930, 2002, doi: 10.1016/S0142-1123(02)00012-9.
- [22] Engineersedge, "KURVA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN." [Online]. Available: <https://www.engineersedge.com>
- [23] C. Yin and A. McKay, "MODEL VERIFICATION AND VALIDATION STRATEGIES AND METHODS: AN APPLICATION CASE STUDY," *Is. ITCA 2018 - 8th Int. Symp. Comput. Intell. Ind. Appl. 12th China-Japan Int. Work. Inf. Technol. Control Appl.*, 2018, [Online]. Available: <http://eprints.whiterose.ac.uk>
- [24] ASTM E8, "ASTM E8/E8M STANDARD TEST METHODS FOR TENSION TESTING OF METALLIC MATERIALS 1," *Annu. B. ASTM Stand.* 4, no. C, pp. 1–27, 2010, doi: 10.1520/E0008.

LAMPIRAN

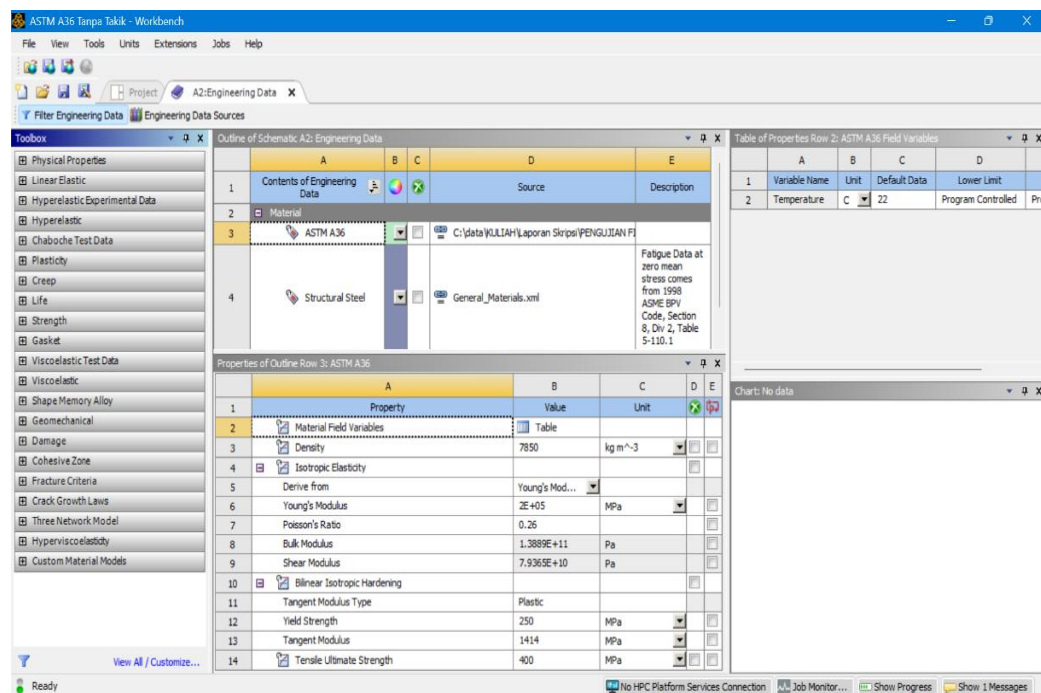
1. Simulasi Tanpa Takik

Pada proses simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench Student 2025, tahap awal yang krusial adalah pendefinisian *engineering data*. Tahap ini berfungsi untuk memasukkan properti mekanik material yang akan digunakan dalam analisis, sehingga model dapat merepresentasikan perilaku material secara mendekati kondisi nyata. Properti yang umumnya didefinisikan meliputi modulus elastisitas (*Young's modulus*), rasio Poisson, densitas, tegangan luluh (*yield strength*), serta tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Data tersebut menjadi dasar bagi perangkat lunak dalam menghitung respon material terhadap beban, seperti deformasi, regangan, dan distribusi tegangan.



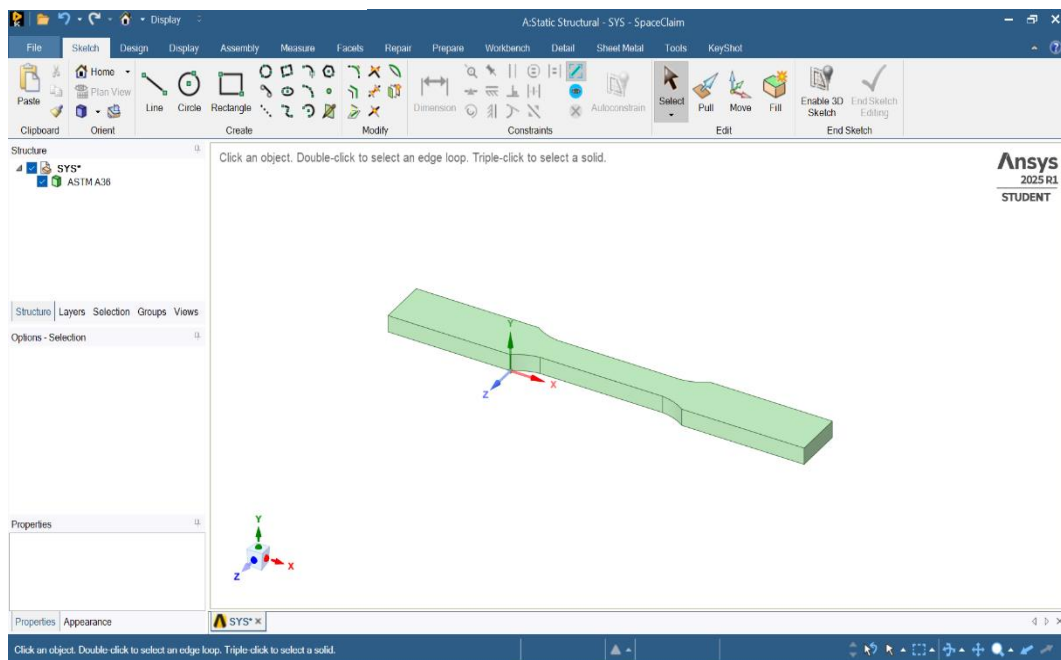
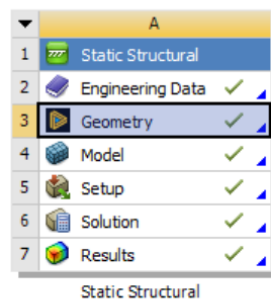
Gambar 25. *Input Engineering Data*

Dengan memasukkan *material properties* secara tepat, simulasi numerik dapat menghasilkan distribusi tegangan, regangan, serta perilaku deformasi yang lebih mendekati kondisi aktual. Oleh karena itu, tahap ini tidak hanya berfungsi sebagai syarat teknis, melainkan juga sebagai faktor penentu validitas hasil simulasi dalam penelitian berbasis finite element method (FEM).



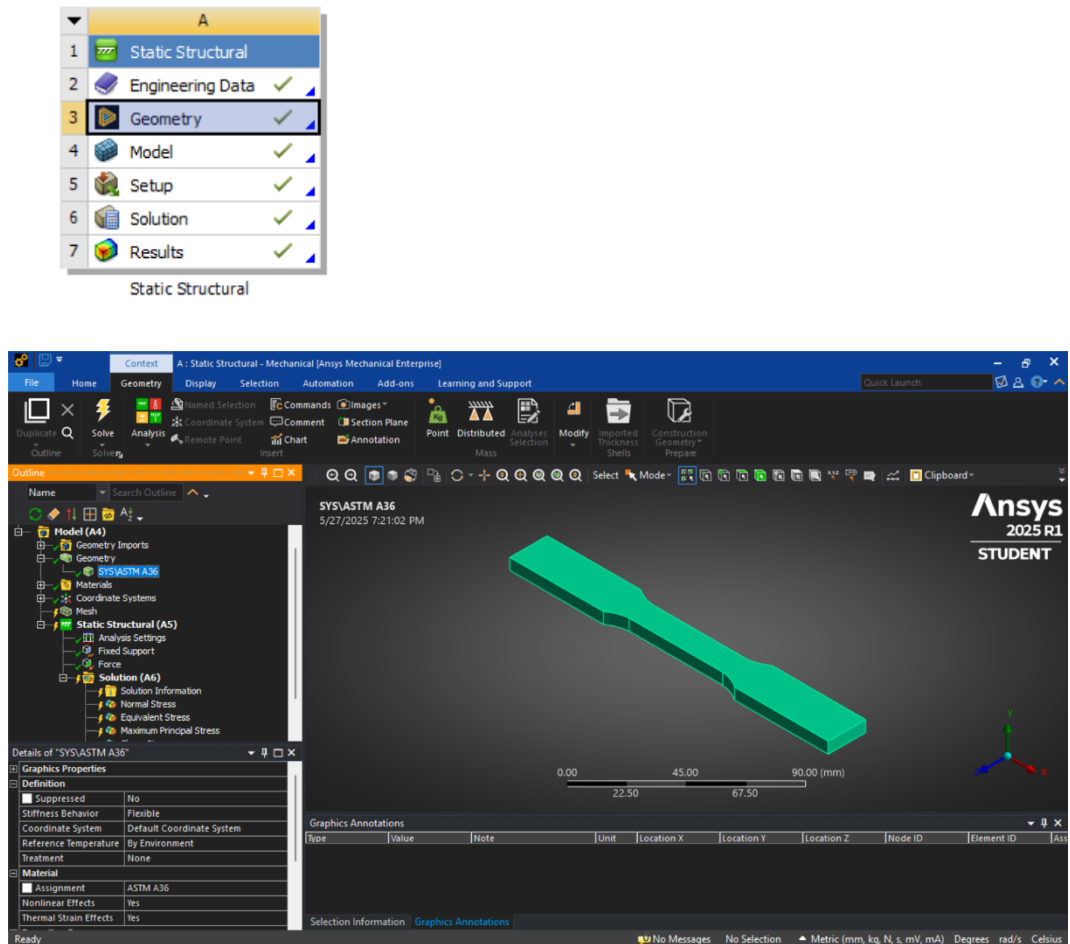
Gambar 26. *Input Material Properties Specimens*

Pembuatan Geometri

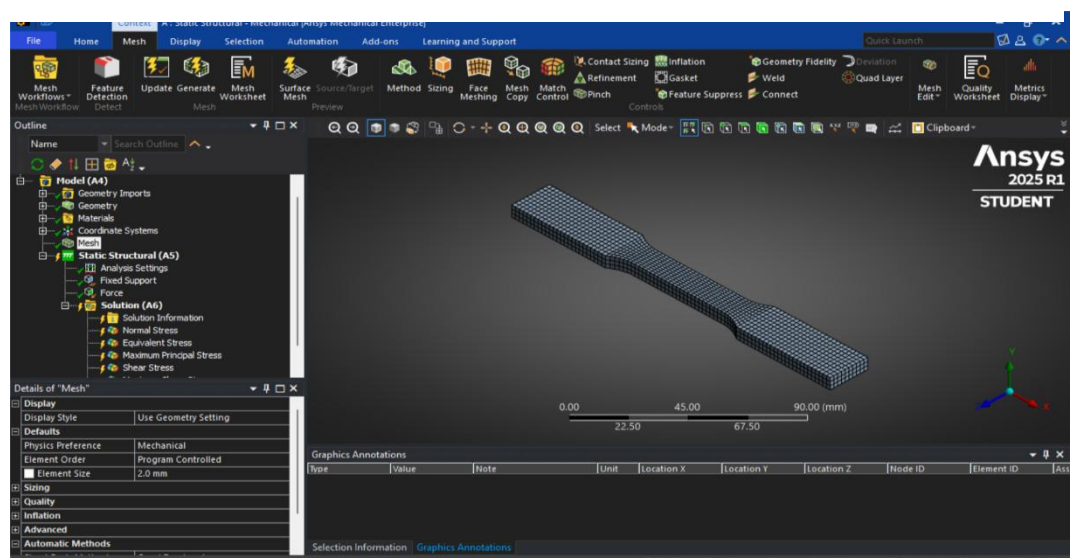


Gambar 27. Pembuatan Model Geometri

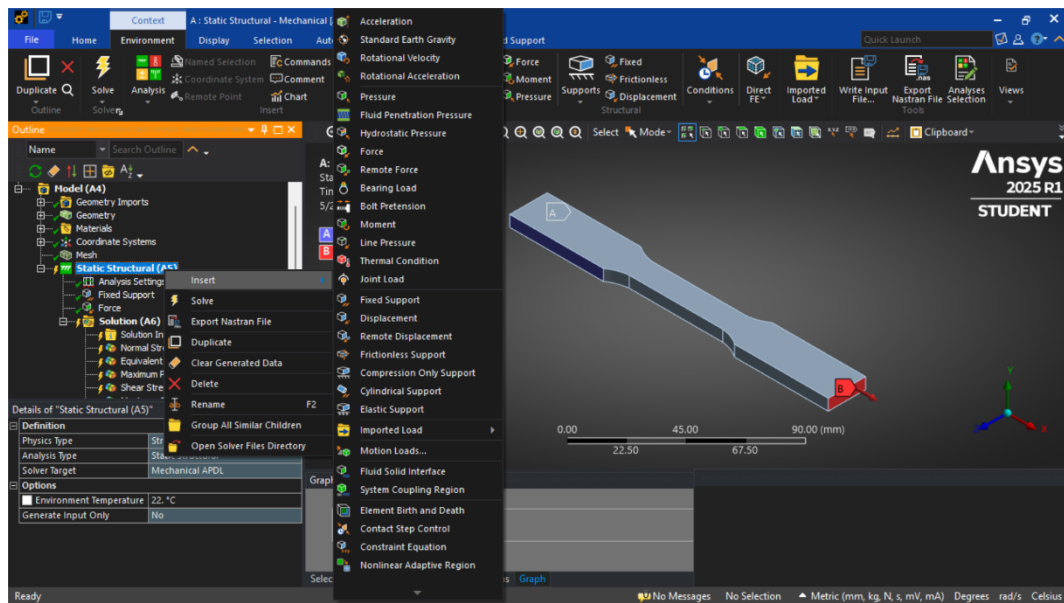
Running Simulation Model



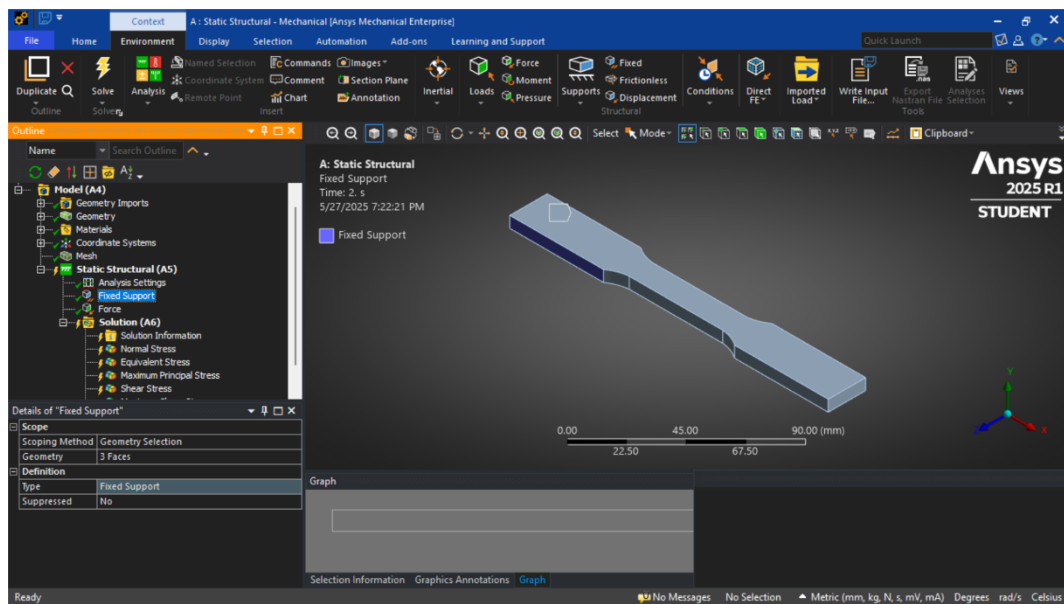
Gambar 28. Pemilihan Material yang Ditentukan



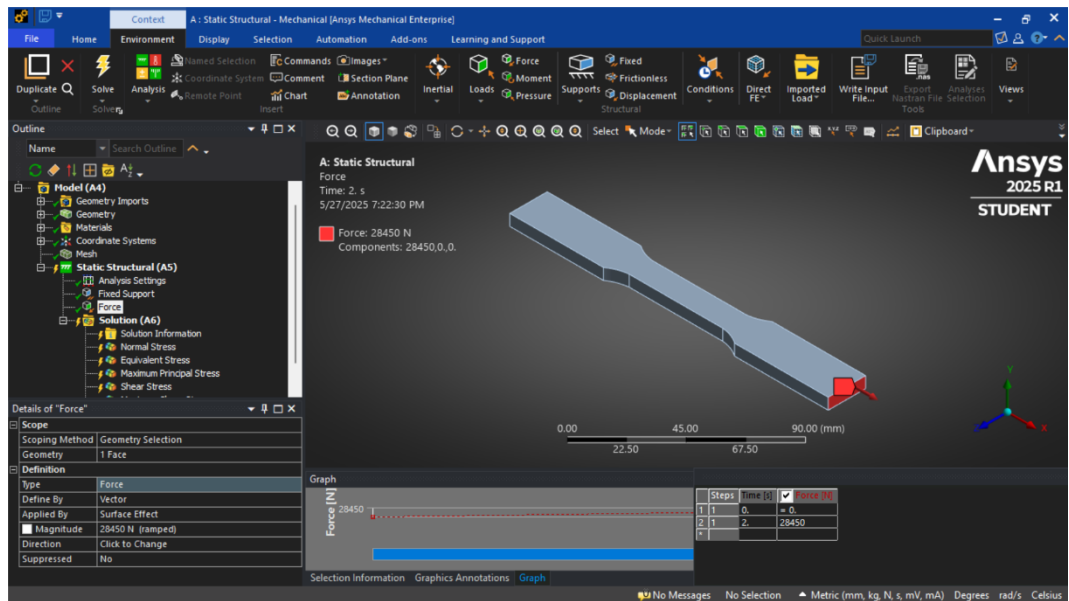
Gambar 29. Meshing



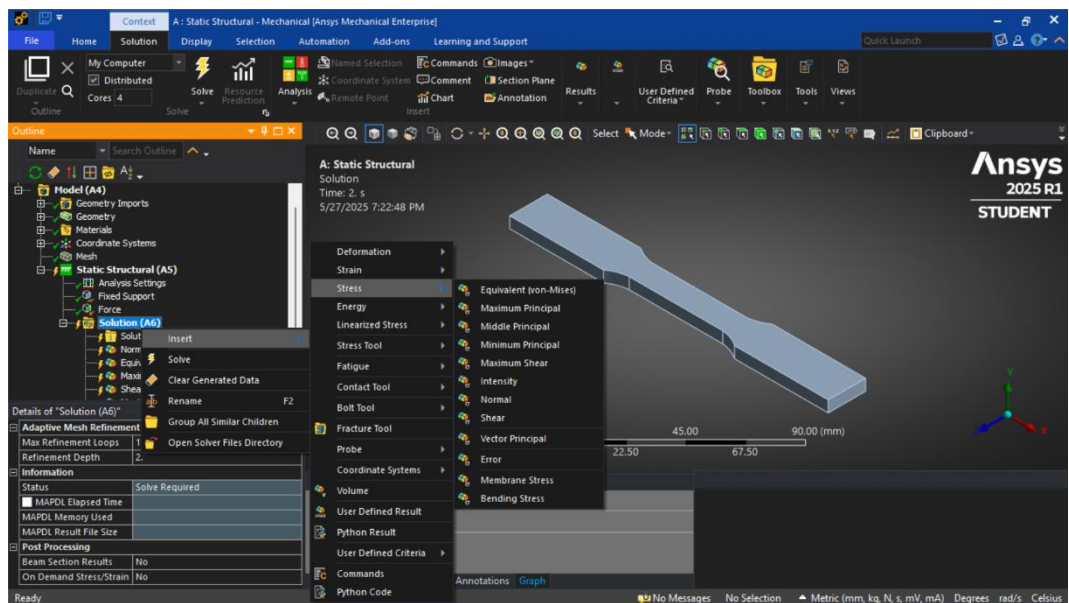
Gambar 31. *Analysis Setting*



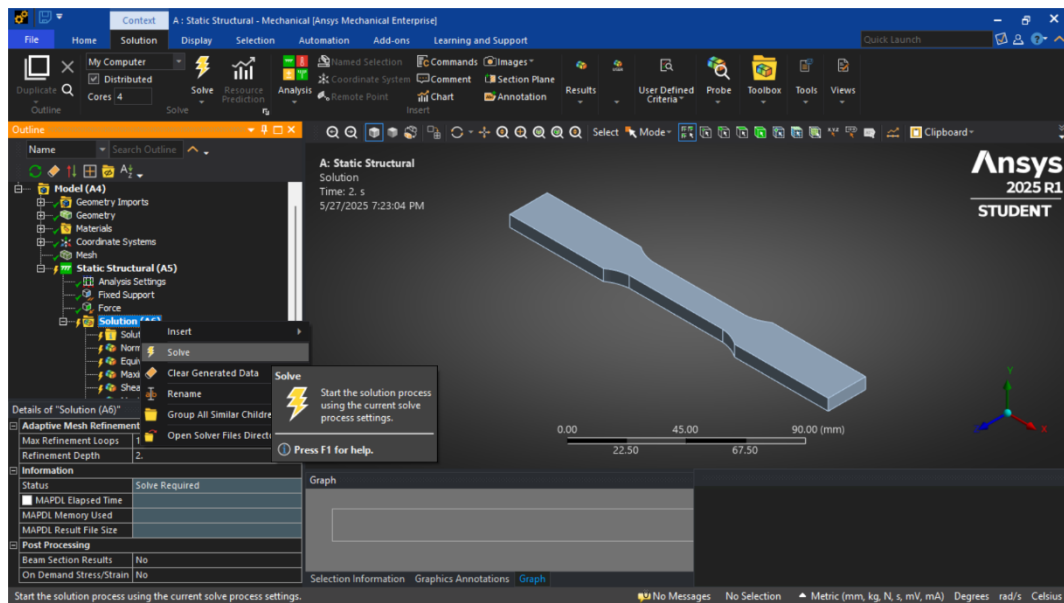
Gambar 30. *Fixed Support*



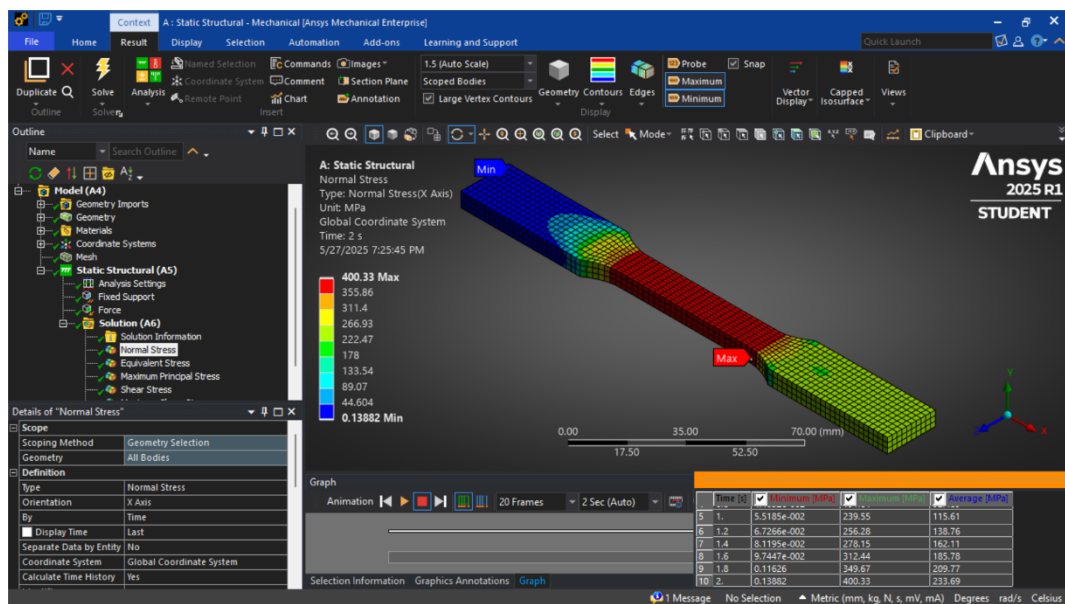
Gambar 33. Pemberian Beban Maximum Sesuai Arah Uji Tarik



Gambar 32. Pemilihan Nilai Hasil yang Ditentukan

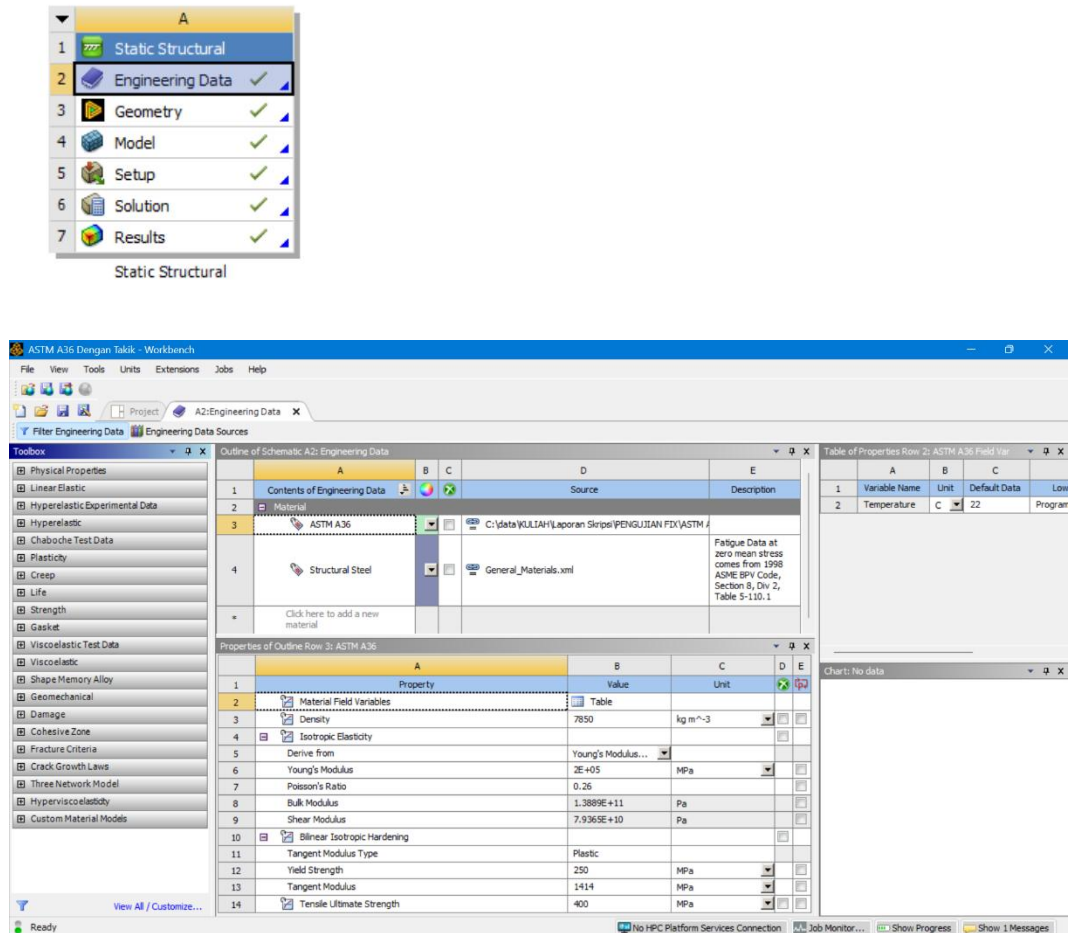


Gambar 34. Solving

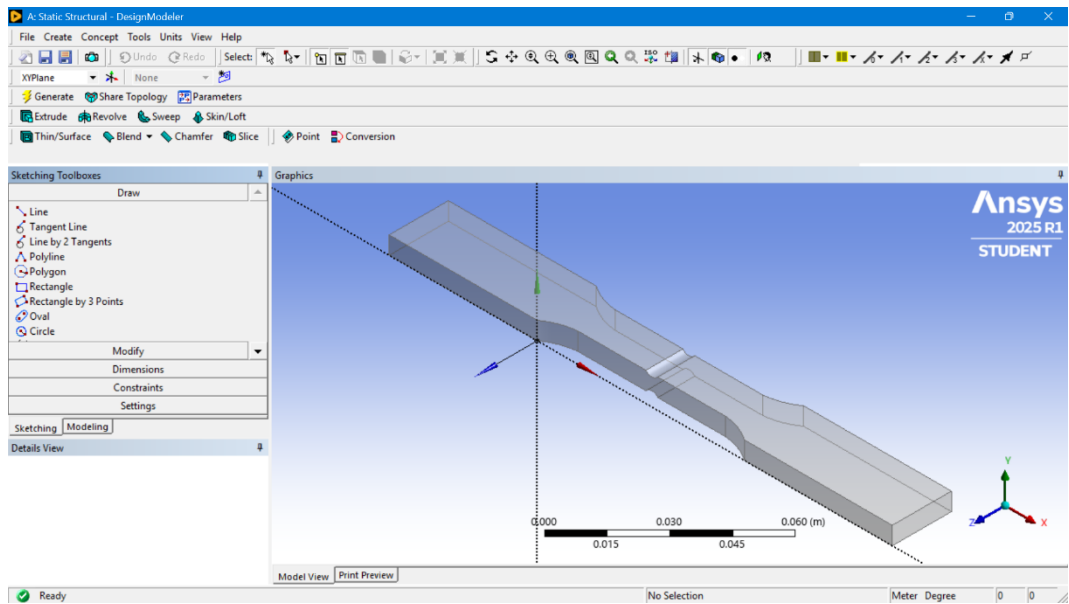
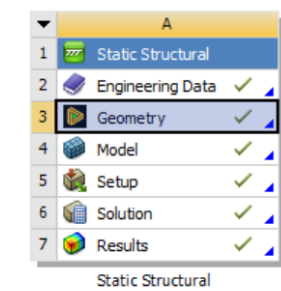


Gambar 35. Hasil Simulasi Uji Tarik

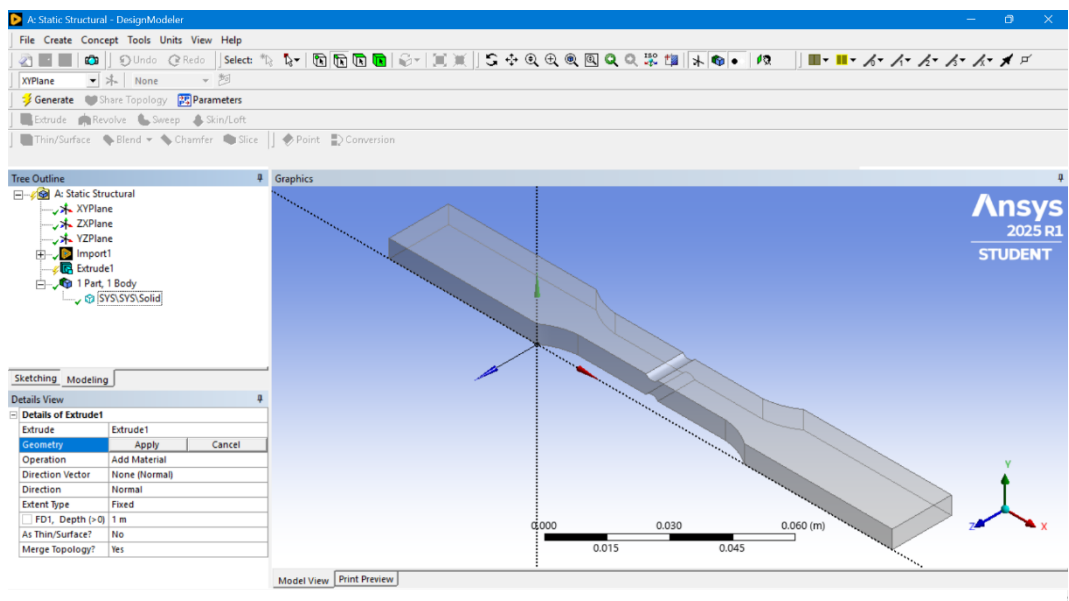
2. Simulasi Dengan Takik



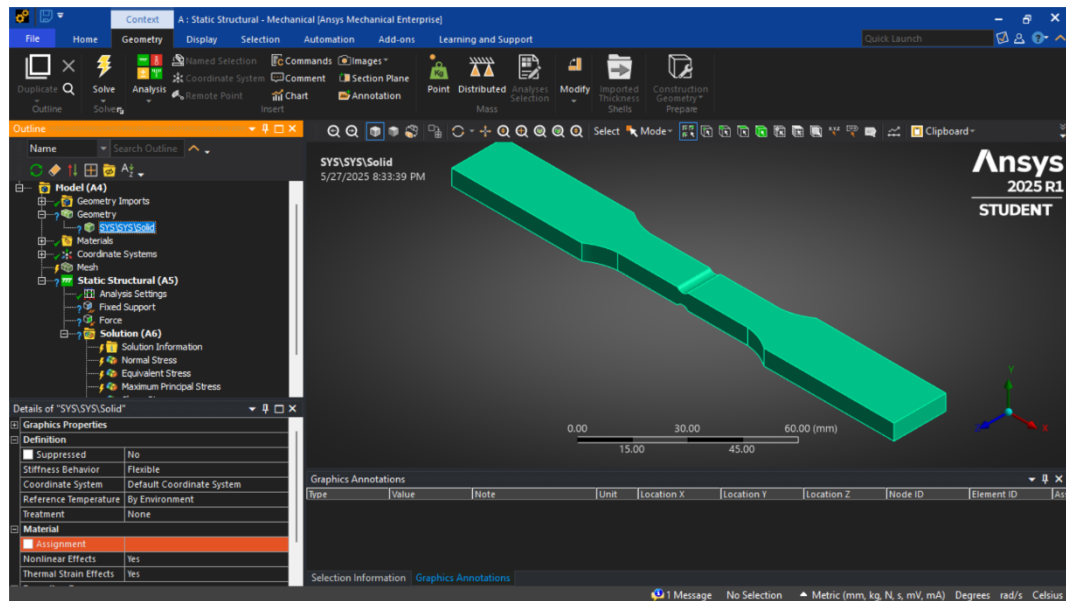
Gambar 36. Input Engineering Data



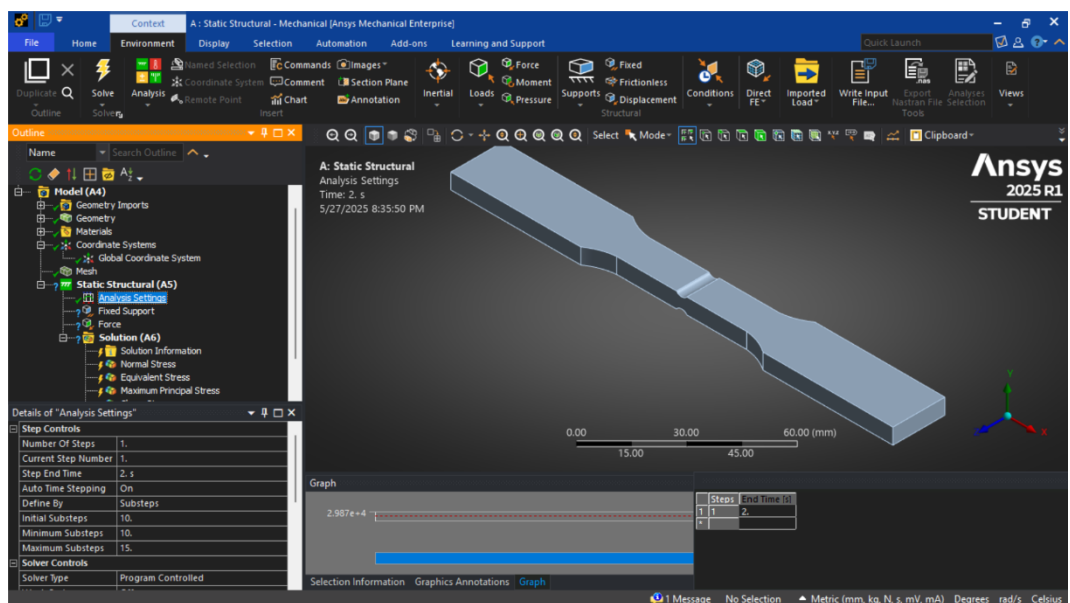
Gambar 37. Pembuatan Model Geometri



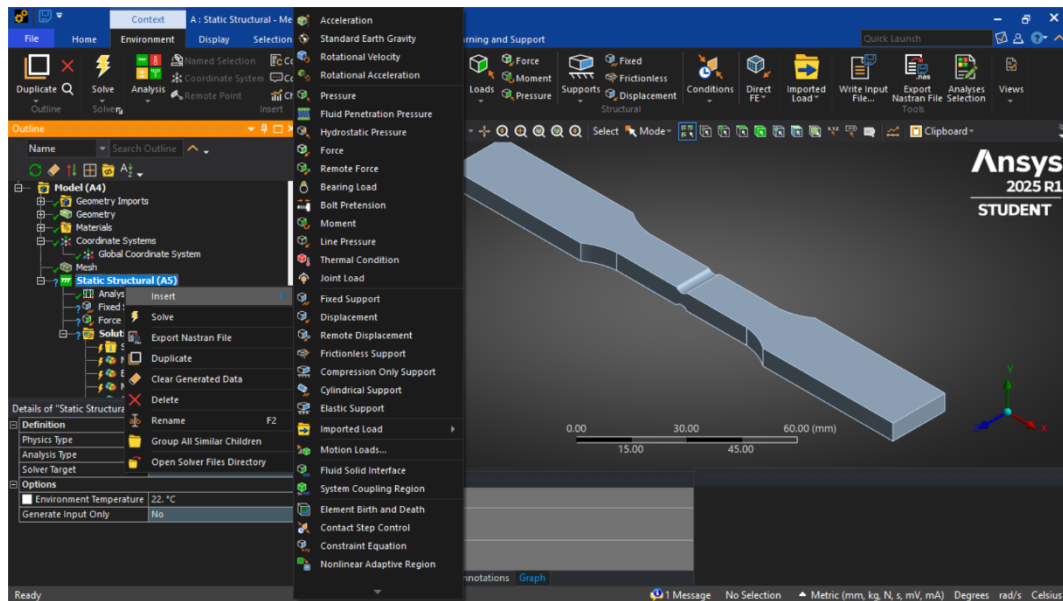
Gambar 38. Sketching Takik



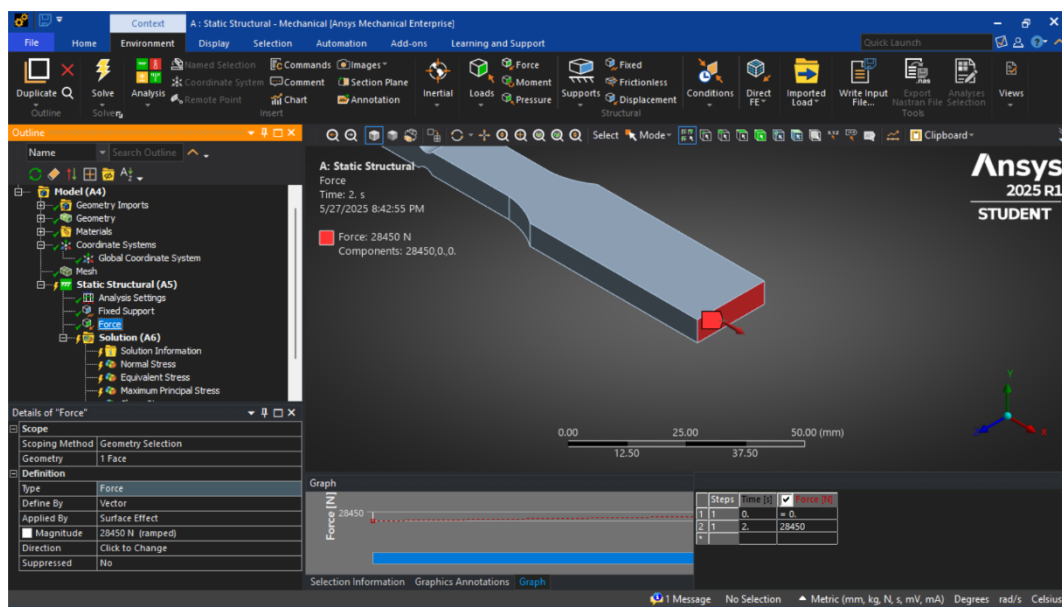
Gambar 39. Pemilihan Jenis Material



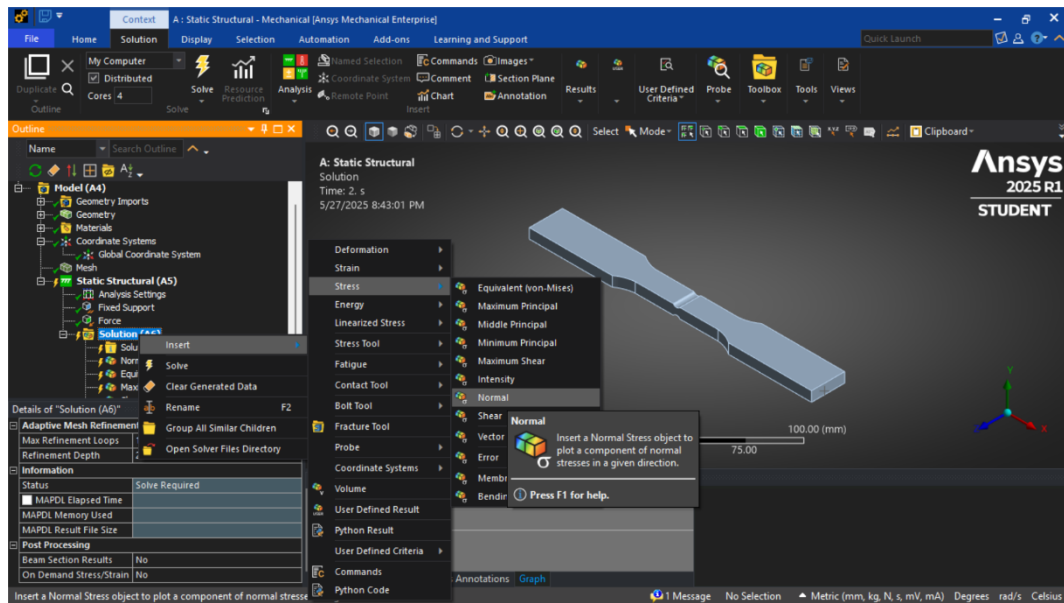
Gambar 40. Analysis Setting



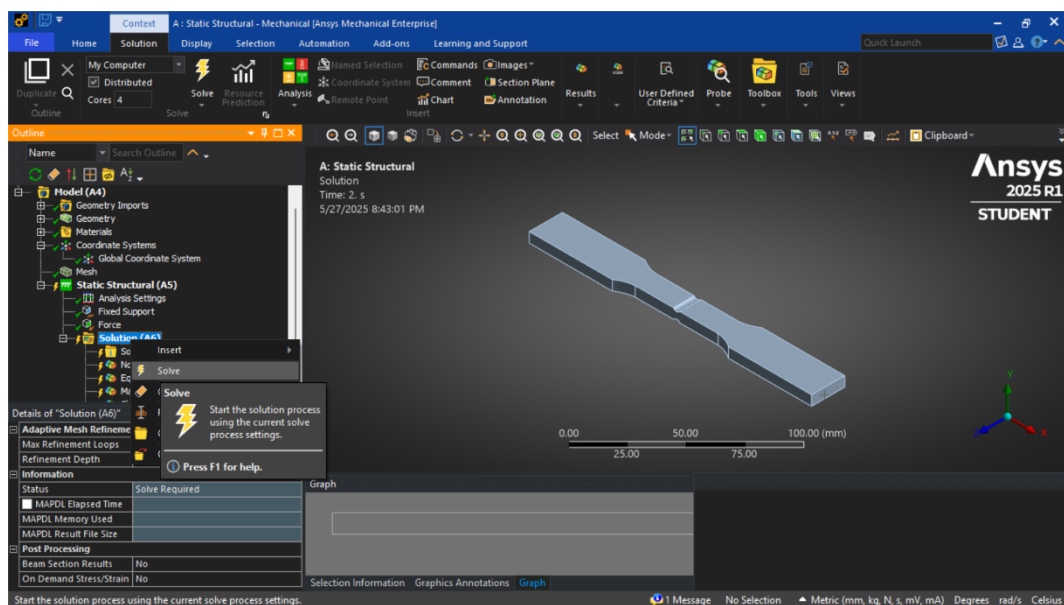
Gambar 41. Insert Fixed Support



Gambar 42. Pemberian Beban Maximum Pada Force

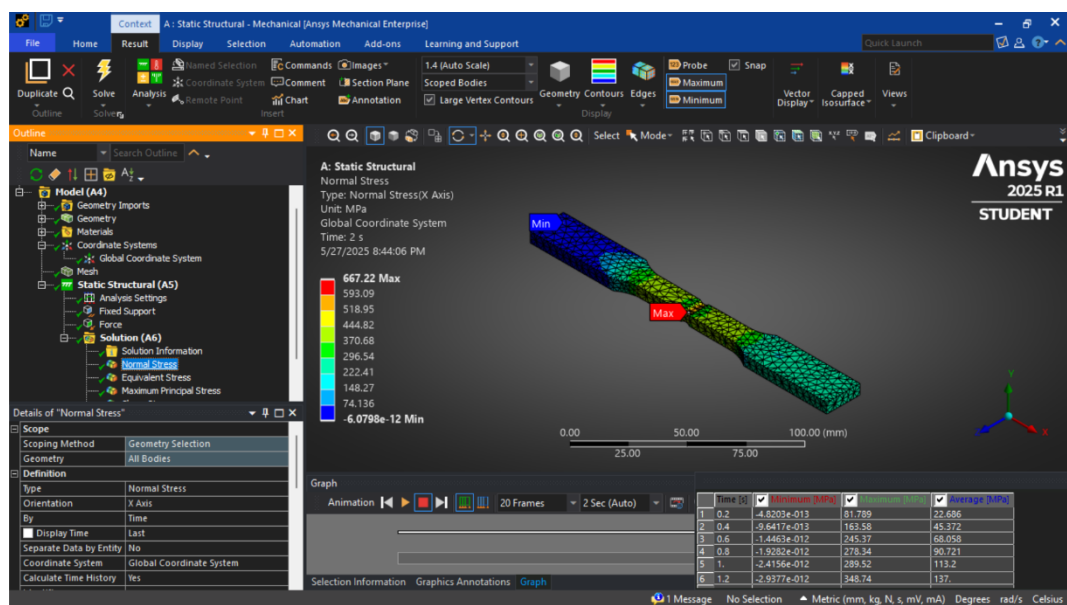


Gambar 43. Pemilihan Nilai Hasil Normal Stress



Gambar 44. Solving

Hasil akhir dari simulasi uji tarik menggunakan Ansys Workbench Student 2025 memberikan gambaran mengenai respons mekanik spesimen saat menerima beban tarik secara bertahap. Output utama yang dihasilkan meliputi kurva tegangan–regangan, distribusi tegangan von Mises, deformasi total, serta lokasi terjadinya konsentrasi tegangan. Informasi ini menjadi indikator penting dalam menilai ketahanan material terhadap pembebanan statis maupun kondisi kritis.



Gambar 45. Hasil Simulasi Uji Tarik