

PERANCANGAN *STUFFING BOX* SEBAGAI KOMPONEN *ON-LINE LEAK SEALING* SAMBUNGAN PIPA Y 45° MENGGUNAKAN PROSES PERMESINAN *COMPUTER NUMERICAL CONTROL*

Muhamad Vallencia Rochim¹, Widya Emilia Primaningtyas^{1*}, Dhika Aditya Purnomo¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: widyaemilia@ppns.ac.id

Abstrak

Sistem perpipaan berperan vital dalam distribusi fluida di berbagai sektor industri. Namun, kebocoran pipa masih menjadi permasalahan umum yang dapat menimbulkan kerugian ekonomi, pencemaran lingkungan, dan risiko keselamatan kerja. Salah satu solusi efektif untuk mengatasi kebocoran tanpa menghentikan proses operasional adalah metode *on-line leak sealing* dengan memanfaatkan *compound sealant* dan *stuffing box*. Penelitian ini berfokus pada perancangan *stuffing box* untuk sambungan pipa tipe Y dengan sudut 45°, serta penyusunan langkah kerja untuk proses pembuatannya mulai dari tahapan persiapan permesinan, pemotongan material, hingga pembuatan program CNC. Perancangan dilakukan secara menyeluruh hingga menghasilkan gambar teknik detail yang dapat diimplementasikan di lapangan. Kerangka manajerial yang digunakan adalah metode *Double Diamond* dalam proses perancangan *stuffing box* sambungan pipa Y, meliputi tahap eksplorasi melalui studi literatur dan observasi (*discover*), perumusan kebutuhan desain (*define*), pembuatan model teknik 2D dan 3D (*develop*), serta penyusunan langkah kerja yang sistematis untuk mendukung implementasi yang efisien (*deliver*). Material utama yang digunakan adalah baja karbon ASTM A36, dipilih karena kemudahan pembentukan dan ketahanannya terhadap tekanan kerja. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan teknis dalam penerapan metode *on-line leak sealing* pada sambungan pipa Y, sekaligus meningkatkan efisiensi perbaikan kebocoran di industri.

Kata kunci: ASTM A36, desain, kebocoran pipa, *on-line leak sealing*, SOP, *stuffing box*

Abstract

Piping systems play a vital role in fluid distribution across various industrial sectors. However, pipe leakage remains a common issue that can lead to economic losses, environmental pollution, and occupational safety risks. One effective solution to address leakage without halting operational processes is the on-line leak sealing method, utilizing compound sealant and a stuffing box. This study focuses on designing a stuffing box for a Y-type pipe connection with a 45° angle, as well as developing a detailed workflow for its fabrication, covering preparation of machining processes, material cutting, and CNC programming. The design process is carried out comprehensively to produce detailed technical drawings that can be implemented in the field. The managerial framework employed is the Double Diamond method in designing the stuffing box for the Y-pipe connection, encompassing the exploration stage through literature studies and observation (discover), formulation of design requirements (define), development of 2D and 3D technical models (develop), and preparation of a systematic workflow to support efficient implementation (deliver). The main material used is ASTM A36 carbon steel, selected for its formability and resistance to working pressure. The results of this study are expected to serve as a technical reference for implementing the on-line leak sealing method in Y-pipe connections while improving leakage repair efficiency in the industry.

Keywords: ASTM A36, design, on-line leak sealing, pipe leakage, SOP, *stuffing box*.

PENDAHULUAN

Sistem perpipaan memiliki peran krusial dalam mendukung proses distribusi fluida di berbagai sektor industri, seperti minyak dan gas maupun pengolahan air limbah. Efisiensi dan keekonomisan menjadikan sistem ini sangat diandalkan, namun kebocoran pada pipa masih menjadi isu teknis yang kompleks (Adegboye et al., 2019). Kebocoran tidak hanya menimbulkan kerugian finansial dan gangguan operasional akibat terganggunya aliran fluida, tetapi juga berisiko terhadap keselamatan kerja dan lingkungan. Untuk menjawab tantangan ini, metode *on-line leak sealing* dikembangkan sebagai solusi yang memungkinkan perbaikan kebocoran tanpa perlu menghentikan operasi sistem perpipaan. Teknologi ini mengandalkan dua komponen utama: *compound sealant* sebagai penutup kebocoran yang mampu menahan tekanan fluida, dan *stuffing box* yang berfungsi mengarahkan serta membentuk *sealant* agar sesuai dengan kontur dan posisi titik kebocoran.

Penelitian ini difokuskan pada perancangan *stuffing box* yang optimal untuk mengatasi kebocoran pada sambungan pipa berbentuk Y dengan sudut 45°. Material baja karbon ASTM A36 dipilih karena kemudahan proses pembentukannya serta ketahanannya terhadap tekanan sistem perpipaan sebesar 3 bar yang masih di bawah *yield strength*. Selain menghasilkan rancangan teknis yang sesuai, penelitian ini juga menyusun langkah kerja sebagai panduan sistematis dalam proses pembuatan *stuffing box*. SOP ini diharapkan dapat memfasilitasi replikasi proses secara lebih mudah dan konsisten, baik dalam praktik perbaikan langsung di lapangan maupun pada skala produksi yang lebih luas.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) *On-Line Leak Sealing*

On-line leak sealing merupakan teknik penanggulangan kebocoran pipa dengan menggunakan *sealant* khusus tanpa menghentikan aliran fluida. Teknologi ini memungkinkan perbaikan kebocoran secara efisien tanpa mengganggu operasional sistem perpipaan. Metode ini dapat dilakukan dengan injeksi *sealant* atau penggunaan bantalan tahan aus di sekitar kebocoran pipa (Nusantara, 2023).

(B) *Stuffing Box*

Stuffing box adalah jenis *clamp* yang berfungsi untuk mengunci *sealant* yang digunakan dalam menutup kebocoran pada pipa. Desainnya bervariasi tergantung kebutuhan dan lokasi kebocoran. Dalam perancangan *stuffing box*, data dimensi pipa, jenis fluida, dan tekanan aliran fluida sangat diperlukan. Material dan desain *stuffing box* harus memiliki kekuatan efektif untuk menahan tekanan aliran fluida dan tekanan injeksi *sealant*, serta mencegah kebocoran *sealant* keluar.

(C) *Detail Engineering Drawing*

Detail Engineering Drawing atau gambar teknik adalah gambar yang mencakup kebutuhan detail dan penjelasan dari sebuah komponen. Gambar ini meliputi spesifikasi seperti dimensi, tampilan dari berbagai arah, standar proses fabrikasi atau *machining* dan toleransi (Paluppui & Rachman, 2023). Gambar teknik juga menjadi acuan dalam proses *modelling* 3D dan sering digunakan dalam produksi dengan mesin CNC.

(D) Machining

Machining adalah proses manufaktur yang menghilangkan material dari benda kerja menggunakan alat potong dengan tujuan memperoleh bentuk benda yang diinginkan (Abriyanto, 2016). Berbagai teknik seperti *turning* (bubut), *milling*, *drilling* (gurdi), dan *grinding*, proses ini dilakukan untuk mencapai geometri, dimensi, dan kekasaran permukaan yang diinginkan. Adapun mesin CNC (*Computer Numerical Control*) yang memungkinkan presisi tinggi dalam proses *machining* dilakukan dengan program yang dirancang menggunakan perangkat lunak CAD/CAM.

(E) Baja Karbon ASTM A36

Baja karbon ASTM A36 adalah baja struktural yang umum digunakan dalam konstruksi dan manufaktur. Baja ini memiliki kekuatan tarik 400-550 MPa dan kekuatan luluh minimum 250 MPa (Callister & Rethwisch, 1991). ASTM A36 mudah dibentuk, dapat digunakan dalam berbagai metode penyambungan, dan sering digunakan untuk bagian luar seperti *casing* atau *housing* pada *stuffing box* karena kemampuannya menampung dan melindungi *sealant*.

(F) Metode Double Diamond

Metode *Double Diamond* adalah pendekatan desain *thinking* yang digunakan untuk menghasilkan solusi inovatif (Jauhari & Prayudi, 2023). Dalam penelitian ini metode *Double Diamond* digunakan sebagai kerangka manajerial perancangan *stuffing box*. Metode ini terdiri dari empat tahap utama: *Discover*, *Define*, *Develop*, dan *Deliver*.

- (1) *Discover*: Tahap awal untuk memahami permasalahan utama, termasuk analisis lingkungan operasional *stuffing box* dan data kebocoran.
- (2) *Define*: Mengolah data dari tahap *discover* menjadi masalah yang jelas dan spesifikasi kebutuhan desain *stuffing box*.
- (3) *Develop*: Eksplorasi desain, pengumpulan ide rancangan, dan implementasi serta analisis rancangan *stuffing box*.
- (4) *Deliver*: Implementasi solusi yang disempurnakan, pengujian akhir, dan penyesuaian langkah kerja pembuatan.

METODE

Penelitian ini akan mengikuti tahapan metode *Double Diamond*, yang digambarkan sesuai kerangka manajerial dari metode *Double Diamond*.

(A) Observasi Lapangan

Tahap awal pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan secara menyeluruh, merumuskan tujuan yang ingin dicapai, serta menentukan arah pendekatan dan metode yang akan digunakan. Pada tahap ini pula, ditetapkan batasan-batasan yang relevan agar fokus penelitian tetap terjaga dan sesuai dengan ruang lingkup permasalahan yang dikaji.

(B) Discover

Tahap *discover* bertujuan untuk memahami permasalahan utama, termasuk analisis lingkungan operasional *stuffing box*. Ini melibatkan studi literatur mendalam

mengenai perancangan *stuffing box* untuk mengatasi kebocoran sambungan pipa Y 45° dengan metode *on-line leak sealing*. Studi akan mencakup prinsip kerja *stuffing box*, mekanisme *on-line leak sealing*, dan langkah kerja pembuatannya. Standar desain seperti ASME B31.1 akan dikaji untuk memastikan kesesuaian dimensi dan material.

(C) *Define*

Pada tahap *define*, data yang diperoleh dari tahap *discover* akan diolah dan dirumuskan menjadi masalah yang jelas serta spesifikasi kebutuhan. Ini mencakup penyempitan data dan informasi mengenai jenis sambungan, dimensi, lokasi kebocoran pipa, jenis fluida, dan tekanan fluida. Penentuan spesifikasi data akan melibatkan pengukuran dimensi pipa secara langsung di lapangan menggunakan mikrometer dan *vernier caliper*, serta pencatatan riwayat kebocoran untuk mengidentifikasi pola dan penyebabnya. Analisis data akan dilakukan dengan mengorganisasi, menyusun, dan mengevaluasi konsistensi data dengan standar industri yang relevan, guna menentukan kebutuhan modifikasi desain dan toleransi dimensi.

(D) *Develop*

Tahap *develop* akan berfokus pada eksplorasi desain untuk menemukan solusi yang paling efektif.

- (1) *Drafting* Pipa yang Mengalami Kebocoran: Pengumpulan data visual dari pengukuran dimensi pipa dan penandaan lokasi kebocoran akan dilakukan. Sketsa manual akan dibuat sebagai dasar untuk model digital 2D dan 3D menggunakan perangkat lunak CAD seperti AutoCAD atau Fusion 360.
- (2) *Modelling* 2D dan 3D *Stuffing Box*: Berdasarkan data dimensi dan spesifikasi, gambar 2D akan dibuat menggunakan program CAD, mencakup dimensi keseluruhan, lokasi *stuffing box*, posisi sambungan dengan pipa, dan toleransi dimensi.

Selanjutnya, model 3D akan dibuat menggunakan perangkat lunak seperti SolidWorks atau Fusion 360 untuk representasi visual yang lebih realistis dan analisis mekanis. Model 2D dan 3D akan divalidasi untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi dan kemudahan produksi.

(E) *Deliver*

Tahap *deliver* mencakup implementasi solusi yang telah disempurnakan dan penentuan langkah kerja untuk efektivitas pembuatan dan pemasangan komponen *stuffing box*.

- (1) Penentuan Langkah Kerja Pembuatan

Penentuan langkah kerja untuk pembuatan *stuffing box* pada sambungan pipa Y 45° akan mencakup proses fabrikasi yang sistematis.

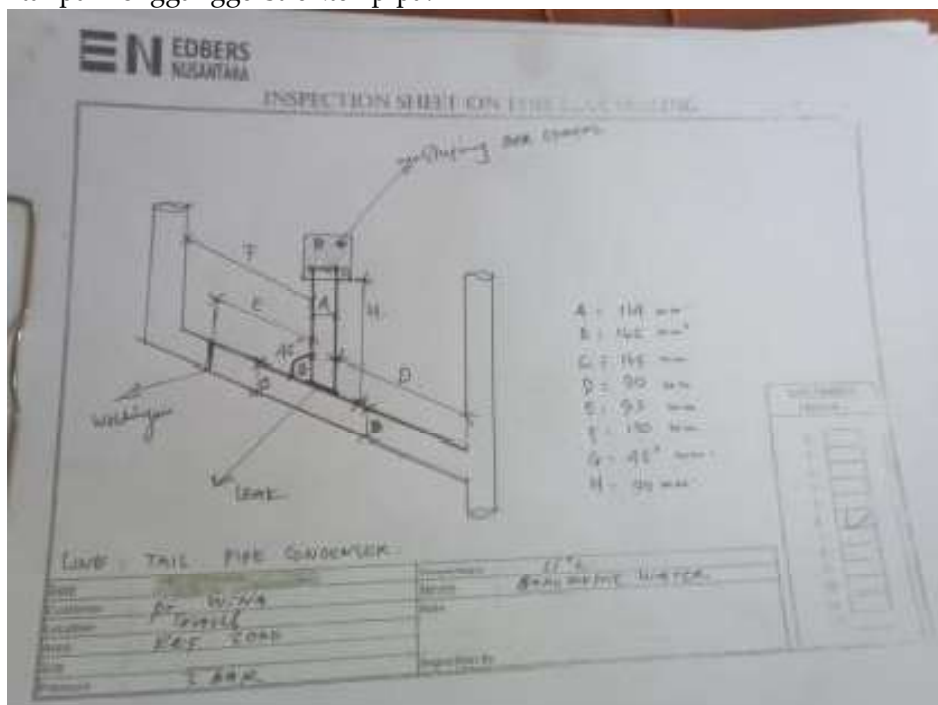
- a. Pembuatan: Dimulai dengan pemilihan bahan baku (baja karbon ASTM A36) dan pemeriksaan kualitasnya. Proses *machining* menggunakan mesin CNC akan dilakukan untuk membentuk dimensi presisi *stuffing box* termasuk alur *compound*, lubang untuk *joint*, dan lubang adaptor injeksi. Komponen akan dirakit untuk memastikan kesesuaian dan dilapisi anti-karat.

- b. Pemasangan: Proses dimulai dengan menyiapkan lokasi kerja dan peralatan (seperti *sealant compound*, *hydraulic injection gun*, dan kunci torsi). Sambungan pipa akan diperiksa untuk memastikan tidak ada kerusakan. Setelah *stuffing box* disesuaikan dengan pipa, baut akan dikencangkan dengan torsi tertentu. *Compound sealant* akan dimasukkan secara merata ke dalam alur melalui adaptor *injection gun* untuk memastikan proses *sealing* yang optimal. Dokumentasi lengkap dari proses fabrikasi, pemasangan, dan pengecekan kebocoran *stuffing box*, akan disusun dalam laporan teknis. Langkah kerja ini bertujuan untuk memastikan konsistensi dan keandalan dalam mencegah kebocoran pada sambungan pipa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

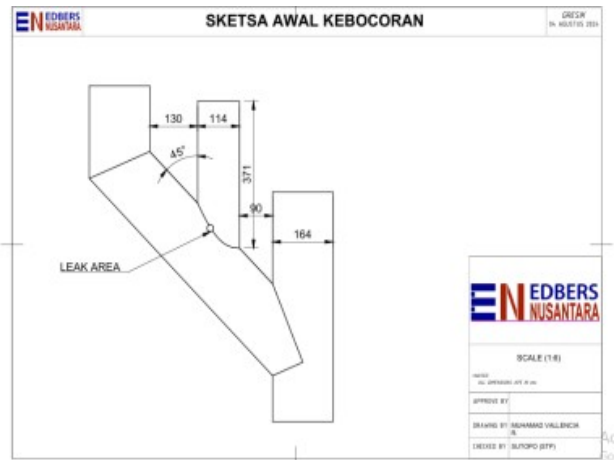
Langkah pertama dalam proses perancangan dilakukan dengan meninjau langsung kondisi sistem perpipaan yang mengalami kebocoran. Dari hasil inspeksi di lapangan, ditemukan bahwa kebocoran terjadi pada sambungan las pipa berbentuk Y dengan sudut kemiringan sekitar 45° . Pipa utama memiliki diameter luar sebesar 165 mm, sedangkan pipa cabangnya berdiameter luar 114 mm. Sistem ini membawa fluida berupa air dengan tekanan operasi sekitar 3 bar dan suhu sekitar 15°C .

Informasi tersebut menjadi dasar penting dalam menentukan ukuran *stuffing box* yang akan dirancang. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa lebar *stuffing box* ideal adalah 302 mm, sedangkan tingginya mencapai 405 mm. Ukuran ini telah mempertimbangkan panjang sambungan, ruang untuk jalur *sealant*, serta toleransi pemasangan baut. Dengan dimensi ini, komponen yang dirancang diharapkan mampu menutupi area kebocoran dengan baik dan mendukung proses injeksi *sealant* secara aman tanpa mengganggu struktur pipa.



Gambar 1. Inspection Sheet On-Line Leak Sealing

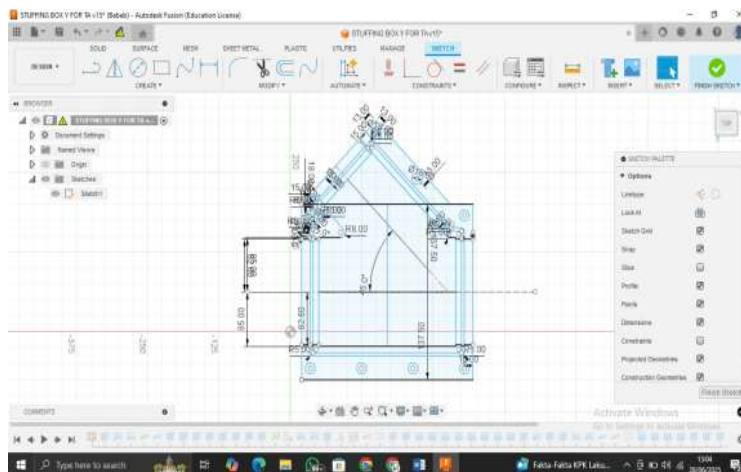
Selanjutnya, agar proses perakitan dan pemasangan dapat berjalan lancar, diperlukan gambaran visual yang akurat terhadap bentuk dan posisi kebocoran. Visualisasi ini dilakukan mulai dari sketsa 2D yang menggambarkan struktur sambungan secara sederhana, hingga pengembangan model 3D yang lebih detail untuk menyesuaikan bentuk *stuffing box* dengan kontur nyata sambungan pipa yang sesuai hasil inspeksi pada Gambar 2.



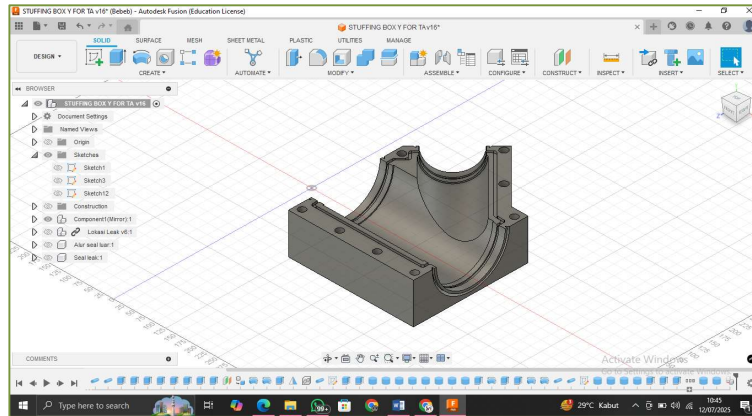
Gambar 2. Sketsa Lokasi *Leak*



Gambar 3. *Modelling 3D Lokasi Leak*



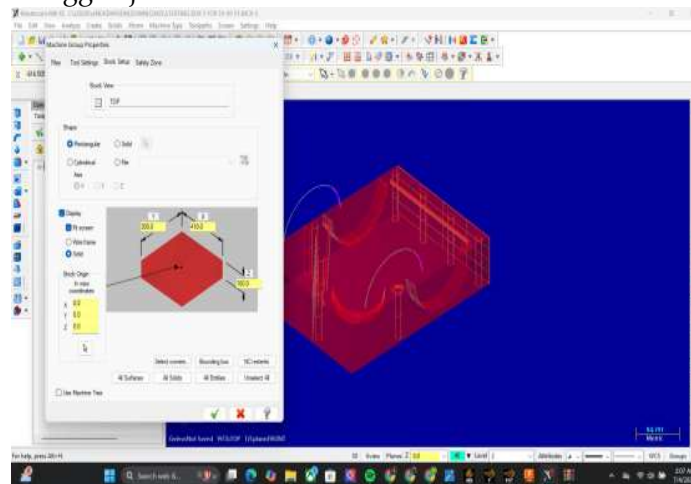
Gambar 4. Perancangan Dimensi *Stuffing Box*



Gambar 5. *Modelling 3D Stuffing Box*

Model 2D disusun berdasarkan data pengukuran lapangan yang kemudian diterjemahkan menjadi bentuk 3D menggunakan perangkat lunak CAD. Tahapan pemodelan mencakup proses ekstrusi bentuk dasar, pemutaran geometri untuk mengikuti bentuk silindris pipa, hingga pembuatan alur *sealant* dan lubang untuk baut pengunci. Pendekatan ini memberikan gambaran menyeluruh terhadap desain sebelum komponen diproduksi secara fisik.

Agar desain yang telah dikembangkan dapat digunakan secara luas dan efisien, dirancang sebuah langkah kerja yang praktis. Langkah kerja ini berfungsi sebagai panduan teknis dalam pembuatan maupun pemasangan *stuffing box* di lapangan, mulai dari tahap awal hingga uji coba akhir.



Gambar 6. *Persiapan Pemrograman CNC Milling*

Langkah-langkah yang tercantum dalam langkah kerja antara lain: mengukur ulang dimensi pipa, menggambar sketsa teknis, membuat model CAD, memproduksi komponen dengan pemotongan dan pengeboran, melakukan pemasangan unit ke pipa yang bocor, hingga menginjeksi *sealant* dan menguji kekedapan sistem. Penyusunan langkah kerja ini menjadi komponen penting dalam memastikan metode *on-line leak sealing* dapat diadopsi secara konsisten tanpa perlu menghentikan aliran fluida dalam sistem perpipaan.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang sebuah solusi teknis berupa *stuffing box* untuk menangani kebocoran pada sambungan pipa berbentuk Y dengan sudut 45°, tanpa perlu menghentikan aliran fluida dalam sistem perpipaan. Dengan menerapkan pendekatan desain *Double Diamond*, proses perancangan dilakukan secara menyeluruh, dimulai dari observasi kondisi lapangan, perumusan kebutuhan desain, pengembangan model teknik 2D dan 3D, hingga penyusunan langkah kerja yang terstruktur. Pemilihan material ASTM A36 dilakukan berdasarkan pertimbangan teknis terkait kekuatan dan kemudahan dalam proses manufaktur. Hasil dari penelitian ini tidak hanya menghasilkan rancangan yang aplikatif dan siap diproduksi, tetapi juga memberikan pedoman praktis untuk pelaksanaan di lapangan. Dengan demikian, rancangan *stuffing box* ini diharapkan mampu menjadi solusi yang efektif, efisien, dan dapat direplikasi untuk kasus kebocoran serupa di industri.

REFERENSI

- Abriyanto, H. S. (2016). *Aplikasi CAM NX Machining pada pembuatan dies untuk selongsong peluru kaliber 20 mm* (Skripsi Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Adegboye, M. A., Fung, W. K., & Karnik, A. (2019). Recent advances in pipeline monitoring and oil leakage detection technologies: Principles and approaches. *Sensors (Switzerland)*. 19(11). Doi:10.3390/s19112548.
- Alamri, A. H. (2020). Localized corrosion and mitigation approach of steel materials used in oil and gas pipelines-An overview, *Engineering Failure Analysis*. 116. Doi:10.1016/j.engfailanal.2020.104735.
- Aziz, N., Waluyo, R., & Yuliaji, D. (2023). Perancangan Prototype Konstruksi Pipa Industri Mengacu Pada Asme Code B 31.3. *Jurnal ALMIKANIK*. 5(3), 125–133.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (1991). Materials Science and Engineering, Physical Basis of Plasticity in Solids. Doi:10.1142/9789814374064_0002.
- Jauhari, M. T., & Prayudi, Y. (2023). Implementasi Metode Double Diamond Dalam Perancangan Prototipe Aplikasi Sistem Erp Berbasis Website. *AKSELERASI: Jurnal Ilmiah Nasional*. 5(1), 85–98. Doi:10.54783/jin.v5i1.699
- Norman, D. (2013). The design of future things. *Interactions*. Doi:10.1145/1340961.1340979
- Nusantara, E. (2023). On-line Leak Sealing. <https://edbersnusanantara.co.id/on-line-leak-sealing/#:~:text=On-line leak sealing atau, gas di dalam pipa tersebut.>
- Paluppui, H., & Rachman, T. (2023). Buku Menggambar Rekayasa.
- Ruwanta, W. et al. (2024). TUGAS AKHIR REDESAIN ONSHORE PIPELINE CRUDE OIL DI PENAJAM STATION UNDERGROUND.
- Syah, D. (2018). Perencanaan Trunion Fixture Untuk Proses Machining Part Headstock Pada Mtu-150 Lathe Di Pt. Cnc Controller Indonesia.
- Toto Supriyono et al. (2019). Uji Performansi Solar Panel Kapasitas 100 Wp. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*. 2(2), 35–48. Doi:10.36805/jtmmx.v2i2.2172.