

Aplikasi Basis Data *Thickness* Sebagai Alat Bantu Monitoring Ketebalan Pipa yang Cepat, Akurat, dan Terkini.

R. Dimas Endro W.^{*1}, Rina Sandora¹, Ni'matut Tamimah¹, Ryan Yudha

Adhitya², Wibowo Arninputranto³, Indra Saputra Yacob¹, Ibnu Totti Amrullah¹, dan Mohamad Beni Firmansyah¹

¹ Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

² Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

³ Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: dimasend@ppns.ac.id¹, rinasandora@ppns.ac.id², nimatuttamimah@ppns.ac.id³

Abstrak

Pemantauan ketebalan pipa merupakan aspek vital dalam memastikan keselamatan dan efisiensi operasional industri. Artikel ini menguraikan berkenaan dengan aplikasi sistem penyimpanan *database*, untuk hasil pengukuran ketebalan pipa dengan menggunakan alat pengukur ketebalan ultrasonik. Alat Pengukur ketebalan ultrasonik memanfaatkan gelombang suara ultrasonik untuk mengukur ketebalan berbagai material industri dengan cepat, akurat dan konsisten. Pada umumnya pengukuran ketebalan dilakukan dari berbagai sisi pipa (*Top, Bottom, East, West*). Namun untuk inventarisasi data pengukuran tersebut, operator masih menggunakan borang (form) yang ditulis secara manual. Diharapkan dengan dibuatnya sistem *database*, sistem secara otomatis dapat mengidentifikasi sisi dengan ketebalan paling tipis (*Thinnest*). Pada penelitian ini data pengukuran ketebalan diambil sebanyak 126 lokasi pengukuran, dengan tiap lokasi diukur sebanyak 4 titik ketebalan. Data pengukuran ketebalan untuk tiap lokasi serta titik ketebalan disimpan dalam *database*, selanjutnya dilakukan identifikasi lokasi titik pengukuran yang memiliki nilai ketebalan terendah. Dapat diketahui bahwa dari 126 TML terdiri dari 62 TML elbow dan 64 TML pipa. Sebanyak 2 TML pipa (3%) memiliki nilai ketebalan saat pengukuran bernilai sama dengan nilai ketebalan desain. Selain itu, terdapat 57 (92%) titik TML elbow dan 33 (52%) titik TML pipa yang memiliki ketebalan pengukuran kurang dari nilai ketebalan desain. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, kondisi instalasi komponen pipa dan elbow perlu dilakukan peningkatan intensitas mitigasi dan inspeksi yang lebih tinggi. Terlebih pada komponen elbow, yang memiliki lebih banyak memiliki titik TML dengan nilai dibawah nilai desain sebesar 92% dari total jumlah TML komponen elbow.

Kata kunci: Sistem Informasi, Basis Data, Pemantauan Ketebalan Pipa, Ketebalan Elbow, TML (*Thickness Measurement Location*).

Abstract

Pipe thickness monitoring is a vital aspect in ensuring safety and efficiency of industrial operations. This article describes the application of a database storage system, for pipe thickness measurement results using an ultrasonic thickness gauge. Ultrasonic thickness gauges utilize ultrasonic sound waves to measure the thickness of various industrial materials quickly, accurately and consistently. In general, thickness measurements are taken from various sides of the pipe (Top, Bottom, East, West). However, to inventory the measurement data, the operator still uses forms that are written manually. It is expected that with the creation of a database system, the system can automatically identify the side with the thinnest thickness. In this study, thickness measurement data was taken from 126 measurement locations, with each location measured as many as 4 thickness points. The thickness measurement data for each location and thickness point are stored in the database, then the location of the measurement point with the lowest thickness value is identified. The final result of the database system analysis produces a remaining service life report, which presents the percentage of the thinnest thickness compared to the predetermined design thickness. It can be seen that the 126 TML consists of 62 elbow TML and 64 pipe TML. 2 TML (3%) pipes that have a thickness value are equal to the design thickness value. While there are 57 points (92%) elbow and 33 points (52%) pipes that have a measurement thickness that is less than the design thickness value. Of can be inferred that, installation conditions on pipe and elbow components need to be maintained intensively on mitigation and inspection aspect. Special concern should be given to elbow component, there were 92% of elbow's TML thickness values below the design value.

Keywords: Information System, Database, Pipe Thickness Monitoring, Elbow Thickness, TML (*Thickness Measurement Location*).

1. Pendahuluan

Manajemen inventaris yang efektif adalah elemen kunci dalam setiap operasi bisnis (Noguerra Jr, 2023). Dalam kegiatan inspeksi perpipaan, khususnya mengukur ketebalan dinding pipa, salah satu tantangan dalam manajemen inventaris adalah kompleksitas data yang harus diolah. Konsekuensi dari masalah ini dapat berupa rendahnya akurasi validitas data, kesalahan identifikasi kelayakan segmen, hingga berujung kebocoran atau kegagalan sistem. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sistem terintegrasi yang berfungsi sebagai basis data untuk menyimpan informasi sekaligus sebagai sistem prediksi kelayakan pipa. Nantinya sistem ini juga harus dilengkapi dengan fitur pelacakan dan pelaporan secara real-time.

PHP dan MySQL adalah teknologi berbasis web yang digunakan dalam penelitian ini. Teknologi ini sangat umum digunakan karena mudah, cepat, gratis dan kuat. Bahasa scripting php dibuat pada dasarnya dibuat untuk web (Greenspan & Bulger, 2003), Diharapkan sistem kontrol thickness pipe inspection berbasis web dengan PHP dan MySQL dapat menjadi solusi efektif dalam manajemen sistem monitoring kondisi ketebalan pipa secara aktual. Kemudian data yang didapat, akan diolah untuk ditentukan kelayakannya berdasarkan standar inspeksi. Hal ini tentunya dalam proses pembuatan sistem monitoring ketebalan pipa berbasis web mengacu pada syarat dan aturan kelayakan ketebalan pipa pada code API 570. Dimana dalam penelitian sebelumnya oleh (Zelmati et al., 2022), code API 570 digunakan untuk melakukan pendekatan deterministik penentuan sisa umur pipa dari pipa yang terkorosi secara internal dan external.

Sistem Aplikasi basis data thickness merupakan sebuah sistem aplikasi basis data yang dapat menjawab kebutuhan akan sistem monitoring ketebalan pipa yang tepat, akurat, dan terkini. Sistem aplikasi basis data ini akan dirancang untuk mampu mengoptimalkan proses inspeksi utamanya dalam menentukan nilai remaining lifetime pipe berdasarkan hasil pengukuran ketebalan yang telah diukur dengan menggunakan alat UT (*Ultrasonic Testing*). Data hasil pengukuran ketebalan nantinya akan diolah untuk menentukan lokasi yang memiliki nilai ketebalan paling kecil. Dengan adanya sistem aplikasi ini, diharapkan dapat tercipta sistem manajemen inspeksi yang lebih efisien, dan terkendali.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk membuat sebuah sistem basis data yang berfungsi guna mengetahui titik lokasi pipa yang memiliki nilai ketebalan terendah, sehingga dapat dilakukan monitoring dan mitigasi lebih awal. Adapun langkah berupa proses pencatatan, identifikasi, dan pelacakan pada titik yang memiliki ketebalan terendah merupakan kunci daripada keberhasilan monitoring dan mitigasi. Bertolak dari aspek kunci keberhasilan monitoring tersebut, maka dengan dibangunnya sistem ini dapat membantu meningkatkan ketepatan tingkat mitigasi yang nantinya akan berdampak pada peningkatan kegiatan inspeksi. lebih lanjut tindakan monitoring dan mitigasi lebih awal akan memudahkan untuk melakukan perencanaan tindakan perawatan yang diperlukan.

Manfaat Penelitian ini adalah untuk meningkatkan akurasi data inspeksi khususnya berhubungan dengan mitigasi, identifikasi ketebalan pipa. nilai yang berhubungan dengan *lifetime* pipa juga merupakan aspek data yang tercakup pada sistem aplikasi yang dibuat. sistem aplikasi yang tepat, akurat, dan terkini akan menjamin dampak dari kelemahan faktor *human error* pada proses pencatatan, identifikasi, dan mitigasi.

2. Metode Penelitian

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian *Research and Development* atau R&D, dimana menurut Sugiyono (2016), metode ini digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut, Sedangkan penelitian dan pengembangan menurut Emzir (2018), secara umum berlaku secara luas pada istilah-istilah tujuan, personal, dan waktu sebagai pelengkap. Produk-produk dikembangkan untuk mengetahui kebutuhan-kebutuhan tertentu dengan spesifikasi mendetail.

Tahap Pertama yaitu telaah data sekunder. Adapun data sekunder yang dimaksud adalah data laporan inspeksi ketebalan yang ada di lapangan. dimulai dari penentuan titik-titik pengukuran (TML). Kegiatan ini dilakukan identifikasi kelayakan terhadap parameter data ketebalan pipa yang telah diambil beserta komponen instalasi pipa, inventarisasi data, analisis data, serta akuisisi data pengukuran, analisis, dan pelaporan. Hasil dari kegiatan ini meliputi pemetaan masalah dan usulan terkait penyempurnaan prosedur akuisisi, analisis, dan inventarisasi data pengukuran ketebalan pipa dan komponen. Pada tahap ini juga dilakukan observasi terhadap spesifikasi alat ukur ketebalan pipa dan komponen, serta perangkat lunak dan keras yang dapat dibangun dan dimanfaatkan sebagai peralatan penunjang pembuatan sistem aplikasi basis data yang akan dibangun.

Tahap Kedua yaitu Studi Literatur, tahap ini dilakukan untuk memperoleh referensi yang relevan dan bernilai signifikan sebagai langkah dalam menentukan metode yang sesuai untuk membuat sistem monitoring ketebalan pipa yang tepat, akurat, dan terkini. Berbagai sumber literatur terkait perencanaan, pembuatan sistem informasi, khususnya sistem database inspeksi ketebalan, diambil dari buku, jurnal ilmiah, makalah, dan kode/standar, ditelusuri dan dikutip dalam

proposai penelitian ini. Selain itu, juga dilakukan studi mengenai kompatibilitas sistem dan media perangkat lunak (software) untuk memastikan kesesuaian fungsi dan hasil dari sistem informasi yang akan dibangun.

Tahap Ketiga yaitu Pengumpulan Data, Data yang perlu diperoleh yaitu hasil pengukuran ketebalan pipa, jenis material pipa dan komponen, lokasi pengujian, desain ketebalan pipa, jenis fluida yang mengalir, spesifikasi alat ukur ketebalan pipa (UT Thickness Gauge). Selain data inspeksi, diperlukan juga pengumpulan data terkait media dan kelengkapan antarmuka serta tipe bahasa pemrograman yang dianggap paling tepat.

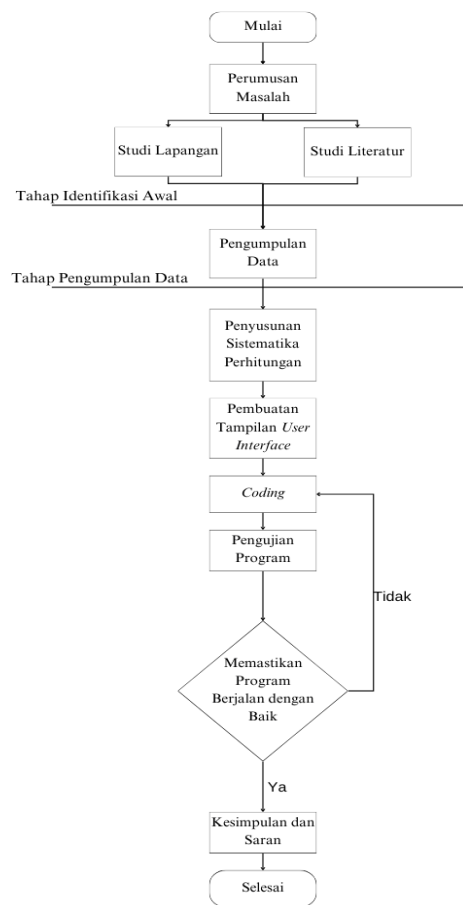
Tahap Keempat yaitu Pembuatan sistem Informasi Inspeksi, Berdasarkan kelengkapan dan kelayakan data yang telah diperoleh, serta didukung oleh studi literatur yang memadai, proses penyusunan dan pembuatan sistem informasi inspeksi dilakukan. Mekanisme pembuatan sistem informasi ini menggunakan metode model basis arsitektur (*Architecture-based model*). Proses dimulai dengan mendefinisikan fungsi dan tujuan aplikasi basis data yang akan dibuat, dilanjutkan dengan analisis kebutuhan aplikasi tersebut, dan definisi sistem. Setelah itu, dilakukan perencanaan arsitektur basis data, perencanaan desain sistem informasi, dan implementasi sistem informasi.

Tahap Kelima yaitu Pengujian dan Evaluasi, pada tahap ini dilakukannya uji coba dan mengevaluasi hasil program yang telah dirancang. Jika tidak sesuai maka akan dilakukan uji coba dan pengevaluasian ulang terhadap program tersebut.

Tahap Keenam yaitu Kesimpulan dan Saran, tahap ini akan memberikan kesimpulan dan saran terhadap keberhasilan akhir dalam perancangan program inspeksi ketebalan pipa.

2.2 Diagram Alir

Dapat dilihat dari Gambar 1, diagram alir, bahwa informasi yang perlu ada ada di tahap Pengumpulan Data yang didapat dari studi lapangan ataupun studi literatur.



Gambar 1. Diagram Alir

2.3 Sistematika Perhitungan *Remaining Thickness*

Penentuan nilai *remaining thickness* pada sistem yang dibuat adalah mengacu pada persentase nilai ketebalan pada saat dilakukannya pengukuran terhadap nilai ketebalan pipa yang direncanakan. Nilai *remaining thickness* ditentukan mengikuti formula berikut :

$$\text{Remaining \%} = \frac{t_{\text{test thickness}}}{t_{\text{design wall thickness}}} \times 100 \% \quad (1)$$

dimana

$t_{\text{test thickness}}$ = ketebalan pipa dalam (mm/inch) berdasarkan pengukuran UT, didefinisikan sebagai TML
 $t_{\text{design wall thickness}}$ = ketebalan pipa dalam (mm/inch) sesuai design ketebalan yang direncanakan

2.3.1 Nilai Desain Ketebalan yang Direncanakan (Design Wall Thickness)

Tekanan internal dan gaya berat merupakan beban utama pada sistem perpipaan. Tekanan internal menentukan ketebalan pipa, yang harus ditetapkan sebelum perancangan sistem perpipaan. *Piping engineer* menentukan nilai ketebalan desain dinding pipa (*design wall thickness*) saat menetapkan spesifikasi kelas pipa. Tekanan internal dan gaya berat adalah faktor penting dalam desain sistem perpipaan. Ketebalan pipa harus ditentukan dengan cermat untuk memastikan keamanan dan keandalan sistem.

Ketebalan desain dinding pipa (t_m) harus memperhitungkan "*corrosion allowance*" dan "*mill tolerance*" untuk memastikan kekuatan mekanik pipa. Nilai t_m tidak boleh kurang dari hasil perhitungan ketebalan tekanan desain dinding pipa berdasarkan rumus "*design wall thickness*". Berikut formula *design wall thickness*:

$$t_m = t + c \quad (2)$$

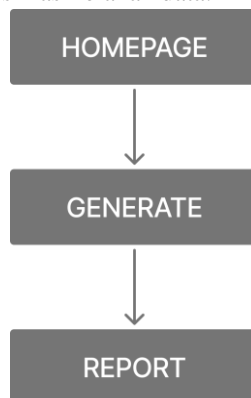
$$t = \frac{P.D}{2(S.E.W + P.Y)} \quad (3)$$

Dengan :

- t_m = ketebalan desain dinding pipa (mm/inch)
- t = ketebalan tekanan desain (psi)
- p = tekanan internal (psi)
- D = outside diameter pipa (inch)
- S = tegangan diizinkan (table A1 ASME B31.3)
- W = kekuatan sambungan las (tabel 302.3.5(e) ASME B31.3)
- Y = koefisien material (table 304.1.1 ASME B31.3)
- C = *Corrosion Allowance* (jika tidak diketahui, maka C bernilai 0)

2.4 Alur Sistem Integrasi

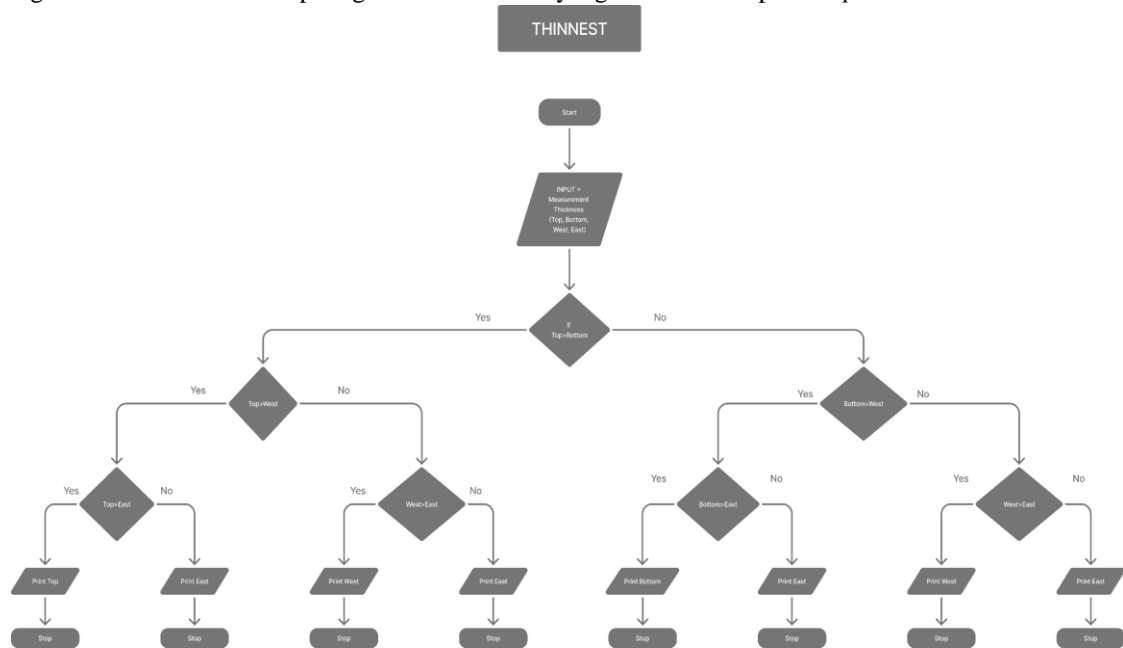
Alur sistem integrasi seperti pada Gambar 2 dirancang untuk memberikan pengalaman yang efisien dan terstruktur bagi pengguna dalam mengelola *thickness pipe* dan *lifetime* pipa pada kegiatan inspeksi. Dimulai dari *interface homepage* tampilan awal dimana halaman untuk mengisi data-data pipa, setelah itu di-*generate* untuk menyimpan data kedalam *database*, lalu akan menghasilkan *report* yang berisi hasil olahan data.



Gambar 2. Alur Sistem Integrasi

2.4.1 Diagram Alir Thinnest

Dapat dilihat dari Diagram Alir Thinnest, bahwa dibutuhkan data-data Thickness untuk *Top*, *Bottom*, *West*, dan *East* untuk dapat menghasilkan data ketebalan paling kecil. data inilah yang akan muncul pada *Report*.



Gambar 3. Diagram Alir Thinnest

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Implementasi Sistem

3.1.1 Halaman Utama Aplikasi Pengukuran Ketebalan Pipa dan Waktu Sisa

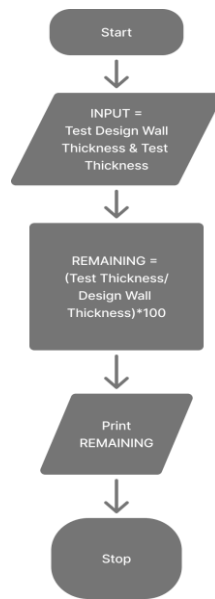
Pada Halaman Utama Pengukuran Tebal pipa dan Waktu Sisa, terdapat beberapa data yang perlu diisi, untuk *Measurement Details* data tersebut diantaranya *Notification*, *Order*, *Tag Pipeline*, *Description*, sampai dengan *Inspection Date*, data-data ini didapatkan dari P&ID dan *spool* yang akan dicek ketebalan serta sisa masa waktunya. kemudian pada *Thickness Measurements*, terdapat TML (*Thickness Measurement Location*), *Location*, *MOC*, *Nominal Thk. (mm)*, dan *Measurement Thickness*, untuk mengukur ketebalan, digunakan data yang didapat dari Alat pengukur melalui gelombang *Ultrasonic*.

Input Thickness Measurements							
Measurement Details							
Notification	<input type="text"/>						
Order	<input type="text"/>						
Tag Pipeline	<input type="text"/>						
Description	<input type="text"/>						
Material Pipeline	<input type="text"/>						
Section/Plant	<input type="text"/>						
Applicable Code	<input type="text"/>						
MOC	<input type="text"/>						
Surface Condition	<input type="text"/>						
Search Unit	<input type="text"/>						
Calibration Block	<input type="text"/>						
Couplant	<input type="text"/>						
Technique	<input type="text"/>						
Inspection Date	<input type="text" value="mm/dd/yyyy"/>						
Thickness Measurements							
Thickness Measurement Location (TML)	Location	MOC	Nominal Thk. (mm)	Measurement Thickness (mm)			
				Top (mm)	Bottom (mm)	West (mm)	East (mm)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Add Measurement Row				Save			

Gambar 4. Tampilan Halaman Utama Pengukuran Ketebalan Pipa dan persentase *Remaining*

3.1.2 Halaman Generate

Halaman *generate* ini akan muncul setelah ditekannya tombol generate pada halaman utama. Adapun isi dari halaman utama yaitu data yang telah diisi sebelumnya untuk halaman utama, dan ditampilkan kembali pada saat tahap *generate*. Tahap *generate* yang dibangun pada sistem ini, terdapat dua opsi halaman *generate*. Opsi halaman pertama berisi tentang identifikasi nilai ketebalan terkecil untuk setiap TML. Sedangkan opsi pada halaman kedua, berisi tentang nilai persentase nilai Remaining. Pada opsi halaman pertama, data diolah oleh sistem kemudian ditayangkan data nilai ketebalan terkecil untuk setiap TML. Sedangkan pada opsi halaman kedua, data nilai ketebalan terkecil selanjutnya diolah untuk mendapatkan persentase nilai remaining. Pada diagram alir dibawah ini ditunjukkan urutan prosedur untuk mendapatkan presentase nilai remaining. Dimulai dari input data olahan yang berisi nilai ketebalan terkecil untuk setiap TML, untuk selanjutnya, dihitung persentase nilai ketebalan terkecil terhadap dengan nilai Design Wall Thickness, sehingga didapatkan nilai persentase *Remaining*. Proses perhitungan dilakukan oleh sistem dan hasil perhitungan dikategorisasikan sesuai dengan lokasi TML.



Gambar 5. Diagram Alir Prosedur Persentase nilai Remaining

7/21/2024, 5:10 PM Thickness Measurement Report

Thickness Measurement Report

Notification	310000830447								
Order	320000827220								
Tag Pipeline	Pipeline Shipment ME								
Description	Pipeline Shipment ME from TF ME to Jetty								
Material Pipeline	12"Sch40 Carbon Steel								
Section/Plant	Tank Farm Methyl Ester								
Applicable Code	ASTM E 797-15								
MOC	Carbon Steel / ASTM A.36								
Surface Condition	Smooth								
Search Unit	OLYMPUS 27MG SN: 92205								
Calibration Block	Step Block SN:246921-1018 Steel								
Complant	Pasta/Grease								
Technique	Contact Testing								
Inspection Date	2023-06-05								
TML	Location	MOC	Nominal Thk. (mm)	Measurement Thickness (mm)					Thinnest
				Top (mm)	Bottom (mm)	West (mm)	East (mm)		
TML 1	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.75	10.75	10.98	10.31	10.31	
TML 10	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.78	9.81	9.82	9.86	9.78	
TML 100	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.31	10.21	10.37	10.42	10.21	
TML 101	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.31	9.40	9.47	9.26	9.26	
TML 102	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.60	9.29	9.36	9.42	9.29	
TML 103	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.44	10.33	10.48	10.52	10.33	

localhost\testreport\report.php? 18

Tabel 1. Pengukuran Hasil Ketebalan dan Data Identifikasi

T01024_1118.PDF		Thickness Measurement Report							
TML 104	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.41	10.28	10.53	10.32	10.28	
TML 105	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.39	9.42	9.51	9.38	9.38	
TML 106	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.38	10.56	10.42	10.37	10.37	
TML 107	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.41	9.31	9.42	9.43	9.31	
TML 108	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.36	10.33	10.50	10.61	10.33	
TML 109	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.41	10.35	10.52	10.70	10.35	
TML 11	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.32	10.40	10.17	10.30	10.17	
TML 110	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.52	10.23	10.69	10.43	10.23	
TML 111	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.68	10.30	10.53	10.42	10.30	
TML 112	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.60	10.27	10.52	10.55	10.27	
TML 113	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.56	9.44	9.41	9.36	9.36	
TML 114	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.29	10.35	10.31	10.26	10.26	
TML 115	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.30	9.35	9.38	9.42	9.30	
TML 116	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.60	10.27	10.52	10.55	10.27	
TML 117	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.33	9.35	9.42	9.50	9.33	
TML 118	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.48	9.50	9.51	9.33	9.33	
TML 119	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.36	10.30	10.40	10.31	10.30	
TML 12	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.56	10.41	10.43	10.49	10.41	

localhost\media\report\p10? 28

Tabel 2. Rekap Hasil Pengukuran Lanjutan

T01024_1148.PDF		Thickness Measurement Report							
TML 120	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.49	9.51	9.42	9.35	9.35	
TML 121	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.50	9.52	9.43	9.37	9.37	
TML 122	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.51	9.53	9.44	9.36	9.36	
TML 123	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.49	9.55	9.46	9.39	9.39	
TML 124	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.53	9.55	9.46	9.38	9.38	
TML 125	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.27	10.33	10.28	10.24	10.24	
TML 126	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.52	9.54	9.45	9.39	9.39	
TML 13	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.44	10.40	10.55	10.56	10.40	
TML 14	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.40	10.39	10.44	10.52	10.39	
TML 15	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.39	10.15	10.56	10.16	10.15	
TML 16	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.41	10.15	10.54	10.19	10.15	
TML 17	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.45	10.28	10.34	10.39	10.28	
TML 18	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.68	9.80	9.97	9.78	9.68	
TML 19	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.16	10.31	10.47	10.26	10.16	
TML 2	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.74	10.63	10.68	10.60	10.60	
TML 20	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.70	9.94	9.81	10.00	9.70	
TML 21	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.90	9.93	9.92	10.08	9.90	
TML 22	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.90	9.93	9.92	10.08	9.90	

localhost\media\report\p10? 38

Tabel 3. Rekap Hasil Pengukuran Lanjutan (Dominan Elbow)

T01024_1168.PDF		Thickness Measurement Report							
TML 23	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.89	11.01	10.58	11.04	10.58	
TML 24	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.07	9.88	9.55	9.27	9.27	
TML 25	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.68	9.83	10.15	10.08	9.68	
TML 26	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.00	10.03	9.55	9.63	9.55	
TML 27	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.36	10.41	10.24	10.16	10.16	
TML 28	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.36	10.41	10.24	10.16	10.16	
TML 29	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.92	9.99	9.96	10.01	9.89	
TML 3	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.59	10.00	9.59	10.01	9.59	
TML 30	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.66	9.88	9.87	9.79	9.79	
TML 31	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.11	9.96	10.12	9.92	9.92	
TML 32	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.87	9.84	9.79	9.98	9.79	
TML 33	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.94	9.91	10.02	10.10	9.91	
TML 34	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.18	10.42	10.22	10.30	10.18	
TML 35	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	11.02	10.94	11.14	11.23	10.94	
TML 36	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.98	10.79	11.10	11.22	10.79	
TML 37	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.92	10.89	11.10	11.22	10.89	
TML 38	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.91	9.91	9.94	9.70	9.70	
TML 39	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.55	9.30	9.43	9.44	9.30	

localhost\media\report\p10? 48

Tabel 4. Rekap Hasil Pengukuran Lanjutan (Dominan Pipe)

TMDL 1.10.FM		Thickness Measurement Report						
TML 4	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.46	10.52	10.49	10.60	10.46
TML 40	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.83	9.75	9.77	9.80	9.75
TML 41	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.77	10.63	10.61	10.71	10.61
TML 42	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.85	9.79	9.80	9.81	9.79
TML 43	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.72	10.66	10.62	10.69	10.62
TML 44	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.00	9.81	9.94	9.88	9.81
TML 45	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.70	10.60	10.68	10.71	10.60
TML 46	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	10.76	10.43	10.76	10.64	10.43
TML 47	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.67	10.62	10.66	10.70	10.62
TML 48	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.72	10.41	10.80	10.68	10.41
TML 49	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.41	8.96	9.33	9.38	8.96
TML 5	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.31	10.38	10.45	10.44	10.31
TML 50	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.27	9.23	9.30	9.19	9.19
TML 51	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.34	9.61	9.49	9.44	9.34
TML 52	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.69	10.71	10.70	10.73	10.69
TML 53	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.61	10.62	10.67	10.52	10.52
TML 54	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.43	9.40	9.40	9.51	9.40
TML 55	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.40	9.38	9.46	9.49	9.38

Tabel 5. Rekap Hasil Pengukuran Lanjutan (Dominan Elbow)

TMDL 1.10.FM		Thickness Measurement Report						
TML 56	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.59	10.60	10.63	10.65	10.59
TML 57	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.60	10.62	10.61	10.64	10.60
TML 58	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.62	10.59	10.65	10.66	10.59
TML 59	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.61	9.79	9.81	9.84	9.61
TML 6	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.76	9.88	9.82	9.85	9.76
TML 60	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.78	9.53	9.61	9.63	9.53
TML 61	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.80	9.60	9.62	9.68	9.60
TML 62	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.83	9.53	9.64	9.55	9.53
TML 63	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.54	10.58	10.61	10.64	10.54
TML 64	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.88	9.72	9.79	9.76	9.72
TML 65	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	11.04	11.03	11.09	11.12	11.03
TML 66	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.87	9.70	9.77	9.74	9.70
TML 67	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.85	9.71	9.75	9.72	9.71
TML 68	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.67	10.75	10.77	10.68	10.67
TML 69	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	8.77	9.10	9.01	9.05	8.77
TML 7	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.70	9.68	9.88	9.81	9.68
TML 70	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.82	10.75	10.78	10.72	10.72
TML 71	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.15	9.00	9.22	9.40	9.00

Tabel 6. Rekap Hasil Pengukuran Lanjutan (Dominan Elbow)

TMDL 1.10.FM		Thickness Measurement Report						
TML 72	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.40	10.36	10.42	10.30	10.30
TML 73	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.21	9.08	9.25	9.38	9.08
TML 74	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.31	10.25	10.37	10.23	10.23
TML 75	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.21	9.08	9.25	9.38	9.08
TML 76	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.25	9.10	9.29	9.35	9.10
TML 77	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.32	10.25	10.34	10.41	10.25
TML 78	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.82	9.78	9.86	9.71	9.71
TML 79	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.38	10.32	10.37	10.30	10.30
TML 8	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	9.56	10.10	9.49	10.09	9.49
TML 80	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	8.98	9.32	9.36	9.41	8.98
TML 81	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.31	9.32	9.34	9.35	9.31
TML 82	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.21	9.40	9.36	9.41	9.21
TML 83	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.39	9.36	9.42	9.45	9.36
TML 84	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.29	10.28	10.36	10.44	10.28
TML 85	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.42	9.39	9.38	9.39	9.38
TML 86	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.41	10.36	10.45	10.49	10.36
TML 87	Elbow	CS ASTM A.36	10.31	9.68	9.66	9.61	9.60	9.60
TML 88	Pipe	CS ASTM A.36	10.31	10.38	10.24	10.42	10.50	10.24

Tabel 7. Rekap Hasil Pengukuran Lanjutan (Dominan Elbow)

TML	CS-ASTM	10.31	10.41	10.26	10.46	10.52	10.26
TML 89	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.41	10.26	10.46	10.52
TML 9	Elbow	CS-ASTM A36	10.31	10.58	10.40	10.44	10.38
TML 90	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.61	10.28	10.52	10.58
TML 91	Elbow	CS-ASTM A36	10.31	9.41	9.50	9.32	9.45
TML 92	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.40	10.27	10.34	10.37
TML 93	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.40	10.30	10.53	10.30
TML 94	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.51	10.28	10.48	10.35
TML 95	Elbow	CS-ASTM A36	10.31	10.51	10.48	10.43	10.40
TML 96	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.51	10.38	10.49	10.38
TML 97	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.56	10.40	10.43	10.54
TML 98	Pipe	CS-ASTM A36	10.31	10.70	10.35	10.61	10.66
TML 99	Elbow	CS-ASTM A36	10.31	9.50	9.42	9.38	9.45

Tabel 8. Rekap Hasil Pengukuran Lanjutan (Dominan Pipe)

3.2 Diskusi

Hasil inspeksi untuk mengetahui nilai ketebalan *test thickness* untuk 126 TML dapat di ketahui bahwa nilai untuk test tickness pada masing-masing TML memiliki rentang ketebalan yang berbeda. Dari 126 TML, terdapat 2 TML material pipa (3%) yang memiliki nilai ketebalan pada saat pengukuran bernilai sama untuk nilai ketebalan desain. Sedangkan terdapat 33 titik (52%) yang memiliki ketebalan pengukuran yang kurang dari nilai ketebalan desain. Dan 29 TML (45%) yang memiliki nilai ketebalan pengukuran lebih besar dari nilai ketebalan desain.

Sedangkan untuk nilai persentase pengukuran ketebalan elbow, terdapat 57 TML (92%) yang memiliki nilai ketebalan kurang dari nilai ketebalan desain. Untuk titik yang memiliki nilai ketebalan pengukuran lebih besar dari ketebalan desain, terdapat 5 TML (8%). Pada tahap inspeksi pengukuran ini, tidak ditemukan lokasi pengukuran ketebalan yang memiliki nilai ketebalan dinding elbow sama dengan nilai ketebalan desain yang ditentukan.

Dengan membandingkan hasil nilai ketebalan untuk pipa yang didominasi dengan nilai hasil pengukuran kurang dari nilai ketebalan desain pipa yaitu sebesar 52%, sedangkan untuk nilai hasil pengukuran ketebalan terhadap ketebalan desain pipa yaitu sebesar 45%. Dapat diketahui bahwa intensitas penipisan dinding ketebalan pipa memiliki sifat yang moderat. Adapun langkah lebih lanjut, yang dapat disarankan untuk menjaga kondisi kelayakan dari pipa yang beroperasi ialah dengan melakukan mitigasi secara umum untuk instalasi pipa. Titik berat kegiatan inspeksi selanjutnya perlu untuk difokuskan pada lokasi TML yang bernilai jauh lebih rendah daripada nilai ketebalan desain yang ditetapkan.

Pada TML yang memiliki nilai hasil pengukuran ketebalan yang lebih besar daripada nilai ketebalan desain, dapat dilakukan kegiatan inspeksi dan mitigasi pengukuran ketebalan secara sampling. Dimulai dari nilai TML yang mendekati dengan nilai ketebalan desain sebagai titik lokasi prioritas pengukuran.

Untuk perbandingan hasil nilai ketebalan elbow yang didominasi dengan nilai hasil pengukuran kurang dari nilai ketebalan desain elbow yaitu 92%. Sedangkan untuk nilai hasil pengukuran ketebalan elbow yang memiliki nilai ketebalan lebih besar dari nilai ketebalan desain adalah sejumlah 5 TML (8%). Langkah selanjutnya, dilakukan kegiatan inspeksi secara intens terhadap TML yang mempunyai nilai ketebalan dibawah nilai ketebalan desain.

Adapun untuk langkah mitigasi lanjutan untuk sejumlah elbow yang memiliki nilai ketebalan hasil pengukuran diatas nilai ketebalan desain adalah dengan memantau nilai ketebalan untuk 5 lokasi TML elbow. Dengan mengetahui perubahan nilai ketebalan di lokasi 5 TML tersebut, maka akan lebih memudahkan untuk memperkirakan laju penipisan ketebalan elbow. Sehingga akan diketahui seberapa besar dampak dari adanya faktor pemakaian/beban terhadap laju penipisan dinding elbow.

Ditinjau dari aspek keterdesakan akan kondisi penipisan dinding yang terjadi pada elbow dan pipa, maka dapat diketahui bahwa intensitas dan prioritas inspeksi selanjutnya difokuskan pada inspeksi ketebalan dinding elbow. Hal ini didasari atas pertimbangan adanya perbedaan secara signifikan antara nilai persentase ketebalan hasil pengukuran dinding elbow dengan nilai persentase pengukuran ketebalan dinding pipa. Adapun nilai persentase ketebalan dinding pipa yang memiliki nilai ketebalan dibawah nilai ketebalan desain ialah sebesar 52%. Sedangkan hasil pengukuran ketebalan dinding elbow yang memiliki nilai ketebalan dibawah dari nilai ketebalan desain dinding elbow adalah sebesar 92%. Sehingga dapat diketahui bahwa nilai penipisan terbesar didominasi oleh komponen elbow dibandingkan dengan

komponen pipa. Hal ini tentunya dapat menjadi masukan kepada pengelola instalasi agar kedepannya dapat melakukan identifikasi dan langkah mitigasi lebih intens terhadap komponen elbow.

Pengembangan sistem informasi dapat dilakukan lebih lanjut dengan menggunakan bahasa *Structured Query Language* (SQL) untuk berkomunikasi dengan database relasional. Penggunaan database memungkinkan sistem informasi ini dapat diakses secara lokal atau lebih luas (berbasis internet). Sesuai dengan kebutuhan transaksional data pada sistem ini terdapat tiga halaman utama yaitu *generate*, *calculate* dan *reporting* sehingga kebutuhan fungsi utama SQL yang digunakan antara lain: definisi data (*create*) untuk membuat tabel atau objek baru dalam database serta manipulasi data (*select*, *insert*, *update* dan *delete*). Dimana instruksi '*select*' untuk mengambil data dari tabel, '*insert*' untuk menambahkan data baru ke tabel, '*update*' untuk memperbarui data yang sudah ada dalam tabel dan '*delete*' untuk menghapus data dari tabel.

Untuk mengaplikasikan penelitian ini pada sebuah website yang ringan memerlukan penerapan sejumlah praktik optimasi untuk meningkatkan kinerja dan kecepatan pemuatan halaman. Langkah pertama adalah memilih desain minimalis dengan tata letak sederhana serta elemen visual yang tidak berlebihan. Penggunaan font dan palet warna yang secukupnya akan meringankan tampilan dan mencegah beban berlebih pada website. Disarankan juga untuk mengimplementasikan desain yang responsif, sehingga website dapat menyesuaikan tampilannya pada berbagai ukuran layar tanpa memerlukan banyak kode tambahan. Selanjutnya, optimalkan ukuran gambar dengan menggunakan format modern seperti WebP dan kompresi untuk menghasilkan ukuran file sekecil mungkin tanpa mengurangi kualitas visual. Teknik pemuatan lambat (*lazy loading*) juga dapat diterapkan pada elemen seperti gambar dan video, sehingga elemen tersebut hanya dimuat ketika diperlukan oleh pengguna, yang pada akhirnya akan menghemat penggunaan bandwidth dan mempercepat waktu muat halaman. Adapun prosedur dalam penulisan kode, pastikan untuk menulis kode yang bersih dan efisien, hindari pengulangan kode yang tidak perlu, serta meminimalkan penggunaan plugin atau skrip pihak ketiga yang berat. Memanfaatkan versi CSS dan JavaScript yang telah dimampatkan (*minified*) juga dapat membantu mengurangi ukuran file. Penting juga untuk mengimplementasikan *cache*, baik di sisi server maupun browser, guna menyimpan konten statis agar kunjungan berikutnya tidak perlu mengunduh ulang seluruh konten website. Selain itu, pilihlah layanan hosting yang andal dengan waktu respon yang cepat, dan pertimbangkan untuk menggunakan *Content Delivery Network* (CDN) guna mendistribusikan konten dari lokasi yang lebih dekat dengan pengguna. Dengan menggabungkan seluruh praktik ini, website akan lebih ringan, responsif, dan mampu memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Sistem informasi untuk hasil inspeksi ketebalan pipa dirancang dan dibuat sebagai solusi untuk mengatasi masalah inventarisasi, identifikasi, dan aksesibilitas data inspeksi. Kemampuan untuk melakukan pemilahan dan kalkulasi berkenaan dengan kriteria dan kondisi status ketebalan pipa hasil pengukuran inspeksi merupakan keunggulan dari sistem aplikasi basis data. Dapat diketahui bahwa dari 126 TML terdiri dari 62 TML elbow dan 64 TML pipa. 2 TML (3%) pipa yang memiliki nilai ketebalan pada saat pengukuran bernilai sama untuk nilai ketebalan desain. Sedangkan terdapat 57 titik (92%) elbow dan 33 titik (52%) pipa yang memiliki ketebalan pengukuran yang kurang dari nilai ketebalan desain.

Adapun langkah mitigasi dan inspeksi terhadap komponen elbow dan pipa yang terdapat pada instalasi, dilakukan secara intens pada komponen elbow. Kegiatan inspeksi selanjutnya dilakukan dengan menitikberatkan pada inspeksi komponen elbow diikuti dengan inspeksi pada komponen pipa.

Pemanfaatan sistem basis data berbasis web, khususnya untuk aplikasi monitoring ketebalan pipa dan nilai persentase *remaining* terbukti mampu untuk menghasilkan data yang berfungsi sebagai data indikator untuk mengetahui dan memonitoring kondisi ketebalan pipa. Lebih lanjut sistem basis data ini dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan metode dan strategi perawatan dan inspeksi pipa.

Pemanfaatan sistem basis data memungkinkan informasi data terkait dengan data hasil inspeksi dapat terkoordinasi dan tertata dengan lebih baik. Aspek peningkatan akses terhadap penambahan dan penyesuaian data menjadi lebih luas dan terkendali. Keleluasaan akses dalam sistem basis data inspeksi ini tidak terlepas dari sistem basis data yang berbasis internet.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, khususnya pada pihak manajemen/direksi PPNS melalui unit penelitian dan pengabdian masyarakat PPNS yang telah memberikan pendanaan pada penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- Ashing-Giwa, K. T., Padilla, G., Tejero, J., Kraemer, J., Wright, K., Coscarelli, A., Clayton, S., Williams, I., & Hills, D. (2004). Understanding the breast cancer experience of women: A qualitative study of African American, Asian American, Latina and Caucasian cancer survivors. *Psycho-Oncology*, 13(6), 408-428. <https://doi.org/10.1002/pon.750>
- Noguerra Jr., C. P. (2023). Design and Evaluation of an Innovative Mobile Solution: QR Code-based. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, 8, 231-242. doi:10.51505/ijaemr.2023.8317 <http://dx.doi.org/10.51505/ijaemr.2023.8317>
- Zelmati, D., Bouledroua, O., Ghelloudj, O., Amirat, A., & Djukic, M. (2022). A probabilistic approach to estimate the remaining life and reliability of corroded pipelines. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*.
- ASME. (2018). *ASME B31.3 Process Piping*. The American Society of Mechanical Engineers.
- A. H. Hassan, "Web performance optimization through smart resource and application architecture," *IEEE Access*, 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2883495.
- Y. Liu, "The solution of web front-end performance optimization," *IEEE Access*, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010839.
- M. N. Akhtar, F. Liu, and H. Ali, "Performance Optimization Techniques for ReactJS Web Applications," *IEEE ICECCT*, 2019. doi: 10.1109/ICECCT.2019.8843879.
- B. R. Kandasamy et al., "Serverless Performance and Optimization Strategies," *IEEE Cloud Computing*, 2019. doi: 10.1109/MCC.2019.00010.
- K. Vaswani, "Optimization Techniques for Focused Web Crawlers," *IEEE TDSC*, 2021. doi: 10.1109/TDSC.2021.3051024.
- L. Lin et al., "Mobile Web Browser Optimizations in the Cloud Era: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2021. doi: 10.1109/COMST.2020.3032561.
- X. Wang, "An analysis of Web server performance," *IEEE TCC*, 2019. doi: 10.1109/TCC.2019.2949878.
- A. Mohammed, "Research on Performance Optimization for the Web-Based System," *IEEE Access*, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2954238.
- P. Chen et al., "Brief Analysis on Website Performance Evaluation," *IEEE TPDS*, 2020. doi: 10.1109/TPDS.2020.2998438.
- J. D. Warren, "High Performance Web Site Design Techniques," *IEEE Software*, 2018. doi: 10.1109/MS.2018.2874352.