



EVALUASI DESAIN DAN KINERJA ALAT VACUUM TEST SEBAGAI METODE NON-DESTRUCTIVE TESTING (NDT) PADA SAMBUNGAN LAS

M. Alessandro Brilliant¹, Ilham Arifin Pahlawan², Aufa Ulin Nuha³

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
e-mail: e-mail: ¹ alessandro.brilliant@umg.ac.id , ² ilhamarifin@umg.ac.id

Abstrak

Pembahasan difokuskan pada proses perakitan dan pengujian alat Vacuum Test sebagai salah satu metode Non-Destructive Test (NDT) untuk mendeteksi kebocoran pada sambungan las. Kegiatan dilaksanakan di PT. Kintomo Engineering Group, Gresik, dengan tujuan memahami prinsip kerja, prosedur perakitan, serta efektivitas alat Vacuum Test dalam aplikasi industri. Metode yang diterapkan meliputi observasi langsung, partisipasi dalam kegiatan teknis, serta analisis simulasi menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat Vacuum Test mampu mencapai tekanan hingga 50–100 mbar dan berfungsi dengan baik dalam mendeteksi cacat berupa porositas atau retakan mikro pada sambungan las. Hasil simulasi memperlihatkan tegangan maksimum sebesar 0,613 MPa dengan faktor keamanan 15, yang menunjukkan bahwa alat aman digunakan secara berulang. Berdasarkan hasil tersebut, metode Vacuum Test terbukti efektif sebagai alat bantu inspeksi visual untuk mendeteksi kebocoran tanpa merusak struktur material.

Kata kunci— Deteksi Kebocoran; Non-Destructive Testing (NDT); Perakitan; Simulasi Struktur; Vacuum Test

Abstract

The discussion focuses on the assembly and testing process of a Vacuum Test device as one of the Non-Destructive Testing (NDT) methods for detecting leakage in welded joints. The activities were conducted at PT. Kintomo Engineering Group, Gresik, with the objective of understanding the working principles, assembly procedures, and effectiveness of the Vacuum Test device in industrial applications. The methods applied included direct observation, participation in technical activities, and simulation analysis using Autodesk Inventor software. The test results indicate that the Vacuum Test device is capable of achieving vacuum pressures of 50–100 mbar and performs effectively in detecting defects such as porosity and micro-cracks in welded joints. Simulation results show a maximum stress of 0.613 MPa with a safety factor of 15, indicating that the device is structurally safe for repeated use. Based on these findings, the Vacuum Test method is proven to be an effective visual inspection tool for detecting leakage without causing damage to the material structure.

Keywords— Assembly; Leakage Detection; Non-Destructive Testing (NDT); Structural Simulation; Vacuum Test

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur, konstruksi, dan energi di Indonesia meningkatkan kebutuhan akan proses inspeksi teknik yang mampu menjamin keselamatan, kualitas, dan keandalan komponen. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, industri memerlukan metode evaluasi yang tidak merusak material, sehingga *Non-Destructive Testing* (NDT) menjadi aspek penting dalam pengendalian mutu. Metode NDT memungkinkan penilaian kondisi material tanpa menimbulkan kerusakan, sehingga banyak diterapkan pada sektor minyak dan gas, petrokimia, perkapalan, dan konstruksi baja guna meminimalkan potensi kegagalan struktural serta risiko kecelakaan kerja [1][2].

Received 20 November 2025; Received in revised form 20 Desember 2025; Accepted 26 Desember 2025

Available online 29 Desember 2025

<https://doi.org/https://journal.umg.ac.id/index.php/enigma/index>

© 2025 OJS UMG. All rights reserved

Salah satu metode NDT yang umum digunakan untuk memeriksa integritas sambungan las adalah *Vacuum Box Testing* atau *Vacuum Test*, yang bekerja berdasarkan prinsip tekanan diferensial. Metode ini dilakukan dengan mengaplikasikan larutan pembentuk gelembung pada permukaan sambungan las, kemudian menutup area tersebut menggunakan *vacuum box* untuk menciptakan tekanan negatif. Keberadaan cacat seperti porositas, retakan, atau *pinhole* akan ditandai dengan munculnya gelembung udara yang dapat diamati secara visual. Metode ini direkomendasikan dalam standar internasional seperti ASME Section V Article 10 dan API 650 karena prosesnya yang cepat, aman, dan efektif untuk pengujian kebocoran pada struktur bertekanan rendah [3][4][5].

PT. Kintomo Engineering Group merupakan perusahaan yang bergerak di bidang jasa teknik, inspeksi, dan pengujian NDT, serta menyediakan lingkungan praktik untuk mempelajari penerapan metode *Vacuum Test* secara langsung [6]. Meskipun demikian, peralatan *Vacuum Test* yang digunakan di lapangan masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain kekuatan struktur *vacuum box* yang belum optimal, potensi kebocoran pada komponen penyekat, serta belum adanya kajian numerik untuk memvalidasi ketahanan struktur terhadap tekanan negatif. Oleh karena itu, kegiatan ini difokuskan pada perancangan, perakitan, dan pengujian alat *Vacuum Test* yang memenuhi standar industri, disertai analisis kekuatan desain menggunakan simulasi numerik berbasis Autodesk Inventor guna memastikan keandalan dan keamanan alat selama proses pengujian.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif–deskriptif yang berfokus pada proses perancangan, perakitan, pengujian performa, serta evaluasi struktur alat *Vacuum Test* melalui simulasi numerik. Metode penelitian dilaksanakan melalui tahapan berikut.

2.1 Tahapan Persiapan dan Studi Literatur

Tahap awal dilakukan dengan mengkaji teori dasar sistem vakum, hukum tekanan diferensial, serta metode *Vacuum Test* sebagai bagian dari Non-Destructive Testing (NDT). Literatur diambil dari standar ASME dan ASTM serta penelitian terkait uji kebocoran. Selain itu, dikumpulkan data teknis komponen seperti pompa vakum, *vacuum gauge*, selang fleksibel, material Acrylic, dan Aluminium 6061 yang digunakan sebagai bahan utama *vacuum box*.

2.2 Perancangan dan Perakitan Alat

Perancangan dilakukan menggunakan Autodesk Inventor untuk menentukan dimensi, ketebalan, dan konfigurasi komponen utama yang meliputi *vacuum box*, jendela observasi (acrylic), jalur vakum, cover plate, dan O-ring. Setelah rancangan tervalidasi secara visual, dilakukan perakitan komponen menjadi satu sistem tertutup. Fokus utama dalam perakitan adalah memastikan kebersihan permukaan flange, ketepatan posisi O-ring, serta tidak terdapat celah yang berpotensi menyebabkan kebocoran.

2.3 Pengujian Fungsional dan Kalibrasi Tekanan

Pengujian dilakukan untuk memastikan alat dapat mencapai tekanan kerja sesuai spesifikasi. Pompa dijalankan dan tekanan dipantau menggunakan *vacuum gauge*. Pengukuran dilakukan pada beberapa kondisi:

1. Uji kebocoran awal, untuk mengetahui kestabilan tekanan selama 10 menit.
2. Uji permukaan datar, untuk memastikan alat bekerja baik tanpa sambungan las.
3. Uji sambungan las, dengan mengamati munculnya gelembung pada permukaan yang diberi cairan sabun.

Tekanan target dalam pengujian berkisar antara -50 hingga -80 kPa. Kebocoran diidentifikasi dari fluktuasi tekanan atau munculnya gelembung udara pada area las.

2.4 Analisa Perhitungan Teknis

Untuk memastikan alat aman digunakan pada tekanan kerja, dilakukan serangkaian perhitungan meliputi tekanan diferensial, kapasitas pompa, dan analisis kekuatan material.

2.4.1 Perhitungan Tekanan Vakum

Tekanan diferensial pada sistem vacuum test dihitung menggunakan Persamaan (1) [7].

$$P_v = P_{atm} - P_{abs} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan tekanan atmosfer 101,3 kPa dan tekanan vakum operasi 5–10 kPa, diperoleh:

$$P_d = 91,3 \text{ kPa}$$

2.4.2 Perhitungan Kapasitas Pompa Vakum

Kapasitas pompa vakum dihitung untuk memastikan waktu pencapaian tekanan kerja sesuai kebutuhan operasional, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2) [8].

$$Q = \frac{V}{T} \ln \left(\frac{P_i}{P_f} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Perhitungan menunjukkan bahwa pompa dapat mencapai tekanan 50–100 mbar dalam 20–30 detik, yang sesuai dengan hasil uji lapangan.

2.4.3 Analisis Ketebalan dan Tegangan Material

Tegangan akibat tekanan diferensial pada pelat vacuum box dihitung menggunakan Persamaan (3) [9].

$$\sigma = \frac{P_d \cdot A}{t} \dots \dots \dots (3)$$

Ketebalan dinding vacuum box berbentuk silinder dihitung untuk memastikan struktur mampu menahan tekanan diferensial tanpa mengalami kegagalan material. Perhitungan ketebalan minimum dilakukan menggunakan Persamaan (4) [10].

$$ts = \frac{P \cdot x \cdot r}{fE - 0,6P} \dots \dots \dots (4)$$

2.4 Simulasi dan Analisis Struktur

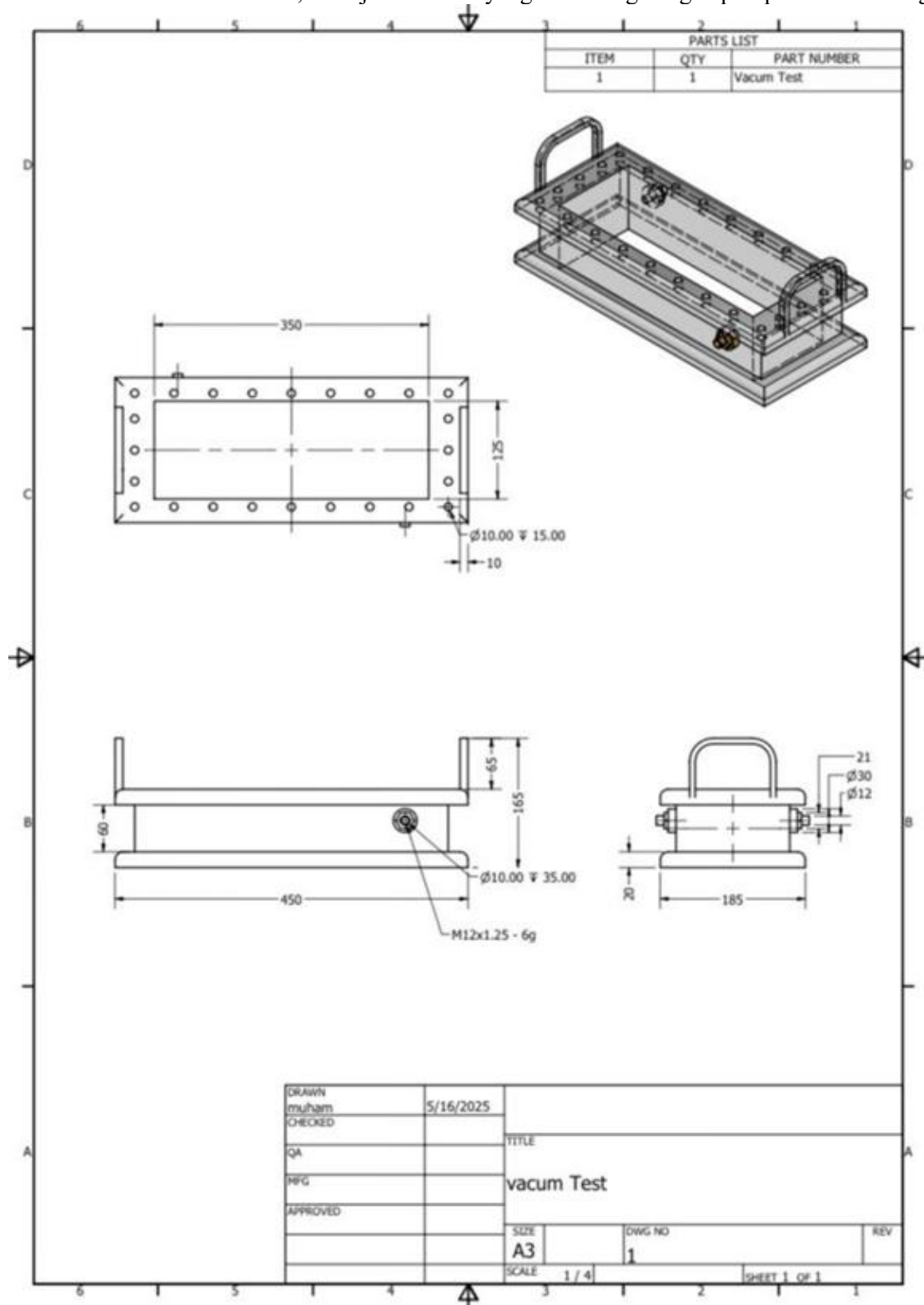
Analisis simulasi dilakukan dengan metode Finite Element Method (FEM) menggunakan Autodesk Inventor. Material yang digunakan adalah Aluminium 6061 dengan sifat mekanik: densitas 2,7 g/cm³, tegangan luluh 275 MPa, dan kekuatan tarik maksimum 310 MPa. Gaya beban diterapkan sebesar 0,008 MPa sesuai kondisi tekanan vakum di lapangan. Parameter yang dianalisis meliputi:

- Distribusi tegangan (Von Mises stress),
- Perpindahan total (displacement), dan
- Faktor keamanan (*safety factor*).

Hasil simulasi menjadi dasar evaluasi apakah desain alat aman digunakan secara berulang dalam kondisi kerja nyata.

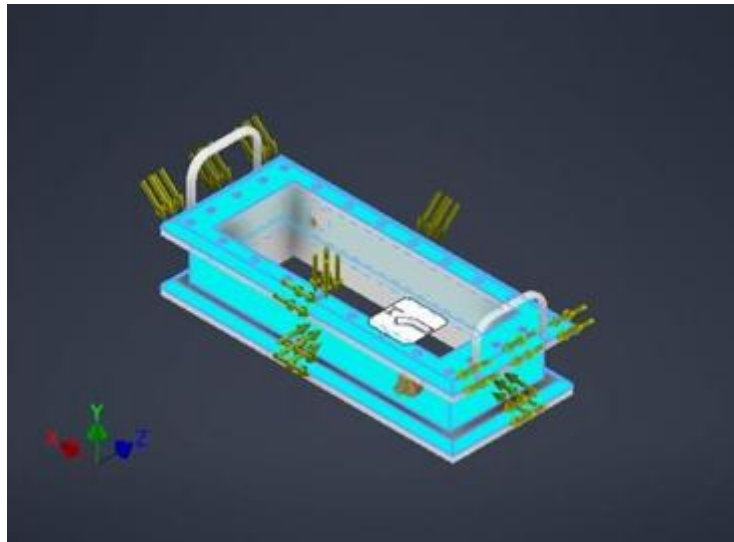
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain alat Vacuum Test hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 1. Alat terdiri dari vacuum box, cover plate, jendela observasi berbahan akrilik, serta jalur vakum yang terhubung dengan pompa dan vacuum gauge.



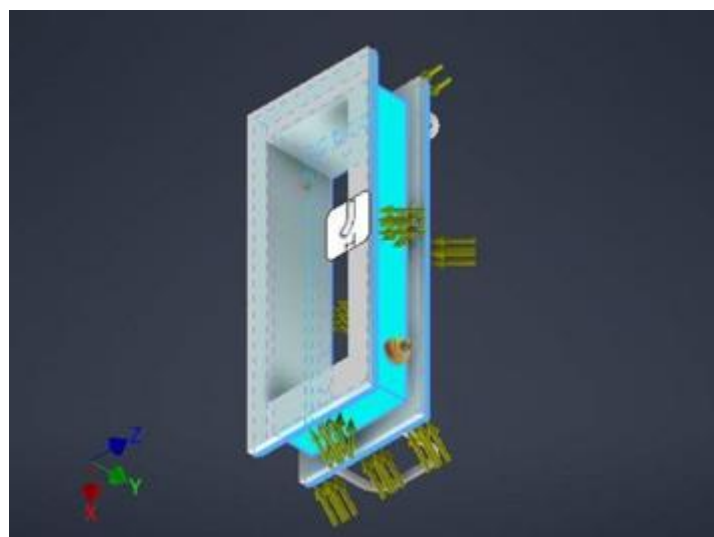
Gambar 1. Design Alat Vacum

Hasil perakitan menunjukkan alat mampu mencapai tekanan vakum hingga 50–100 mbar. Uji coba awal memperlihatkan adanya kebocoran minor yang berhasil diatasi dengan perbaikan pada *O-ring* dan sambungan *flange*. Pengujian pada plat datar menunjukkan kondisi kedap udara, sedangkan pada plat hasil las ditemukan gelembung udara kecil di beberapa titik, menandakan adanya porositas. Analisis simulasi menggunakan material Aluminium 6061 menunjukkan tegangan maksimum sebesar 0,613 MPa, jauh di bawah batas luluh material 275 MPa. Deformasi maksimum tercatat hanya 0,0019 mm dengan faktor keamanan mencapai 15. Hasil ini menunjukkan bahwa desain alat memiliki kekuatan dan stabilitas yang tinggi. Visualisasi hasil pemodelan tiga dimensi alat Vacuum Test ditunjukkan pada Gambar 2. Model isometrik ini menggambarkan konfigurasi keseluruhan komponen utama, meliputi vacuum box, cover plate, jendela observasi, jalur vakum, serta sistem pengikat. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor sebagai dasar analisis struktur dan simulasi numerik.



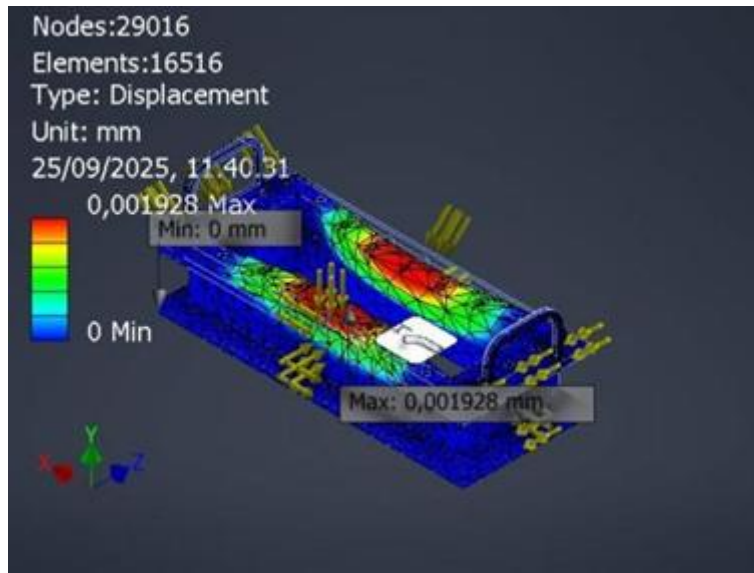
Gambar 2. Visualisasi Isometrik Hasil Pemodelan Alat Vacum Test

Penerapan kondisi batas (*boundary condition*) pada model simulasi ditunjukkan pada Gambar 3. Tampak samping digunakan untuk memperjelas lokasi pengekangan (*fixed constraint*) yang diterapkan pada bagian dasar vacuum box, sesuai dengan kondisi aktual saat alat digunakan pada permukaan uji.

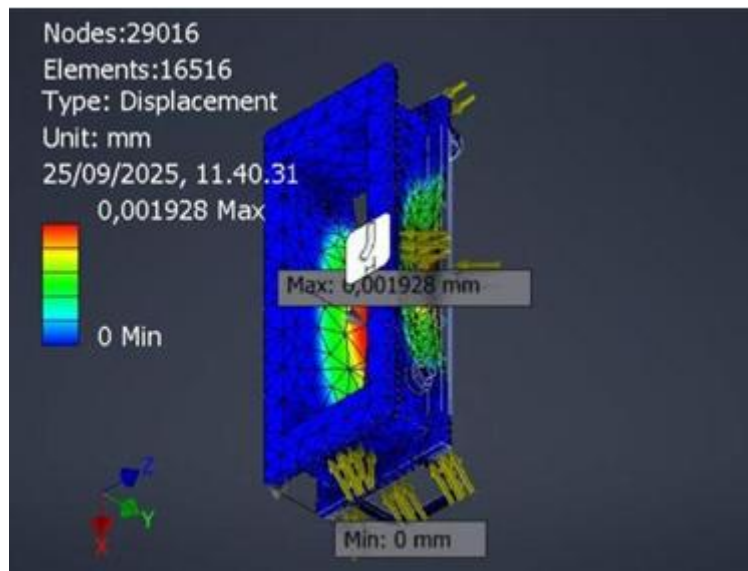


Gambar 3. Visualisasi Tampak Samping Dengan Penerapan Fixed Constraint

Hasil simulasi perpindahan (*displacement*) ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5, yang masing-masing memperlihatkan tampilan isometrik dan tampak samping distribusi perpindahan. Dari hasil tersebut dapat diamati bahwa perpindahan maksimum terjadi pada area tertentu yang memiliki bentang paling panjang dan tidak langsung terikat oleh *constraint*. Nilai perpindahan maksimum yang relatif kecil menunjukkan bahwa struktur alat masih berada dalam batas deformasi yang aman dan tidak mengganggu fungsi operasional alat.

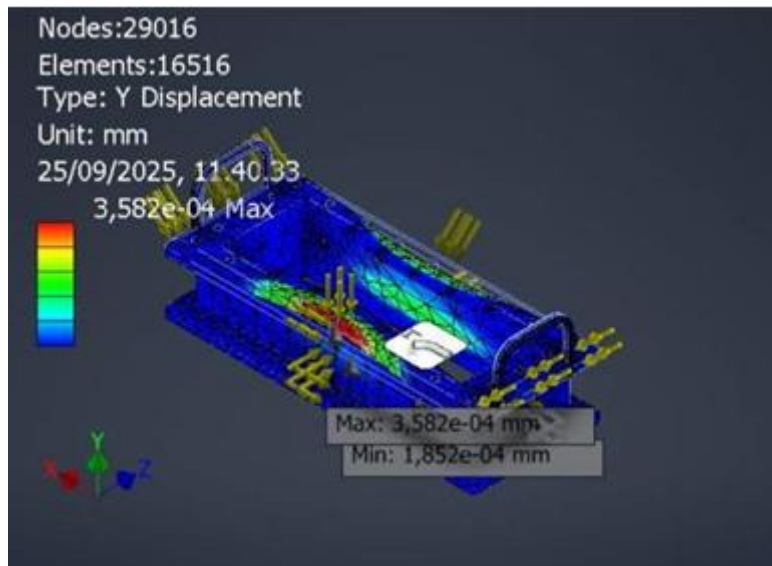


Gambar 4. Tampilan Isometrik Distribusi Perpindahan (Displacement)



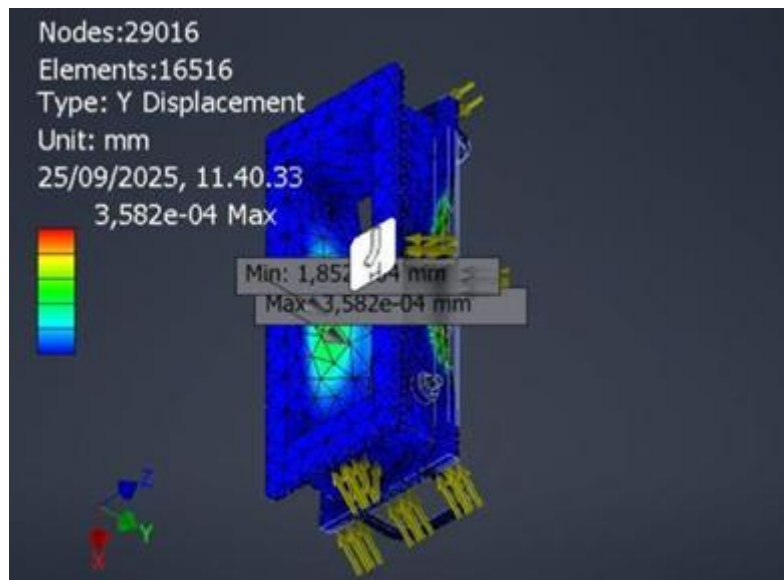
Gambar 5. Tampilan Samping Distribusi Perpindahan (Displacement)

Gambar 6 dibawah ini menunjukkan distribusi perpindahan arah sumbu Y (*Y Displacement*) secara isometrik pada alat *Vacuum Test*. Perpindahan maksimum tercatat sebesar $3,582 \times 10^{-4}$ mm, terjadi pada area yang tidak terikat *fixed constraint*, sedangkan bagian dasar menunjukkan perpindahan minimum.



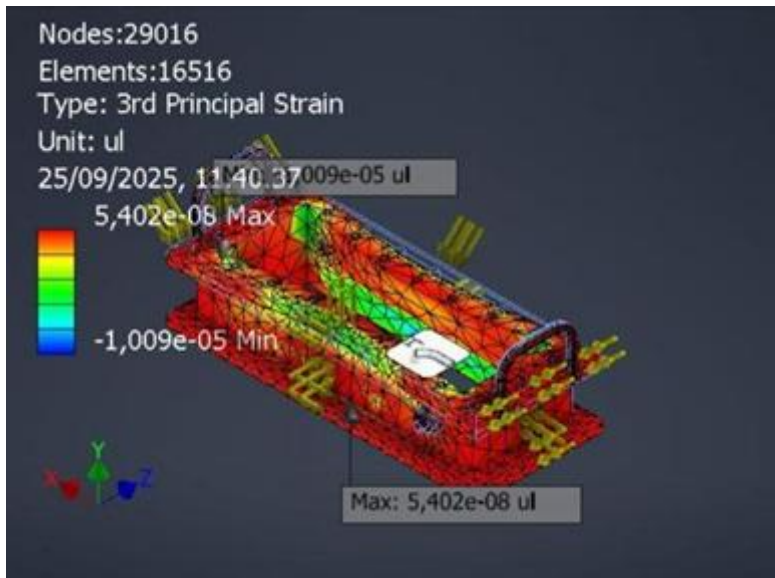
Gambar 6. Tampilan Isometrik Distribusi Perpindahan Arah-Y (*Y Displacement*)

Kemudian Gambar 7 menampilkan distribusi perpindahan arah sumbu Y (*Y Displacement*) dari tampak samping. Hasil simulasi menunjukkan deformasi yang relatif kecil dan merata, sehingga struktur dinyatakan stabil dan aman terhadap beban tekanan vakum.

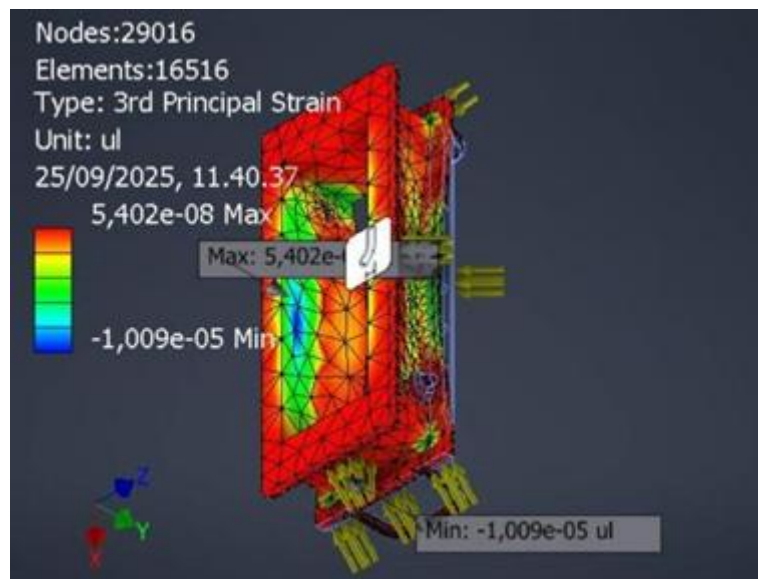


Gambar 7. Tampilan Samping Distribusi Perpindahan Arah-Y (*Y Displacement*)

Selanjutnya, distribusi regangan utama ketiga (*3rd principal strain*) ditampilkan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Hasil ini menunjukkan bahwa regangan maksimum terlokalisasi pada area sambungan dan sudut-sudut tertentu dari struktur, yang merupakan titik kritis akibat konsentrasi tegangan. Namun demikian, nilai regangan yang dihasilkan masih berada di bawah batas elastis material, sehingga tidak berpotensi menyebabkan deformasi permanen.



Gambar 8. Tampilan Isometrik Distribusi Regangan Utama Ketiga (3rd Principal Strain)



Gambar 9. Tampilan Samping Distribusi Regangan Utama Ketiga (3rd Principal Strain)

Secara keseluruhan, pembahasan dari praktik ini menunjukkan bahwa perakitan alat vacum di PT Kintomo Engineering Group telah berhasil dilakukan dengan tingkat keberhasilan yang cukup baik. Meski terdapat keterbatasan pada spesifikasi pompa yang tidak sepenuhnya mencapai nilai teoritis, alat ini tetap mampu mendeteksi cacat mikro secara visual pada sambungan las.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa alat *Vacuum Test (NDT)* hasil perakitan di PT. Kintomo Engineering Group berfungsi dengan baik untuk mendeteksi kebocoran mikro pada sambungan las. Setelah dilakukan penyempurnaan pada komponen penyegel dan sambungan, alat mampu mencapai tekanan stabil hingga 50–100 mbar dan menunjukkan hasil yang akurat pada pengujian lapangan. Hasil simulasi menggunakan Autodesk Inventor menunjukkan tegangan maksimum 0,613 MPa dengan faktor keamanan 15, sehingga alat dinyatakan aman dan kuat untuk penggunaan berulang. Dengan demikian, metode *Vacuum Test* terbukti efektif, ekonomis, dan mudah diterapkan sebagai bagian dari proses *Non-Destructive Testing* di industri teknik.

5. SARAN

Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dengan variasi jenis material dan kapasitas pompa vakum yang lebih besar untuk meningkatkan akurasi deteksi. Selain itu, desain *vacuum box* dapat dikembangkan menggunakan material yang memiliki ketahanan deformasi lebih tinggi untuk kondisi tekanan ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hellier, C. Handbook of Nondestructive Evaluation. McGraw-Hill, 2012.
- [2] ASNT. Nondestructive Testing Handbook, Vol. 1–10. American Society for Nondestructive Testing, 2020.
- [3] ASTM E515-17. Standard Test Method for Leakage Testing Using the Vacuum Method. ASTM International, 2017.
- [4] ASME BPVC Section V. Nondestructive Examination. American Society of Mechanical Engineers, 2021.
- [5] API 650. Welded Tanks for Oil Storage. American Petroleum Institute, 2020.
- [6] PT. Kintomo Engineering Group, 2024, Profil perusahaan dan layanan teknik, Gresik: PT. Kintomo Engineering Group
- [7] Doyan, A., dkk, 2024, Termodinamika, Litpam, Mataram.
- [8] Pfeifer, 2025, Dimensioning a vacuum booster pump units,
- [9] Wikipedia, 2025, Pressure Vessel,
- [10] Brownell & Young, 1959, Process Equipment Design, Mohinder Singh, India