



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGOLAHAN DATA DAN VISUALISASI KOROSI PIPA
MENGUNAKAN DATA HASIL PENGUJIAN ULTRASONIK**

SKRIPSI

**MANYANG PANJERRINO
0305020551**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGOLAHAN DATA DAN VISUALISASI KOROSI PIPA
MENGUNAKAN DATA HASIL PENGUJIAN ULTRASONIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Fisika

**MANYANG PANJERRINO
0305020551**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang
dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Manyang Panjerrino

NPM : 0305020551

Tanda Tangan :



Tanggal : 17 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Manyang Panjerrino
NPM : 0305020551
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Pengolahan Data dan Visualisasi Korosi Pipa
Menggunakan Data Hasil Pengujian Ultrasonik

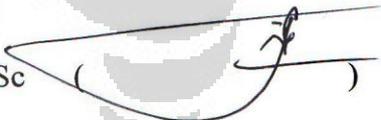
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

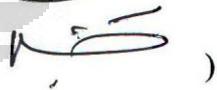
Pembimbing : Dr. Azwar Manaf

()

Pembimbing : Dr. Ir. M. Yudi M. Sholihin, MBA. MSc

()

Penguji : Dr. Budhy Kurniawan

()

Penguji : Dr. Bambang S

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Juni 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

Dr. Azwar Manaf dan Dr. Ir. M. Yudi M. Sholihin, MBA. MSc

selaku pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, saran, pengarahan dan kemudahan lainnya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Andi Octavian Latief dan bapak Karyanto

Selaku teman sekaligus pembimbing non formal, yang telah berbagi ilmu sekaligus canda dan tawa.

Seanko Neri Anggi

Seseorang yang telah memberikan dukungan moral dan tenaga yang besar selama pengerjaan skripsi ini.

Kedua Orang Tuaku

Yang dengan doanya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini

Depok, 17 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Manyang Panjerrino
NPM : 0305020551
Program Studi : Fisika Material
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive RoyaltyFree Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENGOLAHAN DATA DAN VISUALISASI KOROSI PIPA
MENGUNAKAN DATA HASIL PENGUJIAN ULTRASONIK**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 17 Juni 2009

Yang Menyatakan

(Manyang Panjerrino)

ABSTRAK

Nama : Manyang Panjerrino
Program Studi : Fisika
Judul : PENGOLAHAN DATA DAN VISUALISASI KOROSI PIPA
MENGUNAKAN DATA HASIL PENGUJIAN ULTRASONIK

Korosi merupakan permasalahan yang dapat menimbulkan kerugian besar baik dalam bidang ekonomi, lingkungan, dan terkadang dapat mengkontaminasi manusia secara langsung. Langkah yang penting untuk menghindari terjadinya kerugian akibat korosi adalah pendeteksian awal yang tepat, diagnosis secara tepat, dan perancangan pencegahan yang efektif. Salah satu bentuk pendeteksian yang tidak merusak adalah dengan menggunakan metode ultrasonic testing (UT). Skripsi ini menelaah teknik UT yang digunakan untuk mendeteksi ketebalan pipa, melalui pengolahan data untuk menentukan laju korosi dan sisa umur pipa. Untuk memudahkan pengolahan data, telah dibuat sebuah program untuk menghitung besaran-besaran fisis seperti *Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)*, ketebalan minimum, laju korosi, sisa masa pakai pipa, *safety factor* dan tampilan gambaran korosi yang terjadi. Hasil kerja ini mampu memberikan informasi yang bermanfaat untuk dapat membantu pengolahan data lanjut.

Kata kunci:
laju korosi, sisa umur pipa, *UT MAWP*

ABSTRACT

Name : Manyang Panjerrino
Study Program : Physics
Title : DATA PROCESSING AND VISUALIZATION OF PIPE
CORROSION FROM ULTRASONIC DETECTION

Corrosion is a problem that can be a major loss in economy, environment and health. Important steps to avoid and decreasing for that losses are to perform an early detection system, right diagnostics, and an effective protection planning. One method for detecting corrosion level is ultrasonic testing(UT). This final assignment discusses on an UT technique which is used for piping corrosion detection. The data from this testing then calculated to get their corrotion rate and remaining life. For allowing users in manner data processing, a computer program has been made to visualize a corotion condition and calculating Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) in a pipeline. The information derives from software is able to deliver information needed by anyone, and could help the operator to processing data in more efficient.

Keywords:
corotion rate, remaining life, *UT*, *MAWP*

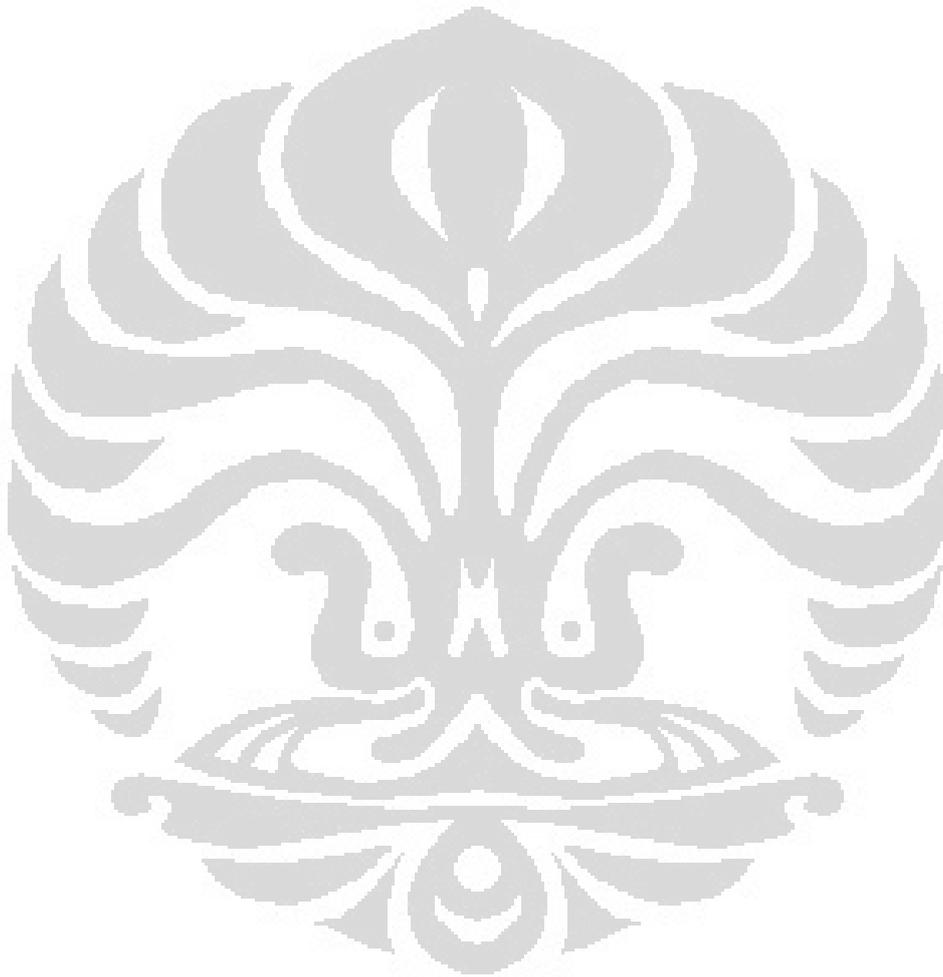
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 deskripsi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Korosi dan Jenis-jenis Korosi.....	6
2.2 Pengujian Ultrasonik.....	9
2.2.1 Sejarah Singkat.....	9
2.2.2 Prinsip Fisika pada ultrasonik testing.....	9
2.2.2.1 Perambatan Gelombang dan Pendeteksiannya.....	10
2.2.2.2 Tipe-tipe dari gelombang Ultrasonik.....	11
2.2.3 Teknik dan Syarat-syarat Inspeksi.....	12
2.3 Perhitungan Korosi yang Menggunakan Metode UT.....	12
2.3.1 Rumus Pengolahan data Ketebalan Minimum.....	12
2.3.2 Rumus Pengolahan data ketebalan UT.....	13
2.3.3 Rumus Pengolahan data Maximum Allowable Working Pressure (MAWP).....	14
2.3.4 Rumus Pengolahan data Safety Factor.....	15
2.3.5 Rumus Pengolahan data Sisa Masa Pakai.....	15
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Tahapan penelitian.....	16
3.2 Identifikasi Masalah.....	17
3.3 Penyusunan Metodologi.....	17
3.3 Mendapatkan data Ketebalan Pipa.....	17

4. ANALISIS DATA DAN EVALUASI PROGRAM	22
4.1 Data dari pengukuran Ultrasonik	22
4.2 Analisa Perhitungan manual	24
4.2.2 Ketebalan Minimum	24
4.2.2 Laju Korosi	25
4.2.2 Sisa Masa Pakai Pipa	25
4.2.1 Maximum Allowable Working Preassure(MAWP).....	26
4.2.2 Safety Faktor	26
4.3 Perhitungan program dan Analisa.....	26
4.3.1 Tampilan Awal	26
4.3.2 Perhitungan dengan Program	27
4.3.3 Pemodelan Ketebalan di Titik Selain Titik Inspeksi.....	29
4.3.4 Memprediksian Ketebalan pada Tahun-tahun setelah Inspeksi	31
4.3.5 Animasi Perubahan Ketebalan	33
4.3.6 Pengamanan dan Fungsi “reset”	35
5. KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2.Saran.....	38
DAFTAR REFERENSI	39
LAMPIRAN	40

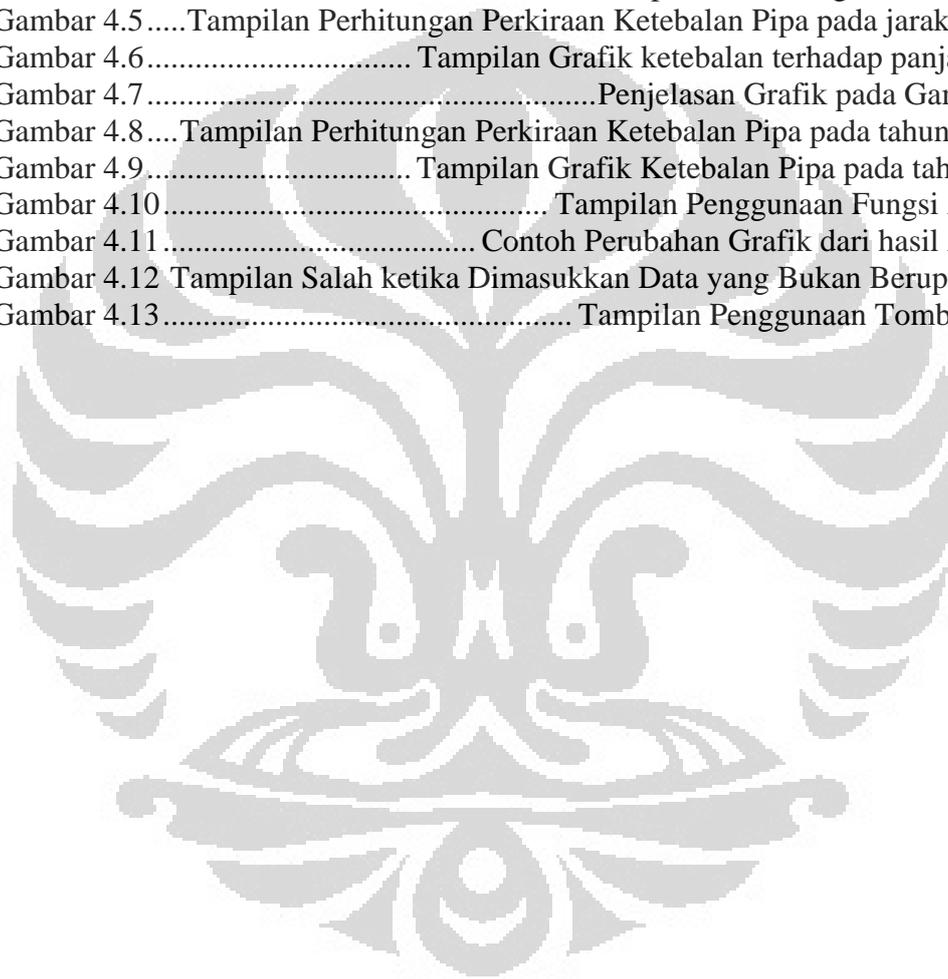
DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.....	Kerugian yang diakibatkan oleh korosi dalam milyar US\$	1
Tabel 4.1.....	Spesifikasi Pipa dari data yang didapatkan dari PT X	21



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Metodologi <i>Risk Based Inspection</i> (RBI)	2
Gambar 2.1	Korosi pada pipa	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 4.1	Pipa Sesuai Data pada Tabel 4.1	22
Gambar 4.2.....	Gambaran Pipa Setelah Mengalami Korosi	23
Gambar 4.3.....	Tampilan Awal dari Program	28
Gambar 4.4.....	Tampilan Perhitungan dari Program	29
Gambar 4.5.....	Tampilan Perhitungan Perkiraan Ketebalan Pipa pada jarak tertentu	30
Gambar 4.6.....	Tampilan Grafik ketebalan terhadap panjang pipa	31
Gambar 4.7.....	Penjelasan Grafik pada Gambar 4.6	31
Gambar 4.8.....	Tampilan Perhitungan Perkiraan Ketebalan Pipa pada tahun tertentu	33
Gambar 4.9.....	Tampilan Grafik Ketebalan Pipa pada tahun 2030	34
Gambar 4.10.....	Tampilan Penggunaan Fungsi Animasi	35
Gambar 4.11.....	Contoh Perubahan Grafik dari hasil Animasi	35
Gambar 4.12	Tampilan Salah ketika Dimasukkan Data yang Bukan Berupa Angka	36
Gambar 4.13.....	Tampilan Penggunaan Tombol Reset	37



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

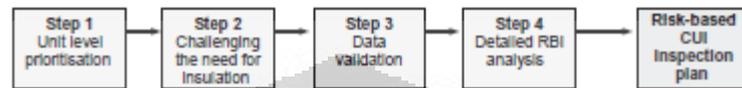
Korosi merupakan masalah yang sering terjadi dalam kegiatan industri, seperti industri kimia, minyak, gas dan lain-lain. Korosi telah menjadi masalah yang serius dan bertanggung jawab atas banyak masalah kebocoran, kecelakaan kerja, pencemaran lingkungan, berkurangnya hasil produksi dan juga memakan dana besar untuk menangani masalah-masalah tersebut.

Tabel 1.1 Kerugian yang diakibatkan oleh korosi dalam milyar US\$^[1]

Negara	Biaya Langsung	Biaya tak langsung
USA	303.76	200(kurang lebih)
Jepang	59.02	
USSR	55.01	
German	49.26	
UK	8.51	
Australia	7.32	
Belgia	6.75	
India	3.78	
Poland	3.53	
Canada	3.38	
...		
...		
...		
Global	510.04	940(kurang lebih)

Metodologi *risk-based inspection (RBI)* (Gambar 1.1) digunakan untuk menfokuskan pengamanan pada daerah-daerah yang memiliki kemungkinan

kecelakaan tertinggi, secara umum telah diterima oleh perusahaan refining, industri lepas pantai dan petrokimia. Dalam upaya mendapatkan informasi awal yang valid untuk analisis RBI menjadi suatu hal yang sangat penting, bahwa semua data input haruslah benar. Salah satu data input pada RBI adalah sisa masa pakai pipa. Sisa masa pakai pipa ini didapatkan dari perhitungan laju korosi yang terjadi.



Gambar 1.1 Metodologi *Risk Based Inspection (RBI)*^[2]

Laju korosi yang merupakan fungsi waktu dan ketebalan dari pipa, membutuhkan pengukuran ketebalan pipa yang aktual. Ketebalan pipa ini biasanya diukur dengan menggunakan metode pengujian ultrasonik atau yang disebut juga *ultrasonik testing (UT)*. Penggunaan UT dan Pengolahan datanya menjadi sangat menarik untuk dipelajari mengingat UT saat ini telah digunakan secara luas oleh pemantau korosi di lapangan.

1.2 Deskripsi Masalah

Pendeskripsian masalah dimaksudkan untuk membatasi masalah penelitian yang telah ditetapkan, pendeskripsian masalah juga merupakan inti dari suatu penelitian. Berdasarkan uraian latar belakang dari penelitian ini, maka perlu dilakukan deskripsi masalah penelitian yang akan dilakukan sehingga akan memunculkan suatu rumusan masalah yang akan dijawab dalam penelitian ini.

Hasil data ketebalan yang didapatkan dari metode UT, harus dapat digunakan untuk mengetahui berapa sisa masa pakai pipa. Sisa masa pakai pipa adalah sebuah tolak ukur yang berarti dalam perancangan dan pengantisipasi dalam pengamanan pipa. Dengan mengetahui sisa masa pakai pipa kita dapat menentukan sebuah pipa layak dipergunakan atau tidak.

Pembiayaan inspeksi untuk mengetahui sisa masa pakai yang pada umumnya dilakukan dengan menggunakan UT ini memerlukan dana yang tidak

murah, sehingga inspeksi yang dilakukan diharapkan optimal dan mampu memprediksi korosi yang terjadi di tahun-tahun berikutnya, sehingga inspeksi dapat dikurangi yang berimbas pada minimalisasi biaya maintenance.

Pengolahan data selama ini mempergunakan cara-cara yang kurang terstruktur dan masih menggunakan Microsoft excel untuk menghitung satu persatu faktor-faktor perhitungan *remaining life*. Hal ini menjadi kurang efisien, mengingat jika data pengukuran yang banyak maka akan memakan waktu yang cukup lama. Tidak adanya pemodelan yang memetakan ketebalan pipa dan jarak terhadap waktu yang memperlihatkan gambaran bagaimana penipisan pipa yang terjadi, mempersulit penganalisa untuk memprediksi bagaimana korosi yang terjadi di tahun-tahun berikutnya di setiap jarak pada pipa.

Berdasarkan identifikasi permasalahan diatas, maka penulis merasa perlu untuk mengetahui berapa sisa masa pakai pipa, bagaimana gambaran korosinya dan bagaimana korosi yang terjadi pada tahun-tahun kedepannya. Penghitungan tersebut dilakukan dengan membuat program yang diharapkan dapat dipakai untuk mempermudah pekerjaan pengolahan data

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

“Bagaimana kita bisa memvisualisasikan dan sekaligus memprediksi korosi pada pipa dengan data ketebalan pipa yang didapatkan dari metode UT ?”

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat memvisualisasikan dan memprediksi penipisan pipa yang diakibatkan oleh korosi, yang pada akhirnya akan didapatkan sisa umur pipa.

1.5 Batasan Masalah

Pokok bahasan dalam penelitian ini dibatasi oleh ruang lingkup sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan hanya terhadap pipa penyalur gas yang berada diatas permukaan tanah
2. Penelitian yang dilakukan hanya membahas pada pemodelan dan prediksi penipisan pipa yang diakibatkan oleh korosi
3. Pemodelan dan prediksi hanya terhadap data ketebalan yang didapatkan oleh metode ultrasonik

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran bagaimana proses penipisan pipa terjadi dan sekaligus mempermudah pekerjaan pengolahan data dalam mendukung efisiensi kerja
2. Memprediksi korosi yang terjadi pada tahun-tahun setelah inspeksi sehingga inspeksi yang dilakukan optimal
3. Mengetahui sisa masa pakai pipa sebagai sebuah tolak ukur dalam perancangan dan pengantisipasi dalam pengamanan pipa.

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Bab I adalah pendahuluan, yang menjelaskan mengenai latar belakang dibuatnya skripsi ini, perumusan masalah yang akan dihadapi dalam pembuatan skripsi dengan tema yang diambil, tujuan dibuatnya skripsi ini, batasan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini, dan sistematika penulisan laporan Skripsi.

Bab II adalah landasan teori yang menjelaskan tentang korosi, jenis-jenis korosi yang terjadi, perhitungan-perhitungan korosi yang digunakan dan sebagainya.

Bab III adalah penjelasan tentang skema dan metodologi penelitian yang dilakukan oleh penulis, bagaimana program perhitungan dan pemodelan bekerja sistem yang digunakan, alur kerja sistem, rencana implementasi dan rencana uji coba.

Bab IV adalah penjelasan rangkaian implementasi dan uji coba perhitungan pada data skripsi. Pada bab ini juga terdapat analisa dan pembahasan atas data – data yang telah di uji cobakan.

Bab V adalah penutup dan kesimpulan dari perancangan dan implementasi skripsi ini dan peluang penerapan teknologi ini di masa depan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi dan jenis-jenis korosi

Korosi dapat diartikan sebagai proses perusakan dari sebuah metal yang diakibatkan baik oleh reaksi kimia maupun reaksi elektrokimia dengan lingkungan dari metal tersebut^[3]. Apakah perbedaan dari reaksi kimia dan elektrokimia? Korosi kimia adalah korosi yang terjadi dengan reaksi kimia secara murni dan biasanya terjadi pada temperatur tinggi atau dalam keadaan kering. Sedangkan korosi elektrokimia adalah korosi yang terjadi bila reaksinya berlangsung dengan suatu elektrolit, yaitu cairan yang mengandung ion-ion. Reaksi berlangsung dengan adanya air/ uap air. Reaksi semacam inilah yang paling banyak terjadi pada reaksi korosi. Dari sini penulis mencoba untuk melihat hubungannya dengan aspek-aspek yang dipelajari oleh fisika material. Penulis membaginya menjadi tiga yaitu termodinamika, kinetika dan pasivitas.

Yang pertama dilihat adalah korosi merupakan sebuah reaksi, dan setiap reaksi yang terjadi mempunyai perubahan energi gibbs. Perubahan energi gibbs ini yang menjadi tolak ukur kecenderungan korosi dapat terjadi. Semakin negatif perubahan energi gibbs nya maka akan semakin besar kecenderungan reaksi itu terjadi. Sebagai contoh jika kita mempunyai dua bahan Mg dan Cu, jika keduanya di celupkan pada air maka reaksinya akan menjadi seperti ini



Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa Mg memiliki perubahan energi Gibbs yang lebih besar dari Cu, dan dapat disimpulkan jika kita memasukkan jumlah Cu dan Mg yang sama ke dalam air maka Mg akan lebih dahulu terkorosi(berubah menjadi $\text{X}(\text{OH})_2$) dibandingkan Cu. Lalu bagaimana jika perubahan energi Gibbunya positif dalam suatu reaksi? Jika menggunakan analogi yang sama dengan diatas dan mengganti logamnya dengan emas maka reaksinya

adalah



Nilai ΔG yang positif mengindikasikan bahwa tidak akan ditemukan emas yang dapat dikorosikan dengan cara mencelupkannya ke air.

dengan mendefinisikan $\Delta G = -nFE$ (n adalah jumlah elektron, F adalah konstanta faraday yang bernilai 96,500 C/eq, E merupakan EMF dengan satuan V), maka kita dapat merubah dari EMF menjadi energi gibbs ataupun sebaliknya. Dapat dilihat pula bahwa EMF inilah yang selanjutnya akan menentukan *galvanic series*, sebuah urutan untuk menentukan seberapa reaktifnya sebuah alloy dalam sebuah lingkungan.

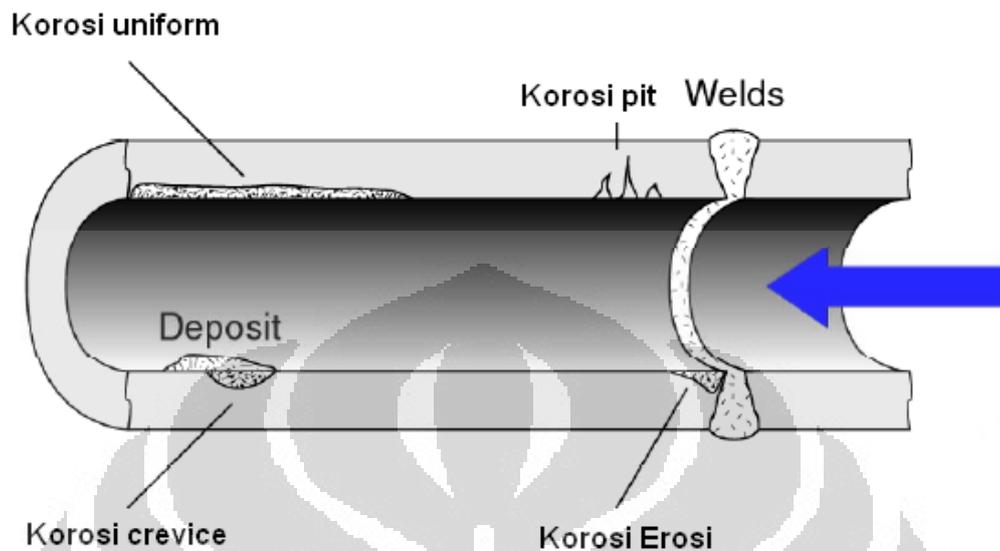
Kalau tadi sudah berbicara tentang kecenderungan reaksi, maka perlu diketahui seberapa cepat reaksi tersebut berlangsung. Hal ini menjadi penting dikarenakan pada kenyataannya hasil yang ingin diketahui adalah laju korosi dari bahan tersebut. Laju korosi biasanya berbentuk kedalaman korosi per waktu (*mm/y, ipy, mpy*) atau banyaknya massa yang hilang dalam suatu luasan perwaktu (*gmd, mdd*)

Ketika kita sudah mendapatkan seberapa aktif suatu material dari termodinamikanya kemudian seberapa cepat bahan tersebut berkorosi dari kinetiknya maka sekarang diperlukan penggabungan dari kedua pengetahuan tersebut sehingga didapatkan bahan yang sangat reaktif tetapi memiliki laju korosinya rendah. Bahan ini kemudian yang disebut bahan pasif yang akan lebih dahulu mengalami korosi dan berkorosi secara perlahan. kemampuan bahan untuk menahan korosi pada metal lain inilah yang disebut dengan pasivitas.

Sebelum membahas ke bagian bagaimana cara mendeteksi korosi yang merupakan inti dari tulisan ini, perlu diketahui jenis-jenis korosi yang mungkin terjadi pada pipa metal. Hal ini menjadi sangat penting, karena bagaimana mungkin ingin melihat sesuatu, tetapi tidak tahu apa yang ingin dilihat. Seperti yang digambarkan pada gambar 2.2 ketika pipa dialiri gas ataupun minyak(yang ditunjukkan arah alirannya oleh panah biru) terjadi beberapa macam korosi^[5].

Universitas Indonesia

Korosi-korosi ini dapat digolongkan menjadi :



Gambar 2.1 Korosi pada pipa

Korosi Uniform : Korosi yang berbentuk lapisan tipis yang terbentuk antara metal dengan lingkungannya. Korosi ini terjadi pada seluruh bagian pipa yang diakibatkan akibat terjadinya reaksi kimia antara material pipa dan lingkungannya

Korosi Crevice : Korosi yang terfokus pada sebuah area tertentu. Korosi ini terjadi pada sambungan pipa yang memiliki jenis material yang sama, korosi ini terjadi akibat adanya air yang terperangkap pada daerah tersebut

Korosi Pit : Korosi yang memiliki bentuk seperti sumur. Korosi ini bisa saja terjadi dimana saja dikarenakan korosi ini terjadi akibat adanya impuritas dari bahan tersebut yang menyebabkan laju korosi yang tidak sama dan membuat sumur di bagian yang memiliki laju korosi lebih besar

Korosi Erosi : Korosi yang berbentuk pengikisan lapisan metal akibat kecepatan pergerakan antara metal dan lingkungannya. Biasanya terjadi di daerah-daerah siku pada pipa

2.2 Pendeteksian Ultrasonik

Pengujian Ultrasonik atau yang sering disebut *Ultrasonic testing (UT)* adalah teknologi yang sudah diaplikasikan secara luas dalam dunia inspeksi lapangan. Metode ultrasonik ini sangat luas pemakaiannya dikarenakan metode ini memanfaatkan gelombang mekanik dari objek yang diuji, dan objek tersebut tidak di batasi oleh bahan metal saja. Metode ini tidak hanya mampu untuk mendeteksi cacat didalam metal, keramik dan komposit, tetapi juga dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur ketebalan korosi dan juga mendapatkan sifat-sifat fisik seperti struktur, ukuran grain dan konstanta elastisitas dari berbagai material.

Kata-kata ultrasonik mengacu pada gelombang suara yang memiliki frekuensi di atas pendengaran manusia, yang berkisar antara 20kHz. Frekuensi antara satu sampai dengan 10Mhz adalah frekuensi yang biasa digunakan oleh kebanyakan alat pendeteksi ultrasonik, yang meskipun terkadang untuk beberapa aplikasi khusus digunakan frekuensi yang lebih besar maupun lebih rendah.

2.2.1 Sejarah Singkat

Pembelajaran tentang ultrasonik dalam pengaplikasiannya dalam uji tak merusak dimulai di akhir tahun 1920. Pembelajaran tentang apa saja yang bisa di deteksi oleh ultrasonik tersebut, terus berkembang dan terus berlanjut hingga sekarang. Pada awal tahun 1980 dimulailah era pemanfaatan computer sehingga memudahkan para pekerja bekerja dengan instrumentasi yang lebih kecil dan dengan kapabilitas yang lebih besar.

Akhir-akhir ini, pengindraan dengan menggunakan teknik ultrasonik berkembang sangat pesat. Kebutuhan untuk mengekstrak data yang tepat dan cepat dari UT menuntun UT berkembang menjadi sebuah teknik yang lebih kuantitatif. ^[6]

2.2.2 Prinsip Fisika

Pengujian ultrasonik didasarkan oleh pelepasan energi ultrasonik kepada material dan kemudian melihat perubahan energi yang di pantulkan dalam rangka

untuk mendeteksi adanya kerusakan di permukaan maupun didalam material tersebut. Gelombang suara yang di tembakkan tersebut akan merambat melalui material dan terus ditransmisikan jika tidak menemui halangan. Jika gelombang tersebut mengenai sebuah lapisan dimana terdapat perbedaan kerapatan maka gelombang tersebut akan mengalami pengurangan energi karena sebagian akan di pantulkan dan sebagian akan ditransmisikan. Gelombang yang dipantulkan, ditangkap dan lihat perbedaan energinya yang kemudian dianalisis sebagai keberadaan, ukuran dan lokasi dari cacat atau diskontinuitas dari bahan tersebut.

Peralatan dasar yang digunakan dalam UT mengandung sebuah sumber *piezoelectric transducer* dan sebuah layar sebagai penginterpretasi data. Berbeda dengan gelombang cahaya atau sinar X yang merupakan gelombang elektromagnetik. Gelombang ultrasonik adalah sebuah bentuk dari energi mekanik yang merupakan osilasi atau vibrasi dari atom-atom dari sebuah material. Gelombang ultrasonik berperilaku seperti gelombang suara yaitu, merambat melalui zat padat, cairan dan gas tetapi tidak melalui vakum.

2.2.2.1 Perambatan Gelombang dan Pendeteksiannya

Pada kebanyakan kasus, Gelombang ultrasonik yang digunakan untuk *Non Destructive Test* (NDT), dipancarkan dan dideteksi dengan menggunakan *piezoelectric transducers* yang menggunakan *piezoelektrik crystal* (barium titanate, lead zirconate, lead titanate). Molekul-molekul dari kristal ini bergerak secara cepat ketika dikenai arus listrik dan berlaku sebaliknya yaitu menimbulkan medan listrik ketika secara cepat mengalami stress atau strain

Gelombang Ultrasonik untuk NDT juga dapat didapatkan dari beberapa cara yang berbeda. Ada yang memanfaatkan teknologi *micro electromechanical systems* (MEMS), adapula yang memanfaatkan ekspansi termal yang cepat pada permukaan dari sampel, yang akan menghasilkan gelombang ultrasonik dan kemudian di tangkap dengan menggunakan laser interferometer.

Pendeteksian ultrasonik biasanya mendeteksi cacat atau diskontinuitas dengan melihat faktor-faktor sebagai berikut^[7]:

- Pantulan gelombang bunyi dari permukaan yang merupakan material boundary atau diskontinuitas dari material
- Waktu perjalanan dari gelombang ultrasonik
- Energi yang hilang selama perjalanan dari gelombang ultrasonik (*attenuation*)

Langkah-langkah dalam proses pendeteksiannya adalah ^[8]:

- Sebuah penghasil gelombang ultrasonik di tempatkan pada jarak yang dekat pada objek yang diteliti.
- Penghasil gelombang tersebut memancarkan secara langsung energi akustik pada objek
- Energi akustik tersebut ditransmiskan, direfleksikan dan dihamburkan oleh objek
- Gelombang yang ditransmisikan atau dipantulkan oleh objek dideteksi oleh transducer yang ditempatkan didaerah sekitar objek
- Gelombang yang dideteksi tersebut dianalisa dengan fungsi waktu dan frekuensi, sehingga akan didapatkan sebuah amplitudo dan pola dari keadaan material tersebut.

2.2.2.2 Tipe-tipe dari gelombang Ultrasonik

Terdapat beberapa macam bentuk dari gelombang ultrasonik seperti gelombang longitudinal, gelombang transversal, gelombang permukaan (Rayleigh) dan gelombang datar (Lamb). Gelombang longitudinal merambat melalui material dengan arah vibrasi paralel dengan arah rambat gelombang (jenis gelombang ini yang paling sering digunakan), Gelombang transversal merambat dengan menggetarkan atom atau molekul ke atas dan ke bawah tegak lurus arah rambat gelombang seperti pada tambang yang digetarkan secara teratur. Gelombang permukaan merambat seperti namanya melalui bidang datar atau berbentuk kurva

dari permukaan yang relatif tebal. Gelombang ini merambat secara mendatar pada material yang memiliki beberapa jenis panjang gelombang.

2.2.3 Teknik dan Syarat-syarat Inspeksi

Bergantung pada aplikasinya, pendeteksian dapat dilakukan secara manual atau secara otomatis. Pendeteksian secara manual(dengan tangan) dilakukan dengan menggunakan peralatan yang memiliki sebuah tampilan osiloskop. Interpretasi dari operator didapatkan dari melihat bentuk, besarnya signal, waktu dan arah dari posisi tangan. Terdapat variasi yang sangat luas pada metode ini dikarenakan hal tersebut sehingga tidak memungkinkan didapatkan data yang tetap

Pendeteksian secara otomatis dilakukan dengan menggunakan peralatan yang mencatat posisi probe dan secara otomatis mendeteksi (waktu, fase dan amplitudo) yang kemudian membentuk suatu peta dari struktur material yang di teliti.

Bahan material yang diuji oleh metode ultrasonik ini harus mendukung penghantaran energi akustik dan memiliki sebuah konfigurasi geometri yang memperbolehkan energi akustik tersebut di refleksikan, dihamburkan ataupun di transmisikan.

2.3 Perhitungan Korosi yang Menggunakan Metode UT

Data yang didapatkan dari inspeksi ultrasonik berupa data ketebalan. Data ketebalan tersebut dapat dikonversi menjadi data-data yang berguna dalam pendeteksian korosi dengan melihat bahwa ketebalan yang hilang merupakan bagian pipa yang mengalami korosi.

2.3.1 Rumus Pengolahan data Ketebalan Minimum

Ketebalan minimum adalah ketebalan yang di perbolehkan agar pipa yang digunakan aman. Perumusan Ketebalan minimum ini sebetulnya memperhitungkan gaya yang diakibatkan tekanan dari dalam pipa agar tidak melebihi kekuatan pipa tersebut. Nilainya ditentukan oleh persamaan (2.1)^[9]

$$t_{min} = \frac{P \times D}{2 \times S \times F \times E \times T} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

t_{min} = Ketebalan minimum yang diijinkan(inchi)

P = tekanan

S = Kekuatan mulur minimum(minimum yield)

F = Faktor desain lokasi

E = Faktor sambungan arah memanjang pipa 1.0 (API 5 L pipa tanpa lipatan)

T = Faktor derating suhu 1.0 (suhu desain kurang dari 250° F)

D = Diameter luar nominal pipa

Dari persamaan (2.1) nilai ketebalan minimum, sangat berpengaruh kepada tekanan, hal ini dikarenakan nilai S,F,E,T,dan D merupakan konstanta yang nilainya relatif tetap.

2.3.2 Rumus Pengolahan data Laju Korosi

Laju Korosi dapat diartikan efek korosi pada sebuah metal per unit waktu. Tipe-tipe dari laju korosi bergantung kepada sistem pendeteksian dan jenis-jenis koroksi. Tipe-tipe tampilan dari laju korosi tersebut bergantung kepada sistem pendeteksian dan jenis-jenis koroksi. Efek korosi pada metal yang tidak sama di setiap permukaan pipa mengharuskan hasil inspeksi harus disertai lokasi titik pengukuran. Laju korosi untuk pipa yang diinspeksi dengan menggunakan UT dapat dihitung melalui persamaan (2)^[9]

$$l_k = \frac{t_a - t_i}{\Delta w_t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana

l_k = laju korosi

- t_a = Ketebalan pipa (milimeter) yang diukur pada inspeksi sebelumnya, jika tidak ada inspeksi sebelumnya maka digunakan ketebalan pipa sewaktu di produksi.
- t_i = Ketebalan pipa yang terukur pada saat inspeksi.
- Δw_t = Rentang waktu(tahun) inspeksi sebelumnya dengan inspeksi yang dilakukan, jika tidak ada inspeksi sebelumnya maka rentang waktu antara tahun pembuatan pipa dan tahun inspeksi

Nilai Laju korosi dari persamaan diatas dapat di ditampilkan sebagai peningkatan kedalaman korosi per unit waktu(sebagai contoh mm/yr) atau massa dari metal yang berubah menjadi hasil korosi per unit area dan per unit waktu(weight loss, sebagai contoh g/(mm*yr).

2.3.3 Rumus Pengolahan data *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP)

Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) adalah tekanan maksimum yang diperbolehkan yang memperhatikan ketebalan yang dimiliki oleh pipa saat ini agar pipa dapat dioperasikan secara aman. Perhitungan MAWP atas jaringan pemipaan menggunakan formula yang terdapat dalam ASME B 31.8, edisi 1995 tentang tekanan kerja maksimum yang diizinkan *Maximum Allowable Pressure* (MAWP)^[9]. Solusi dengan persamaan (2.3)

$$P = \frac{t(2*S*F*E*T)}{D} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana,

P = MAWP (psig)

t = Ketebalan dinding pipa terendah saat inspeksi(inchi)

S = Kekuatan mulur minimum(minimum yield)

F = Faktor desain lokasi

E = Faktor sambungan arah memanjang pipa 1.0 (API 5 L pipa tanpa lipatan)

T = Faktor derating suhu 1.0 (suhu desain kurang dari 250° F)

D = Diameter luar nominal pipa

Dapat dilihat nilai dari MAWP ini sangat bergantung kepada ketebalan aktual pipa, semakin tipis pipa maka akan semakin kecil pula nilai MAWP nya.

2.3.4 Rumus Pengolahan data *safety factor*

Safety factor adalah sebuah nilai yang menunjukkan perbandingan antara tekanan yang diperbolehkan dan tekanan yang dipakai sekarang. *Safety factor* dapat dihitung dengan menggunakan rumus^[9]

$$\mathbf{Safety\ factor} = \frac{\mathbf{MAWP\ saat\ inspeksi}}{\mathbf{tekanan\ operasional}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Nilai satu dapat diartikan tekanan yang di gunakan pada saat operasi sudah mencapai batas ambang maksimum tekanan yang diperbolehkan, sehingga pipa harus diganti atau tekanan operasionalnya harus di turunkan.

2.3.5 Rumus Pengolahan data sisa masa-pakai

Sisa masa-pakai adalah hasil utama yang ingin didapatkan dari keseluruhan inspeksi dan pengolahan data. Sisa umur pakai ini adalah yang akan menentukan apakah pipa yang diinspeksi dikategorikan sebagai resiko tinggi menengah atau rendah. Sisa umur masa-pakai sistem pemipaan dihitung dari rumus berikut ini^[9]:

$$\mathbf{S_{mp}(tahun)} = \frac{\mathbf{t-t_{min}}}{\mathbf{l_k}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana,

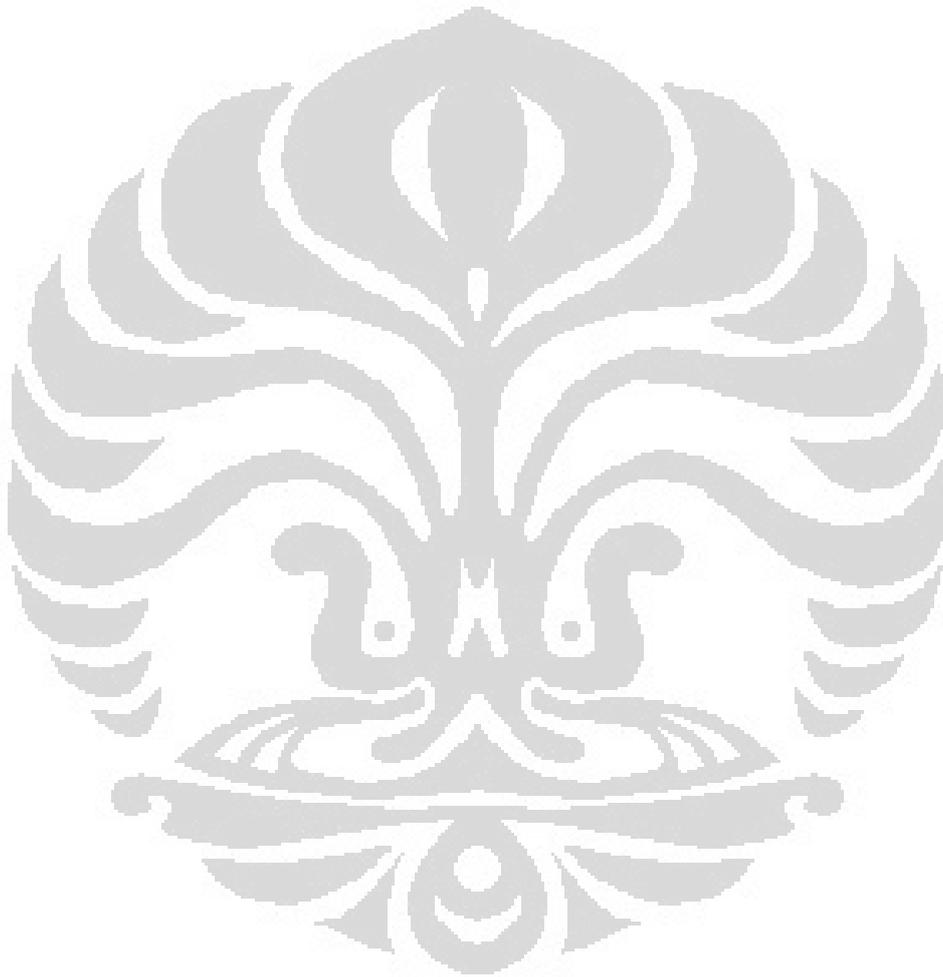
S_{mp} = Sisa masa pakai

t = Ketebalan dalam Inchi(milimeter) yang diukur pada waktu inspeksi

Universitas Indonesia

t_{min} = Ketebalan minimum yang diijinkan dalam Inchi(milimeter) untuk bagian atau zona terbatas.

Sisa masa pakai yang memiliki nilai nol berarti menunjukkan bahwa pipa tersebut sudah tidak layak pakai dan kemungkinan untuk terjadi failure yang berakibat ledakan atau kebocoran sangatlah besar.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan penelitian

Bagan alir yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ini menunjukkan pola pikir atau algoritma pengerjaan penelitian. Hal ini diperlukan agar pengerjaan penelitian ini terstruktur dan sistematis.

3.2 Identifikasi Masalah

Sejauh ini perhitungan laju korosi dari hasil pengukuran ketebalan dengan menggunakan metode UT belum memiliki program yang langsung dapat menghasilkan tampilan korosi dari data-data yang ada dan sekaligus memprediksi bagaimana korosi ditahun-tahun setelah inspeksi.

Program ini menjadi penting dalam rangka peningkatan efektifitas kerja dari para pengolah data sehingga bisa didapatkan hasil remaining life yang cepat dan akurat.

3.3 Penyusunan Metodologi

Penyusunan metodologi ini bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam melaksanakan penelitian dan mengambil kesimpulan dari hasil penelitian. Dalam menyusun metodologi ini peneliti mengumpulkan data-data yang berhubungan dengan penelitian.

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi:

- Data primer, data yang diperoleh secara langsung baik melalui penyelidikan di lapangan maupun di laboratorium.
- Data sekunder, data yang diperoleh melalui studi literatur sebagai pendukung dan pelengkap dari data-data primer. Berupa kondisi pipa, standart operasional pipa dan buku-buku literatur lainnya.

3.4 Mendapatkan data ketebalan pipa

Mendapatkan data sebagai awal dalam pembuatan program sangat penting dalam penelitian ini, untuk melihat dan memprediksi ke arah mana program ini harus berjalan, dan hasil seperti apa yang harus dituju.

Data didapatkan dari PT X yang telah melaksanakan survey korosi pada jalur pipa production line West Area sepanjang 56.000 meter milik BOB PT. Bumi Siak Pusako - Pertamina Hulu pada tahun 2006.

Data-data yang dibutuhkan adalah:

1. Ketebalan pipa terhadap jarak pipa
2. Tekanan Operasional
3. Tekanan Design
4. Diameter luar pipa
5. Temperatur Operasional
6. Ketebalan Awal Pipa
7. Tahun Pembuatan
8. Tahun Inspeksi
9. Kekuatan mulur minimum(min yield)
10. Faktor Derating Suhu
11. Faktor Design Lokasi
12. Faktor sambungan arah memanjang pipa

Setelah data-data diatas didapatkan kemudian diambil titik yang memiliki ketebalan paling rendah. Titik ini yang akan diambil menjadi perhitungan utama, karena pada titik inilah resiko paling besar terjadinya kebocoran.

Sebagai bahan pembandingan dengan hasil perhitungan menggunakan program, dilakukan perhitungan manual data PT X pada titik yang paling tipis sesuai persamaan pada subbab (2.3.1)

$T = \text{tekanan design}$

$$t_{min} = \frac{P \times D}{2 \times S \times F \times E \times T}$$

$$t_{min} = \frac{500 \times 12}{2 \times 30000 \times 0.72 \times 1 \times 1} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$t_{min} = \frac{6000}{43200}$$

$$t_{min} = 0.1389 \text{ inch}$$

$T = \text{tekanan operasional}$

$$t_{min} = \frac{P \times D}{2 \times S \times F \times E \times T}$$

$$t_{min} = \frac{150 \times 12}{2 \times 30000 \times 0.72 \times 1 \times 1} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$t_{min} = \frac{1800}{43200}$$

$$t_{min} = 0.0417 \text{ inch}$$

Perhitungan laju korosinya adalah sebagai berikut

$$l_k = \frac{t_a - t_i}{\Delta w_t}$$

$$l_k = \frac{0.406 - 0.2323}{2006 - 1973} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$l_k = \frac{0.1737}{33}$$

$$l_k = 0.005 \text{ inch/year}$$

maka dapat dihitung nilai sisa masa pakai pipa sebagai berikut:

menggunakan t_{min} pada persamaan (3.1)

$$S_{mp} = \frac{t - t_{min}}{l_k}$$

$$S_{mp} = \frac{0.2323 \text{ inch} - 0.1389 \text{ inch}}{0.005 \text{ inch/year}} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$S_{mp} = \frac{0.0934 \text{ inch}}{0.005 \text{ inch/year}}$$

$$S_{mp} = 17.75 \text{ tahun}$$

Menggunakan t_{min} pada persamaan (3.2)

$$S_{mp} = \frac{t_{paling\ tipis} - t_{min}}{\text{Laju korosi}}$$

$$S_{mp} = \frac{0.2323 \text{ inch} - 0.0417 \text{ inch}}{0.005 \text{ inch/year}} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$S_{mp} = \frac{0.1906 \text{ inch}}{0.005 \text{ inch/year}}$$

$$S_{mp} = 36.21 \text{ tahun}$$

MAWP pada t = ketebalan awal pipa

$$P = \frac{t(2 * S * F * E * T)}{D}$$

$$P = \frac{0.406(43200)}{12} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$P = 1461.6 \text{ psi}$$

MAWP pada t = ketebalan yang terukur pada inspeksi

$$P = \frac{t(2 * S * F * E * T)}{D}$$

$$P = \frac{0.2323(43200)}{12} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$P = 836.28 \text{ psi}$$

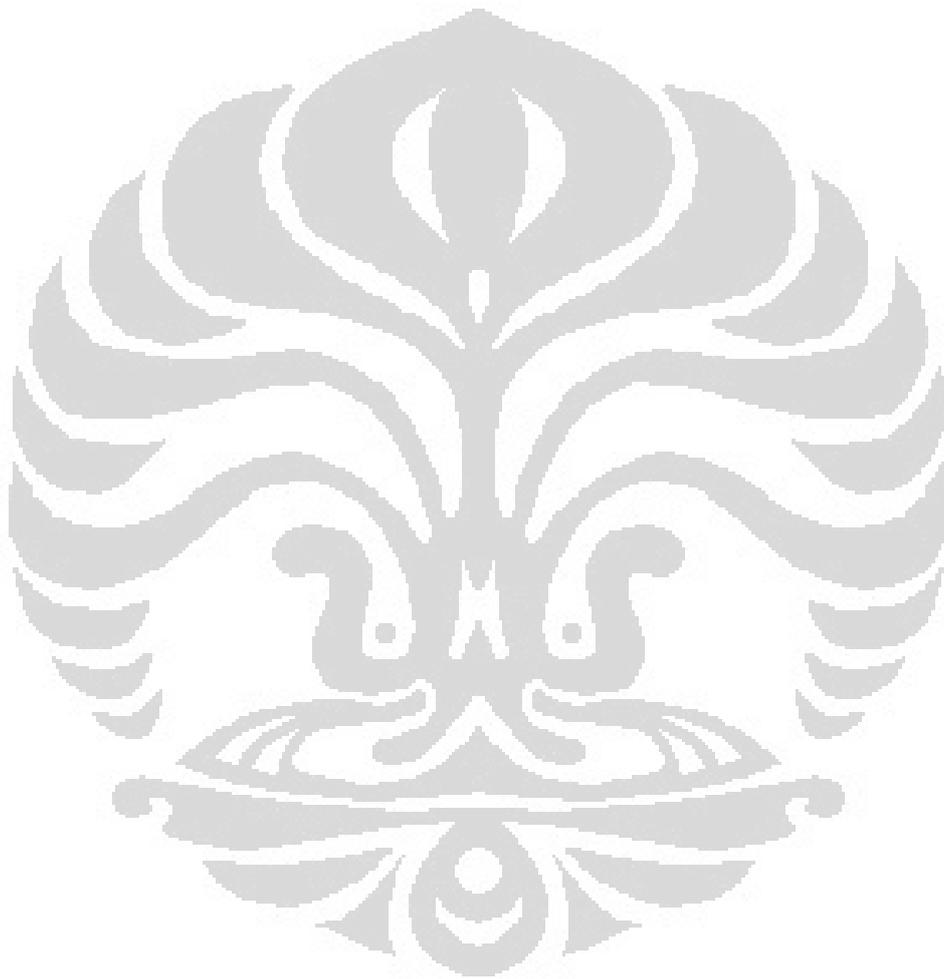
Safety faktor dapat dihitung sebagai berikut

$$\text{Safety faktor} = \frac{\text{MAWP saat inspeksi}}{\text{tekanan operasional}}$$

$$\text{Safety faktor} = \frac{836.28 \text{ psi}}{150 \text{ psi}} \dots\dots\dots(3.8)$$

Safety faktor = 5.6

Dari perhitungan data pada titik ini kemudian nantinya akan dibandingkan dengan hasil perhitungan program. Diharapkan data hasil perhitungan program sesuai dengan hasil perhitungan diatas.



BAB 4

ANALISIS DATA DAN EVALUASI PROGRAM

4.1 Data dari pengukuran Ultrasonik

Data didapatkan dari PT X, yang melakukan penelitian pada pipa dengan spesifikasi sebagai berikut:

Data Pipeline:

Tabel 4.1 Spesifikasi Pipa dari data yang didapatkan dari PT X⁽¹⁰⁾

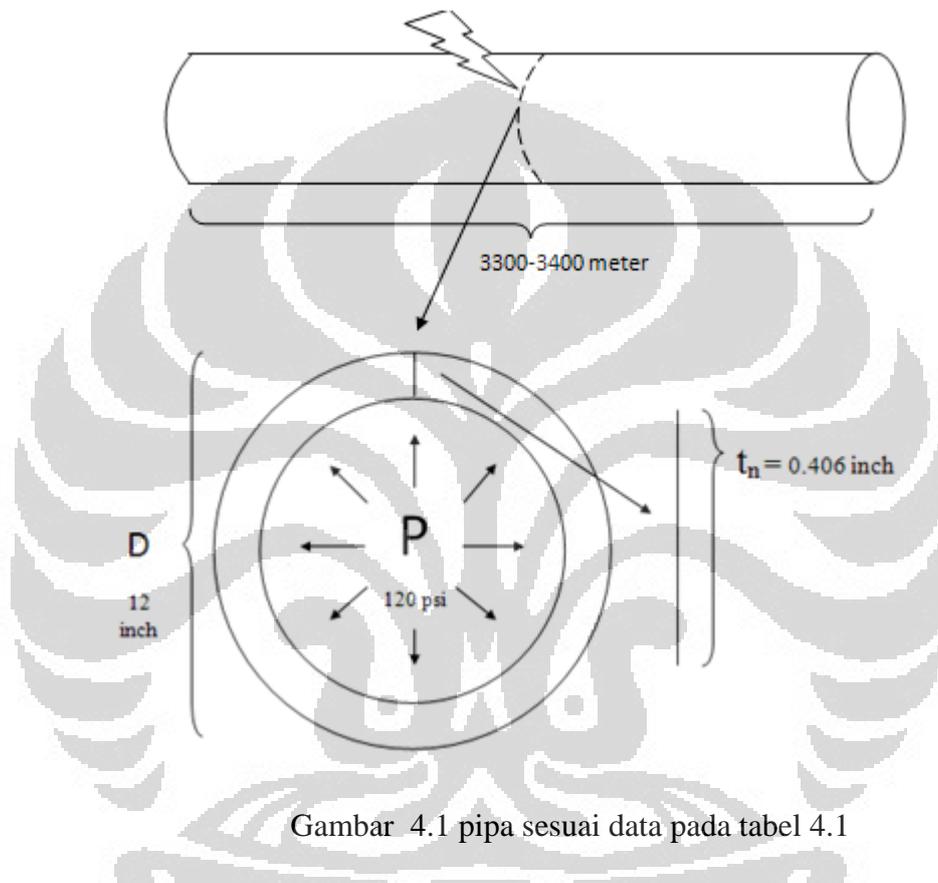
Subjek	: Main Line	Tekanan Operasional(P)	: 150 psi
Diameter luar pipa(D)	: 12 inch	Temperatur Operasional	: -
Panjang Pipa	: 3300-3400 meter	Tekanan Design	: 500 psi
Tahun Pembuatan	: 1973	Ketebalan Awal Pipa	: 0.406 inch
Tahun Inspeksi	: 2006	Faktor Derating	: 1
Kekuatan mulur minimum(min yield)	: 30000	Suhu(T)	
		Faktor Design	: 0.72
		Lokasi(F)	
Spesifikasi material	: API 5L Grade A	Faktor sambungan arah memanjang pipa(E)	: 1

Tabel 4.1 merupakan data dari pipa utama yang berfungsi sebagai pipa penyalur, pipa ini memiliki grade A yang berarti memiliki spesifikasi material yang paling rendah. Semakin tinggi kualitasnya maka grade dari pipa tersebut akan semakin tinggi (grade A lebih rendah kualitasnya dari grade B, grade B lebih rendah kualitasnya dari grade C) Penjelasan tentang masing-masing point dari

Universitas Indonesia

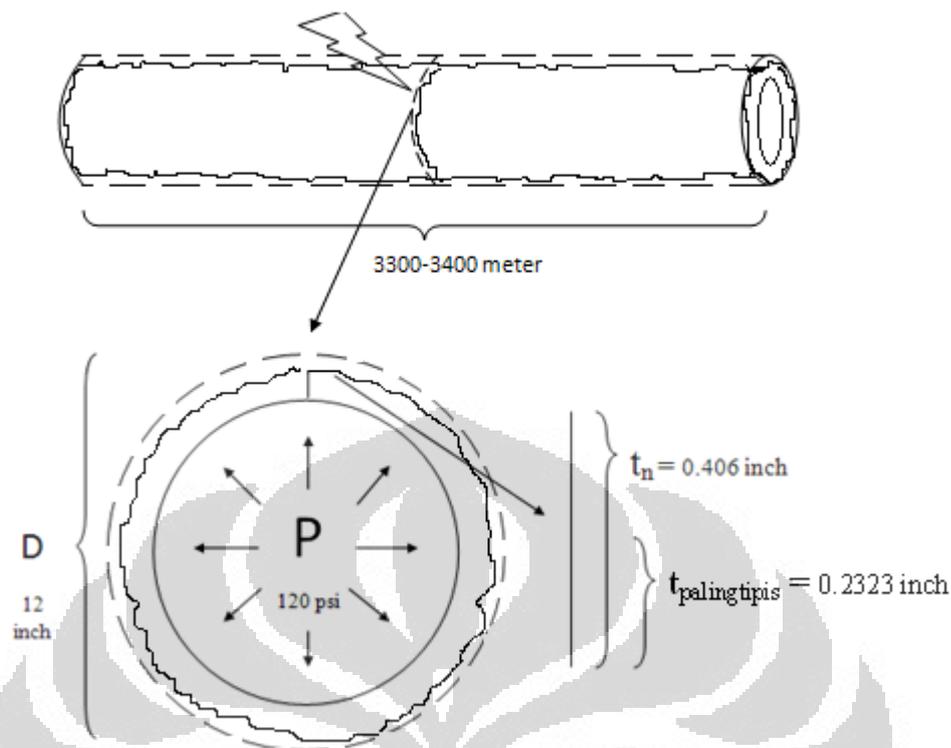
data diatas dapat dilihat pada BAB 2.4

Dengan melakukan inspeksi UT pada pipa dengan spesifikasi diatas didapatkan data ketebalan dan jarak yang dapat dilihat pada lampiran 1. Dari data-data tersebut dapat digambarkan pipa pada saat fabrikasi menjadi gambar di bawah ini



Gambar 4.1 pipa sesuai data pada tabel 4.1

Dari Gambar 4.1 jika pipa sepanjang 3300-3400 meter tersebut dipotong atau dilihat dari samping, maka dapat dilihat bahwa pipa memiliki diameter terluar 12 inch dengan ketebalan awal pipa sebesar 0.406 inch. Pipa di operasikan pada tekanan 150 psi yang menekan secara homogen ke seluruh permukaan dinding pipa bagian dalam. Ketebalan awal sebesar 0.406 inch akan berkurang seiring dengan waktu karena mengalami korosi. Sesuai data inspeksi ketebalan pada lampiran 1 memiliki ketebalan yang paling rendah sebesar 0.2323 inch pada jarak 20 meter yang dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 4.2 Gambaran Pipa Setelah Mengalami Korosi

Data-data inilah yang selanjutnya akan diolah sehingga didapatkan sisa masa pipa pakai

4.2 Analisa Perhitungan Manual

4.2.1 Ketebalan Minimum

Berdasarkan metodologi persamaan (3.1) dan (3.2), tebal minimum yang diperbolehkan jika menggunakan tekanan design adalah 0.1389 inch, Nilai ketebalan minimum ini akan berbeda apabila dalam perhitungan digunakan tekanan operasional. Pada tekanan operasional tebal minimum yang di perbolehkan sebesar 0.0417 inch.

Perbedaan ketebalan minimum ini sangatlah signifikan yaitu sebesar 0.0972 inch. yang berarti meskipun ketebalan minimum design sudah dicapai sebetulnya masih aman dipergunakan jika pipa dioperasikan menggunakan tekanan operasional. Dari perhitungan diatas dapat juga dilihat bahwa ketebalan minimum sangat di pengaruhi oleh tekanan hal tersebut dikarenakan variabel-

variabel yang lain bersifat relatif konstan.

4.2.2 Laju Korosi

Dari data ketebalan pada lampiran satu, didapatkan pipa yang mengalami korosi paling parah terjadi pada titik 20 meter dengan ketebalan pipa adalah 0.2323 inch. Titik tersebut merupakan titik pipa yang paling tipis dan dapat diartikan memiliki laju korosi paling cepat terjadi karena pada awal pembuatannya pipa tersebut memiliki ketebalan yang sama.

Laju korosi pada titik terparah menunjukkan angka 0.005 inch/year (metodologi persamaan (3.3)), yang dapat diartikan bahwa korosi telah merusak pipa setebal 0.005 inch setiap tahunnya. Kecepatan penipisan tersebut merupakan yang paling cepat dari seluruh data yang ada sehingga laju korosi inilah yang digunakan nantinya untuk menghitung sisa waktu pakai pipa

4.2.3 Sisa Masa Pakai Pipa

Sisa masa pakai pipa sesuai metodologi persamaan (3.4) dan (3.5) adalah 17.75 tahun untuk tebal minimum design dan 36.21 tahun untuk tebal minimum operasional. Seperti pada analisa ketebalan minimum perbedaan penggunaan tekanan akan menimbulkan perbedaan sisa waktu pakai yang relatif besar. 20 tahun bukan waktu yang sebentar, ini dapat berakibat dengan cost yang digunakan untuk penggantian pipa yang sebetulnya masih dapat dipergunakan. Tetapi perlu juga diperhatikan resiko kebocoran yang semakin besar, yang jika terjadi kebocoran jelas akan menimbulkan kerugian yang jauh lebih besar dari penggantian pipa. Disini penulis lebih condong untuk menggunakan sisa masa pakai pipa adalah 17.75 tahun karena menimbang kemungkinan akan adanya tekanan yang berlebih dan titik korosi yang mengalami laju korosi yang lebih cepat dari titik yang terukur. Nilai resiko dan analisa resiko terhadap biaya tidak akan dibahas lebih lanjut dalam tulisan ini.

4.2.4 Maximum Allowable Working Pressure(MAWP)

Salah satu faktor penting yang ingin diketahui selain sisa waktu pakai adalah tekanan maksimum yang diperbolehkan (MAWP). Nilai MAWP pada metodologi persamaan (3.7) menunjukkan tekanan maksimal yang di perbolehkan dengan keadaan ketebalan pipa saat inspeksi adalah sebesar 836.28 psi. Nilai MAWP ini akan terus menerus menurun seiring dengan penipisan yang terjadi pada dinding pipa. Yang dapat dilihat dari perbedaan MAWP pada saat fabrikasi yang sebesar 1461 psi(persamaan (3.7)) dan 33 tahun kemudian yang sebesar 836.28 psi(persamaan (3.6)). jika MAWP ini dilampaui maka tekanan dari dalam akan lebih besar dari kemampuan pipa untuk menahan tekanan dan kemungkinan terjadinya ledakan atau kebocoran sangatlah besar.

4.2.5 Safety Faktor

Dari perhitungan MAWP saat inspeksi kemudian dapat dibandingkan dengan tekanan operasional yang digunakan. Besarnya perbandingan ini dinamakan *Safety factor* Dengan nilai *safety faktor* 5.6 (metodologi persamaan (3.8)) menunjukkan bahwa tekanan operasional yang digunakan masih dalam batas aman, bahkan ketika tekanan naik sampai lima kalinya, pipa masih dapat digunakan. Nilai minimum dari safety faktor adalah satu, jika didapati nilai yang kurang dari satu maka pipa tersebut dapat dikategorikan berbahaya karena tekanan yang dipergunakan melebihi tekanan maksimum dari pipa.

4.3 Hasil Perhitungan dengan program dan Pemodelan data

4.3.1 Tampilan Awal

Penulis membuat sebuah program untuk melakukan pengolahan data,. Program tersebut memiliki tampilan awal seperti di bawah ini:

The screenshot shows the 'milestoneBlast' application window. It features several input sections:

- Data Pipa:** Fields for Tahun Pembuatan, Tebal (inch), Diameter Luar (inch), Min Yield, Tekanan Design (psi), Faktor Derating Suhu, Faktor Design Lokasi, and Faktor Sambungan, all set to 0.
- Data inspeksi:** Fields for Tahun Inspeksi, Tebal paling tipis (inch), and Tekanan Operasional (psi), all set to 0.
- Perkiraan Ketebalan Pada Pipa:** Fields for Tahun yang Anda Ingin Ketahui Ketebalannya, Pada Jarak (meter), and Ketebalannya Adalah (inch), all set to 0.
- Hasil:** Output fields for Ketebalan minimum (inch), Laju Korosi (inch/tahun), MAWP (psi), Safety Factor, and Sisa Masa Pakai (tahun), all showing 0.

Buttons for 'Hitung', 'Reset', and 'Animasi' are located between the input and output sections.

Gambar 4.3 Tampilan Awal dari Program

Pada tampilan awal terlihat kolom-kolom sebelah kiri yang harus diisi mulai dari data pipa yang berisikan tahun pembuatan sampai dengan faktor sambungan, kemudian dilanjutkan dengan data inspeksi dari tahun inspeksi sampai dengan tekanan operasional.

4.3.2 Perhitungan dengan Program

Dengan memasukkan data-data yang sama seperti yang digunakan dalam perhitungan manual ke dalam program, dan mengklik “Hitung” maka akan didapatkan hasil seperti berikut:

The screenshot shows the 'milestoneBlast' application window. It is divided into several sections:

- Data Pipa:**
 - Tahun Pembuatan: 1973
 - Tebal (inch): 0.406
 - Diameter Luar (inch): 12
 - Min Yield: 30000
 - Tekanan Design (psi): 500
 - Faktor Derating Suhu: 1
 - Faktor Design Lokasi: 0.72
 - Faktor Sambungan: 1
- Data inspeksi:**
 - Tahun Inspeksi: 2006
 - Tebal paling tipis (inch): 0.2323
 - Tekanan Operasional (psi): 150
- Perkiraan Ketebalan Pada Pipa:**
 - Tahun yang Anda Ingin Ketahui Ketebalannya: 0
 - Pada Jarak: 0 (meter)
 - Ketebalannya Adalah: 0 (inch)
- Hasil:**
 - Ketebalan minimum: 0.138889 (inch)
 - Laju Korosi: 0.00526364 (inch/tahun)
 - MAWP: 836.28 (psi)
 - Safety Factor: 5.5752
 - Sisa Masa Pakai: 17.7465 (tahun)

Buttons for 'Hitung', 'Reset', and 'Animasi' are located in the center of the interface.

Gambar 4.4 Tampilan Perhitungan dari Program

Dari tampilan diatas dapat dilihat hasil ketebalan minimum, laju korosi, MAWP, Safety Factor dan sisa masa pakai sama dengan perhitungan manual yang telah dilakukan sebelumnya. Ketebalan minimum yang ditampilkan merupakan ketebalan minimum yang dihitung menggunakan tekanan design.

Ada sebuah tambahan perhitungan dalam program ini yang berbeda dengan pengolahan data manual yaitu perkiraan ketebalan pipa. Bagian ini dapat dilihat pada bagian bawah dari program. Dengan memasukkan data yang dibutuhkan dan mengklik “Hitung” disamping kanan maka akan didapatkan hasil sebagai berikut

4.3.3 Pemodelan Ketebalan di Titik Selain Titik Inspeksi

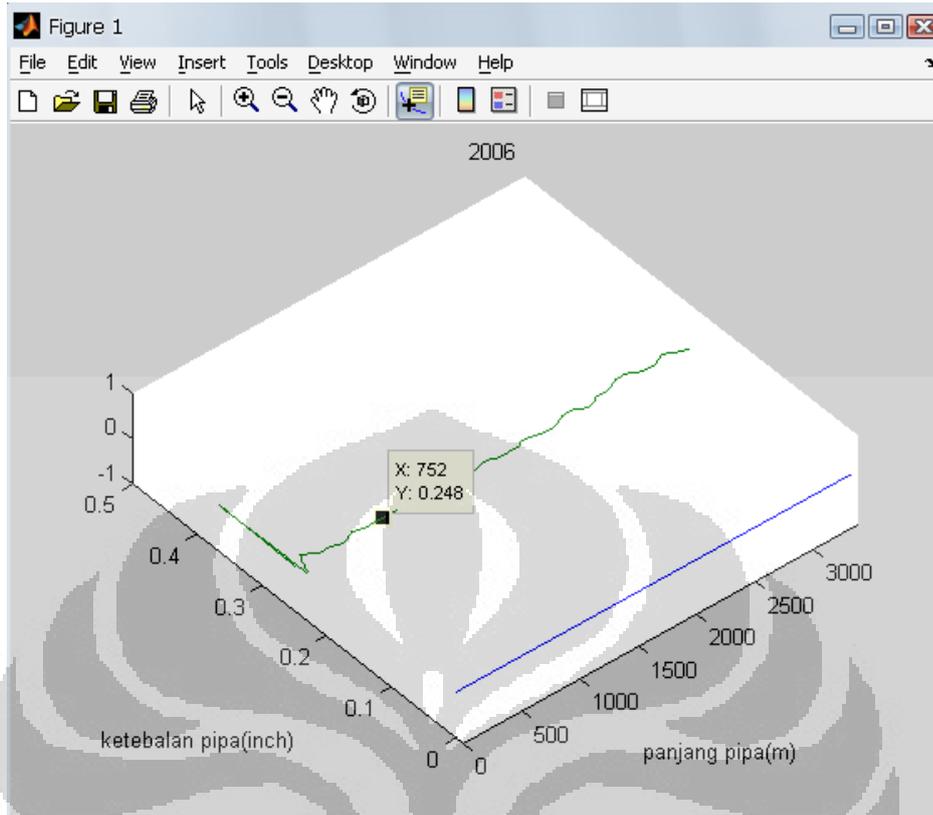
The screenshot shows the 'milestone8blast' software interface. It is divided into several sections:

- Data Pipa:**
 - Tahun Pembuatan: 1973
 - Tebal (inch): 0.406
 - Diameter Luar (inch): 12
 - Min Yield: 30000
 - Tekanan Design (psi): 500
 - Faktor Derating Suhu: 1
 - Faktor Design Lokasi: 0.72
 - Faktor Sambungan: 1
- Data inspeksi:**
 - Tahun Inspeksi: 2006
 - Tebal paling tipis (inch): 0.2323
 - Tekanan Operasional (psi): 150
- Perkiraan Ketebalan Pada Pipa:**
 - Tahun yang Anda Ingin Ketahui Ketebalannya: 2006
 - Pada Jarak: 752 (meter)
 - Ketebalannya Adalah: 0.248 (inch)
- Hasil:**
 - Ketebalan minimum: 0.138889 (inch)
 - Laju Korosi: 0.00478788 (inch/tahun)
 - MAWP: 892.8 (psi)
 - Safety Factor: 5.952
 - Sisa Masa Pakai: 22.789 (tahun)

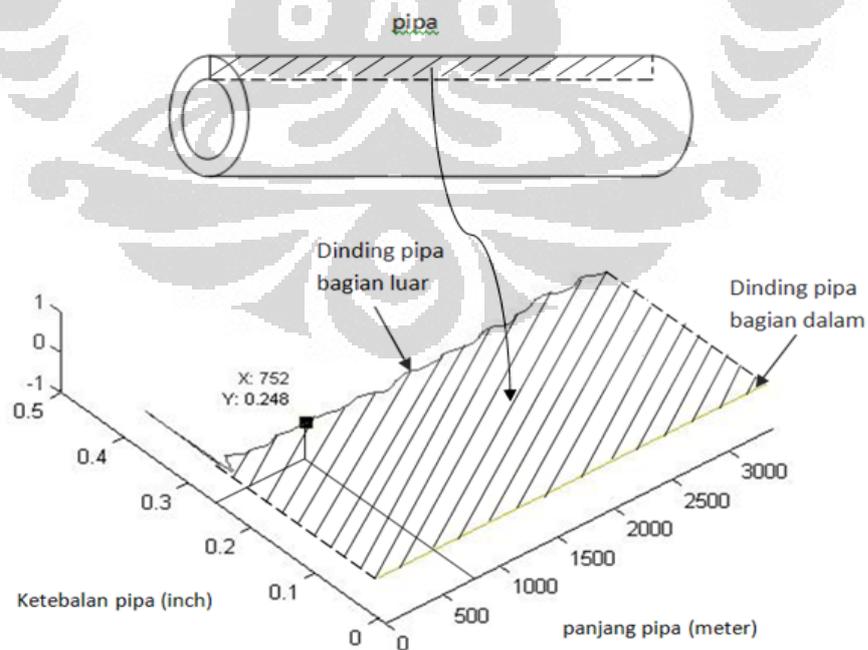
Buttons for 'Hitung', 'Reset', and 'Animasi' are visible between the input sections.

Gambar 4.5 Tampilan Perhitungan Perkiraan Ketebalan Pipa pada jarak tertentu

Pada tampilan diatas, dimasukkan tahun 2006 yang merupakan tahun inspeksi, dan jarak 752 meter yang tidak ada dalam data inspeksi. Memanfaatkan kelebihan komputer dalam menghitung cepat, kita dapat menginterpolasi data-data ketebalan yang ada sehingga kita dapat memperkirakan ketebalan yang terjadi di suatu titik yang tidak diinspeksi.



Gambar 4.6 Tampilan Grafik ketebalan terhadap panjang pipa
Yang dijelaskan dengan gambar di bawah ini.



Gambar 4.7 Penjelasan Grafik pada Gambar 4.6

Universitas Indonesia

Daerah yang diarsir menunjukkan tebal pipa yang tersisa jika pipa dipotong secara melintang. Hasil dari interpolasi menunjukkan ketebalan pada jarak 752 meter adalah sebesar 0.248 inch. Jika melihat pada grafik dari ada sebuah kotak kecil yang bertuliskan $x: 752$ dan $y: 0.248$ dimana x menunjukkan panjang pipa dan y adalah ketebalannya. Kotak kecil tersebut dapat di geser-geser sepanjang kurva dan nilai x dan y akan secara otomatis menyesuaikan dimana titik tersebut berada, sehingga dapat secara leluasa mengetahui ketebalan dan jarak pada tahun tersebut.

4.3.4 Pemprediksian Ketebalan pada Tahun-tahun setelah Inspeksi

Program ini dibuat menjadi sesuatu yang lebih lagi dengan tidak hanya mencari ketebalan di suatu titik tetapi juga ditambahkan untuk tahun-tahun kedepannya yang ingin kita ketahui. Data hasil interpolasi pada saat inspeksi merupakan data ketebalan yang dapat diambil dan kemudian dihitung laju korosinya, setelah didapatkan laju korosinya maka kita dapat menghitung korosi yang terjadi setelah x tahun. Ketebalan awal pipa dikurangi dengan ketebalan yang hilang akibat korosi menunjukkan ketebalan pipa pada tahun yang ingin kita ketahui tersebut.

Dibawah ini dicontohkan jika kita ingin mengetahui pada tahun 2030 dan pada jarak 20 meter (jarak dimana korosi paling cepat terjadi)

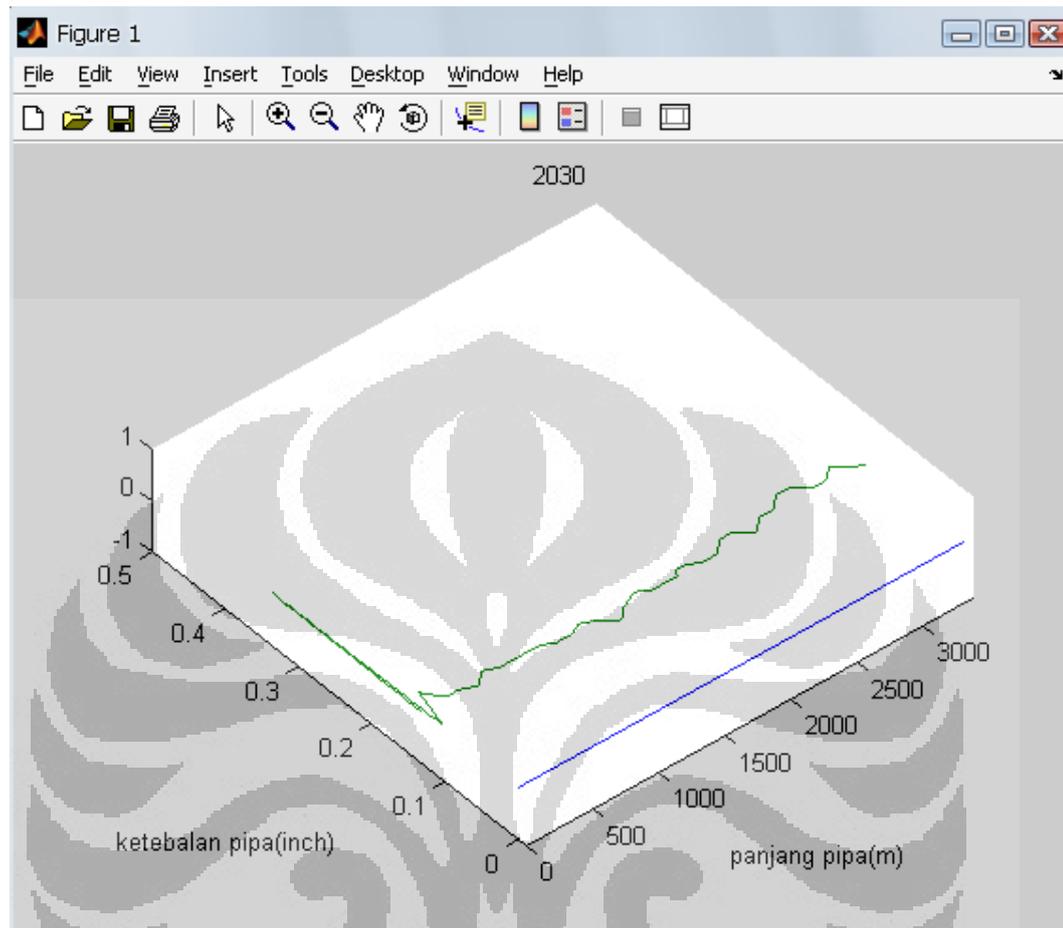
The screenshot shows a software window titled 'milestoneblast' with a 'mapa50' icon in the top right corner. The interface is divided into several sections:

- Data Pipa:**
 - Tahun Pembuatan: 1973
 - Tebal (inch): 0.406
 - Diameter Luar (inch): 12
 - Min Yield: 30000
 - Tekanan Design (psi): 500
 - Faktor Derating Suhu: 1
 - Faktor Design Lokasi: 0.72
 - Faktor Sambungan: 1
- Data Inspeksi:**
 - Tahun Inspeksi: 2006
 - Tebal paling tipis (inch): 0.2323
 - Tekanan Operasional (psi): 150
- Perkiraan Ketebalan Pada Pipa:**
 - Tahun yang Anda Ingin Ketahui Ketebalannya: 2030
 - Pada Jarak: 20 (meter)
 - Ketebalannya Adalah: 0.105973 (inch)
- Hasil:**
 - Ketebalan minimum: 0.138889 (inch)
 - Laju Korosi: 0.00526364 (inch/tahun)
 - MAWP: 381.502 (psi)
 - Safety Factor: 2.54335
 - Sisa Masa Pakai: -6.2535 (tahun)

Buttons for 'Hitung', 'Reset', and 'Animasi' are located between the 'Data Pipa' and 'Data Inspeksi' sections. A 'Hitung' button is also present in the 'Perkiraan Ketebalan Pada Pipa' section.

Gambar 4.8 Tampilan Perhitungan Perkiraan Ketebalan Pipa pada tahun tertentu. Ketebalan minimum, Laju korosi, MAWP, Safety Faktor dan sisa masa pakai juga dihitung setelah tombol hitung di klik. Dari tampilan dapat dilihat hasil sisa masa pakai yang negatif hal ini menunjukkan bahwa pipa sudah melewati masa pakai.

Grafik ketebalan pada tahun 2030 sebagai berikut:



Gambar 4.9 Tampilan Grafik Ketebalan Pipa pada tahun 2030

4.3.5 Animasi Perubahan Ketebalan

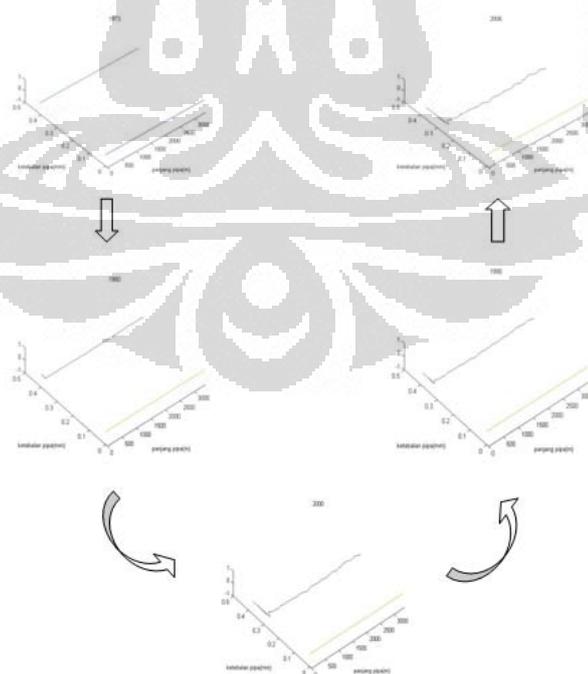
Sebagai tambahan agar dapat membayangkan bagaimana korosi itu terjadi maka penulis menambahkan satu fungsi animasi. Dengan mengklik tombol “animasi” maka akan di tampilkan perubahan grafik ketebalan dari pembuatan pipa hingga tahun inspeksi.

The screenshot shows the 'milestoneBlast' software interface with the following data:

Data Pipa		Data Inspeksi		Perkiraan Ketebalan Pada Pipa		Hasil	
Tahun Pembuatan	1973	Tahun Inspeksi	2006	Tahun yang Anda Ingin Ketahui Ketebalannya	2006	Ketebalan minimum	0.138889 (inch)
Tebal (inch)	0.406	Tebal paling tipis (inch)	0.2323	Pada Jarak	752 (meter)	Laju Korosi	0.00526364 (inch/tahun)
Diameter Luar (inch)	12	Tekanan Operasional (psi)	150			MAWP	836.28 (psi)
Min Yield	30000					Safety Factor	5.5752
Tekanan Design (psi)	500					Sisa Masa Pakai	17.7465 (tahun)
Faktor Derating Suhu	1						
Faktor Design Lokasi	0.72						
Faktor Sambungan	1						

Gambar 4.10 Tampilan Penggunaan Fungsi Animasi

Grafik akan ditampilkan pertahun semenjak pipa tersebut di gunakan sampai dengan waktu inspeksi. Dibawah ini diambil contoh pergerakannya saja.

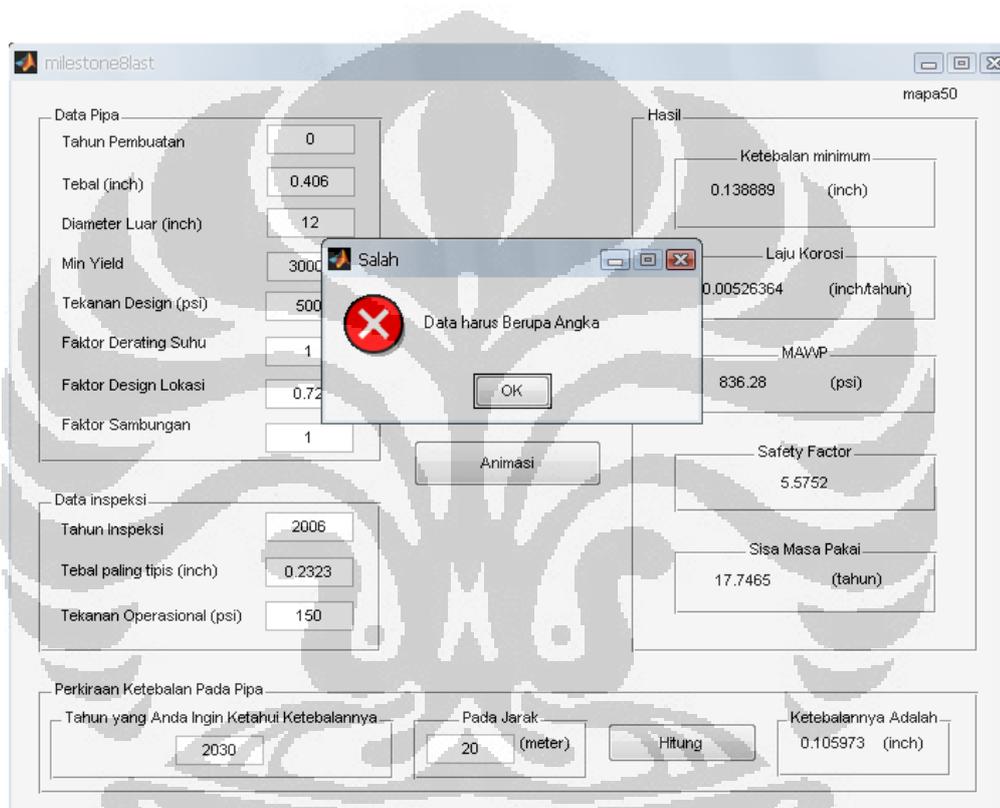


Gambar 4.11 Contoh Perubahan Grafik dari hasil Animasi

Universitas Indonesia

4.3.6 Pengamanan dan Fungsi “reset”

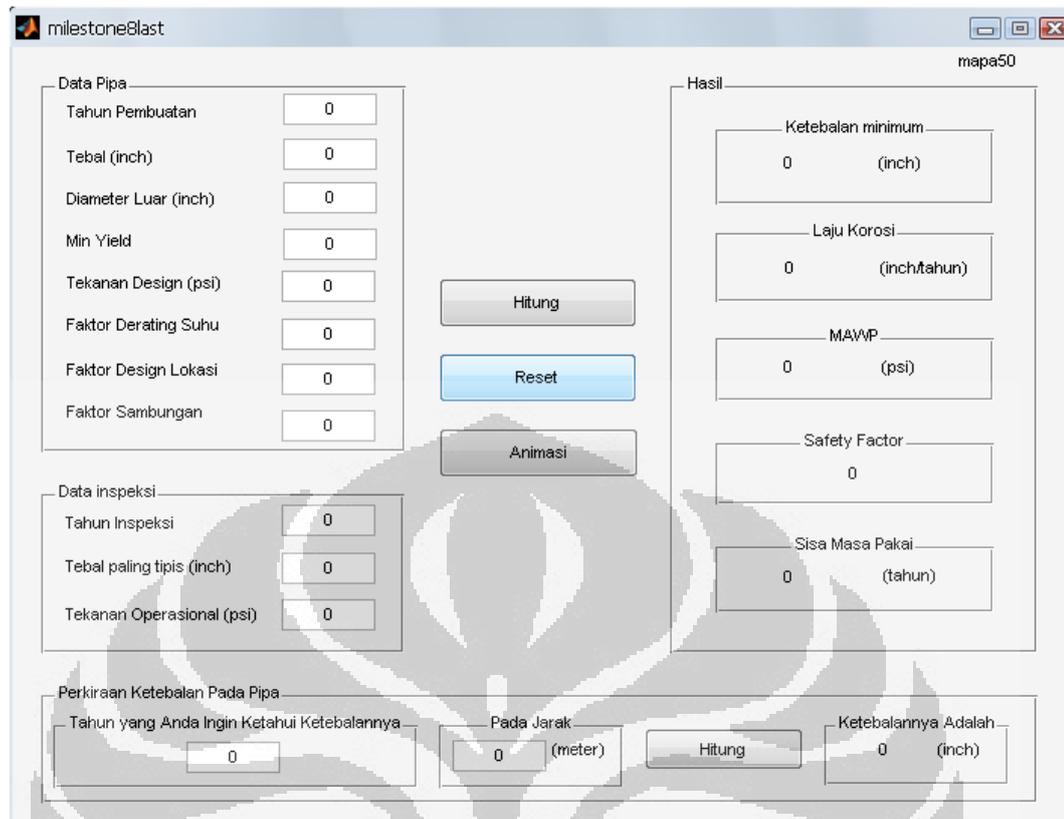
Agar program ini dapat dijalankan dan tidak terdapat error atau berhentinya program, penulis membuat sebuah pengamanan. Pengamanan tersebut adalah ketika data-data yang dimasukkan berupa huruf maka akan muncul pesan “Data harus berupa angka”, hal ini diperlukan karena ketika tidak adanya pengamanan ini, jika data yang dimasukkan berupa huruf maka program akan crash dan mati.



Gambar 4.12 Tampilan Salah ketika Dimasukkan Data yang Bukan Berupa Angka

Pada tampilan di atas penulis mencoba memasukkan huruf “b” pada kolom tahun pembuatan, begitu penulis ingin mengisi data yang lain dengan memindahkan kursor ke kolom yang lain, maka sebuah pesan akan muncul dan tahun pembuatan di set menjadi “0”

Jika ingin menghapus semua tulisan dan memory dari perhitungan sebelumnya dapat mempergunakan tombol “Reset” maka semua data akan hilang kecuali grafik.



The screenshot shows the 'milestoneBlast' application window. The interface is divided into several sections:

- Data Pipa:** A list of input fields with values set to 0: Tahun Pembuatan, Tebal (inch), Diameter Luar (inch), Min Yield, Tekanan Design (psi), Faktor Derating Suhu, Faktor Design Lokasi, and Faktor Sambungan.
- Data inspeksi:** A list of input fields with values set to 0: Tahun Inspeksi, Tebal paling tipis (inch), and Tekanan Operasional (psi).
- Perkiraan Ketebalan Pada Pipa:** A section with three input fields: 'Tahun yang Anda Ingin Ketahui Ketebalannya' (0), 'Pada Jarak' (0 meter), and 'Ketebalannya Adalah' (0 inch). A 'Hitung' button is located between the second and third fields.
- Hasil:** A section displaying calculated results: 'Ketebalan minimum' (0 inch), 'Laju Korosi' (0 inch/tahun), 'MAWP' (0 psi), 'Safety Factor' (0), and 'Sisa Masa Pakai' (0 tahun).

Control buttons are located in the center: 'Hitung' (grey), 'Reset' (blue and highlighted), and 'Animasi' (grey).

Gambar 4.13 Tampilan Penggunaan Tombol Reset

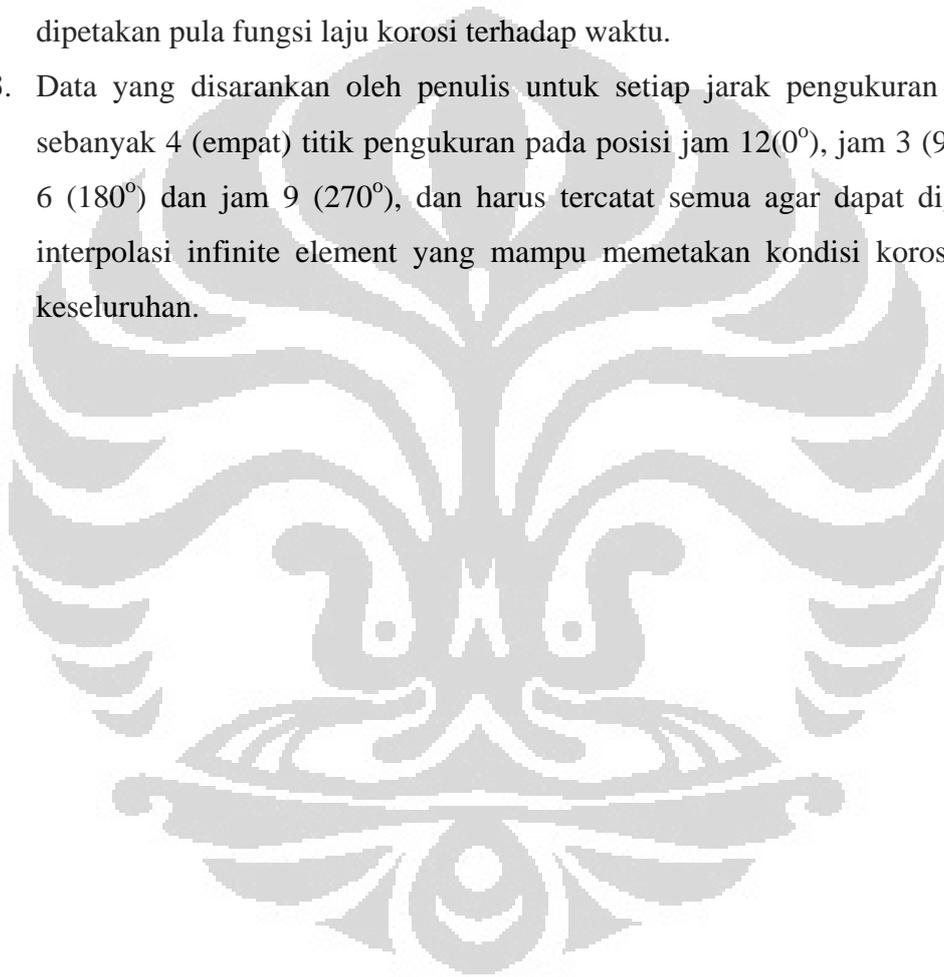
BAB 5

5.1 KESIMPULAN

1. Dengan mengetahui Ketebalan pipa paling tipis yang berada pada jarak 20 meter dengan wall thickness 0,02323 inch, program telah memiliki hasil perhitungan yang sama dengan perhitungan manual. Pada kondisi ketebalan pipa paling tipis tersebut, MAWP yang diizinkan adalah 836,28 psi. Laju korosi dengan nilai 0.005 inch/year, dan ketebalan pipa paling rendah yang diizinkan adalah 0,1389 inch.
2. Dengan melihat safety faktor yang bernilai 5,6 dan sisa masa pakai 17,75 tahun, pipa mainline ini masih dapat dinyatakan layak pakai untuk 17 tahun ke depan.
3. Program ini mampu memprediksi ketebalan pipa pada titik yang tidak diukur. Dan sekaligus memprediksi perhitungan-perhitungan korosi di tahun-tahun setelah inspeksi. Program ini selanjutnya dapat digunakan untuk mempercepat pengolahan data dan mendukung efektifitas kerja.

5.2 SARAN

1. Pada tahun 2023 perlu diadakan inspeksi kembali atau penggantian pipa baru mengingat 17,75 tahun sebetulnya merupakan batas aman dan akan benar-benar berbahaya pada tahun 2042(36 tahun dari tahun 2006 yang merupakan remaining life dengan menggunakan operasional pressure).
2. Untuk pengolahan data yang lebih akurat PT X dapat mengambil data dari periode pengukuran yang berbeda tetapi pada titik yang sama, sehingga dapat dipetakan pula fungsi laju korosi terhadap waktu.
3. Data yang disarankan oleh penulis untuk setiap jarak pengukuran diambil sebanyak 4 (empat) titik pengukuran pada posisi jam 12(0°), jam 3 (90°), jam 6 (180°) dan jam 9 (270°), dan harus tercatat semua agar dapat digunakan interpolasi infinite element yang mampu memetakan kondisi korosi secara keseluruhan.



DAFTAR REFERENSI

- [1] Bhaskaran, R., N. Palaniswamy, and N.S. Rengaswamy, Global Cost of Corrosion—A Historical Review, in Corrosion: Materials, Vol 13B, ASM Handbook. 2005, ASM International.
- [2] Winnik, S. Corrosion-underinsulation (CUI) guidelines, CRC Press LLC© 2008, Institute of Materials, Minerals & Mining
- [3] U, H Henry, R.W Revie Uhlig, Corrosion and corrosion control : an introduction to corrosion science and engineering 4th ed., 2008, John Wiley & Sons Inc
- [4] H. P. Hack , Evaluating galvanic corrosion, in ASM Handbook , Vol. 13A, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection , ASM International, Materials Park, OH, 2003
- [5] Schweitzer, Philip A. Corrosion-resistant piping systems, Piping-Corrosion Series: Corrosion:5, 1994 Marcel Dekke Inc
- [6] Maev, R.G., “New Generation of High Resolution Ultrasonic Imaging Technique for Material Characterization and NDT,” Proceedings of ECNDT 2006, 9th European Conference on NDT, Berlin, Germany, 2006,pp. 1-7.
- [7] Nondestructive Testing Handbook, Third Edition, Vol. 7: Ultrasonic Testing, Technical Editors G.L. Workman and D. Kishoni, American Society for Nondestructive Testing, Columbus, OH, 2007.
- [8] Nondestructive Evaluation Capabilities Data Book, 3rd Edition,NTIAC, DB-97-02, November 1997.
- [9] Solihin, M Yudi M. Analisa Umur Pakai, sistem pemipaan produksi minyak dan gas, meggunakan metode RBI, Jakarta, 2002
- [10] “Report Mainline SP. LANGGAK.” *BOB PT. Bumi Siak Pusako - Pertamina Hulu*. 2006.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Data Ketebalan Pipa

Posisi(m)	Actual thickness (in)	keterangan
0	0.2480	
12	0.3661	REPAED
20	0.2323	DLM TANAH
100	0.2598	ELBOW
200	0.2480	
300	0.2480	
400	0.2441	
500	0.2520	
600	0.2480	
700	0.2480	
800	0.2480	
900	0.2480	
1000	0.2441	
1100	0.2441	
1200	0.2480	
1300	0.2441	
1400	0.2362	
1500	0.2441	
1600	0.2480	
1664	0.2480	
1700	0.2441	
1800	0.2441	
1900	0.2441	
1926	0.2480	

Posisi(m)	Actual thickness (in)	keterangan
2000	0.2480	
2100	0.2441	
2200	0.2441	
2300	0.2520	
2400	0.3701	
2500	0.2441	
2600	0.2520	
2700	0.2520	
2800	0.2598	
2900	0.2598	
3000	0.2520	
3100	0.2520	
3200	0.2598	
3300	0.2520	
3367	0.2480	

Lampiran 2: Source Code

%perhatian sebelumnya program ini tidak akan berjalan jika tidak memiliki layout GUI yang sesuai dengan variable-variable dalam program ini

```
function varargout = milestone8last(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @milestone8last_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @milestone8last_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if narginout
    [varargout{1:narginout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
```

```
function milestone8last_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
initialize_gui(hObject, handles, false);
```

```

function varargout = milestone8last_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
varargout{ 1 } = handles.output;

function TahunPembuatan_Callback(hObject, eventdata, handles)
TahunPembuatan = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(TahunPembuatan)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.TahunPembuatan = TahunPembuatan;
guidata(hObject,handles)
function TahunPembuatan_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function DiameterLuar_Callback(hObject, eventdata, handles)
DiameterLuar = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(DiameterLuar)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.DiameterLuar = DiameterLuar;
guidata(hObject,handles)

```

```

function DiameterLuar_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function Tebal_Callback(hObject, eventdata, handles)
Tebal = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Tebal)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorDlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.Tebal = Tebal;
guidata(hObject,handles)
function Tebal_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function FaktorDeratingSuhu_Callback(hObject, eventdata, handles)
FaktorDeratingSuhu = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(FaktorDeratingSuhu)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorDlg('Data harus Berupa Angka','Salah');

```

```

end
handles.metricdata.FaktorDeratingSuhu = FaktorDeratingSuhu;
guidata(hObject,handles)
function FaktorDeratingSuhu_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function TekananDesign_Callback(hObject, eventdata, handles)
TekananDesign = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(TekananDesign)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorDlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.TekananDesign = TekananDesign;
guidata(hObject,handles)
function TekananDesign_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function MinYield_Callback(hObject, eventdata, handles)
MinYield = str2double(get(hObject, 'String'));

```

```

if isnan(MinYield)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.MinYield = MinYield;
guidata(hObject,handles)
function MinYield_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function FaktorDesignLokasi_Callback(hObject, eventdata, handles)
FaktorDesignLokasi = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(FaktorDesignLokasi)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.FaktorDesignLokasi = FaktorDesignLokasi;
guidata(hObject,handles)
function FaktorDesignLokasi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function FaktorSambungan_Callback(hObject, eventdata, handles)
FaktorSambungan = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(FaktorSambungan)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorDlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.FaktorSambungan = FaktorSambungan;
guidata(hObject,handles)
function FaktorSambungan_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function TahunInspeksi_Callback(hObject, eventdata, handles)
TahunInspeksi = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(TahunInspeksi)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorDlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.TahunInspeksi = TahunInspeksi;
guidata(hObject,handles)
function TahunInspeksi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

```

```
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function TekananOperasional_Callback(hObject, eventdata, handles)
TekananOperasional = str2double(get(hObject, 'String'));
```

```
if isnan(TekananOperasional)
```

```
    set(hObject, 'String', 0);
```

```
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
```

```
end
```

```
handles.metricdata.TekananOperasional = TekananOperasional;
```

```
guidata(hObject,handles)
```

```
function TekananOperasional_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
else
```

```
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
```

```
end
```

```
function TebalPalingTipis_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
TebalPalingTipis = str2double(get(hObject, 'String'));
```

```
if isnan(TebalPalingTipis)
```

```
    set(hObject, 'String', 0);
```

```
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
```

```
end
```

```
handles.metricdata.TebalPalingTipis = TebalPalingTipis;
```

```
guidata(hObject,handles)
```

```
function TebalPalingTipis_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function Tahun_Callback(hObject, eventdata, handles)
Tahun = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Tahun)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end
handles.metricdata.Tahun = Tahun;
guidata(hObject,handles)
function Tahun_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function Jarak_Callback(hObject, eventdata, handles)
Jarak = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Jarak)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Data harus Berupa Angka','Salah');
end

```

```

handles.metricdata.Jarak = Jarak;
guidata(hObject,handles)
function Jarak_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Hitung_Callback(hObject, eventdata, handles)
KetebalanMinimum = (handles.metricdata.TekananDesign *
handles.metricdata.DiameterLuar)/(2 * handles.metricdata.MinYield *
handles.metricdata.FaktorDesignLokasi *
handles.metricdata.FaktorSambungan *
handles.metricdata.FaktorDeratingSuhu);
set(handles.KetebalanMinimum, 'String', KetebalanMinimum);
handles.metricdata.KetebalanMinimum = KetebalanMinimum;
guidata(hObject,handles)
LajuKorosi = (handles.metricdata.Tebal -
handles.metricdata.TebalPalingTipis)/(handles.metricdata.TahunInspeksi-
handles.metricdata.TahunPembuatan);
set(handles.LajuKorosi, 'String', LajuKorosi);
handles.metricdata.LajuKorosi = LajuKorosi;
guidata(hObject,handles)
SisaMasaPakai = (handles.metricdata.TebalPalingTipis-
handles.metricdata.KetebalanMinimum)/handles.metricdata.LajuKorosi;
set(handles.SisaMasaPakai, 'String', SisaMasaPakai);
MAWP = (handles.metricdata.TebalPalingTipis * (2 *
handles.metricdata.MinYield * handles.metricdata.FaktorDesignLokasi *

```

```
handles.metricdata.FaktorSambungan *
handles.metricdata.FaktorDeratingSuhu))/handles.metricdata.DiameterLua
r;
set(handles.MAWP, 'String', MAWP);
handles.metricdata.MAWP = MAWP;
guidata(hObject,handles)
SafetyFactor = handles.metricdata.MAWP /
handles.metricdata.TekananOperasional;
set(handles.SafetyFactor, 'String', SafetyFactor);

function Hitung2_Callback(hObject, eventdata, handles)
%posisi
A(1,1) = 0;
A(1,2) = 12;
A(1,3) = 20;
A(1,4) = 100;
A(1,5) = 200;
A(1,6) = 300;
A(1,7) = 400;
A(1,8) = 500;
A(1,9) = 600;
A(1,10) = 700;
A(1,11) = 800;
A(1,12) = 900;
A(1,13) = 1000;
A(1,14) = 1100;
A(1,15) = 1200;
A(1,16) = 1300;
A(1,17) = 1400;
A(1,18) = 1500;
```

$$A(1,19) = 1600;$$

$$A(1,20) = 1664;$$

$$A(1,21) = 1700;$$

$$A(1,22) = 1800;$$

$$A(1,23) = 1900;$$

$$A(1,24) = 1926;$$

$$A(1,25) = 2000;$$

$$A(1,26) = 2100;$$

$$A(1,27) = 2200;$$

$$A(1,28) = 2300;$$

$$A(1,29) = 2400;$$

$$A(1,30) = 2500;$$

$$A(1,31) = 2600;$$

$$A(1,32) = 2700;$$

$$A(1,33) = 2800;$$

$$A(1,34) = 2900;$$

$$A(1,35) = 3000;$$

$$A(1,36) = 3100;$$

$$A(1,37) = 3200;$$

$$A(1,38) = 3300;$$

$$A(1,39) = 3367;$$

%actual thickness

$$A(2,1) = 0.2480;$$

$$A(2,2) = 0.3661;$$

$$A(2,3) = 0.2323;$$

$$A(2,4) = 0.2598;$$

$$A(2,5) = 0.2480;$$

$$A(2,6) = 0.2480;$$

$$A(2,7) = 0.2441;$$

$$A(2,8) = 0.2520;$$

$A(2,9) = 0.2480;$
 $A(2,10) = 0.2480;$
 $A(2,11) = 0.2480;$
 $A(2,12) = 0.2480;$
 $A(2,13) = 0.2441;$
 $A(2,14) = 0.2441;$
 $A(2,15) = 0.2480;$
 $A(2,16) = 0.2441;$
 $A(2,17) = 0.2362;$
 $A(2,18) = 0.2441;$
 $A(2,19) = 0.2480;$
 $A(2,20) = 0.2480;$
 $A(2,21) = 0.2441;$
 $A(2,22) = 0.2441;$
 $A(2,23) = 0.2441;$
 $A(2,24) = 0.2480;$
 $A(2,25) = 0.2480;$
 $A(2,26) = 0.2441;$
 $A(2,27) = 0.2441;$
 $A(2,28) = 0.2520;$
 $A(2,29) = 0.2520;$
 $A(2,30) = 0.2441;$
 $A(2,31) = 0.2520;$
 $A(2,32) = 0.2520;$
 $A(2,33) = 0.2598;$
 $A(2,34) = 0.2598;$
 $A(2,35) = 0.2520;$
 $A(2,36) = 0.2520;$
 $A(2,37) = 0.2598;$
 $A(2,38) = 0.2520;$
 $A(2,39) = 0.2480;$

```

%tampilan grafik
figure1 = figure;
axes1 = axes(...
    'XAxisLocation','top',...
    'Parent',figure1);
ylim(axes1,[-0.01 0.5]);
xlim(axes1,[0 3368]);
hold(axes1,'all');
view(-40,75);
xlabel(axes1,'panjang pipa(m)');
ylabel(axes1,'ketebalan pipa(inch)');
lt = handles.metricdata.TahunInspeksi-
handles.metricdata.TahunPembuatan;
n = 39;
tn = handles.metricdata.Tebal;
x = A(1,1):.1:A(1,n);
y0 = interp1(A(1,:), A(2,:) - A(2,:), x);
y = interp1(A(1,:), A(2,:) + ((tn-A(2,:))/lt)*lt, x);
y = interp1(A(1,:), tn-(((tn-A(2,:))/lt)*(handles.metricdata.Tahun-
handles.metricdata.TahunPembuatan)), x);
plot(x, y0)
plot(x, y)
title(handles.metricdata.Tahun);
pause(0.5);
Ketebalan = interp1(A(1,:), tn-(((tn-A(2,:))/lt)*(handles.metricdata.Tahun-
handles.metricdata.TahunPembuatan)), handles.metricdata.Jarak);
set(handles.Ketebalan, 'String', Ketebalan);
handles.metricdata.Ketebalan = Ketebalan;
guidata(hObject,handles)

```

```

LajuKorosi = (handles.metricdata.Tebal -
handles.metricdata.Ketebalan)/(handles.metricdata.Tahun-
handles.metricdata.TahunPembuatan);
set(handles.LajuKorosi, 'String', LajuKorosi);
handles.metricdata.LajuKorosi = LajuKorosi;
guidata(hObject,handles)
SisaMasaPakai = (handles.metricdata.Ketebalan-
handles.metricdata.KetebalanMinimum)/handles.metricdata.LajuKorosi;
set(handles.SisaMasaPakai, 'String', SisaMasaPakai);
MAWP = (handles.metricdata.Ketebalan * (2 *
handles.metricdata.MinYield * handles.metricdata.FaktorDesignLokasi *
handles.metricdata.FaktorSambungan *
handles.metricdata.FaktorDeratingSuhu))/handles.metricdata.DiameterLuar;
set(handles.MAWP, 'String', MAWP);
handles.metricdata.MAWP = MAWP;
guidata(hObject,handles)
SafetyFactor = handles.metricdata.MAWP /
handles.metricdata.TekananOperasional;
set(handles.SafetyFactor, 'String', SafetyFactor);

function Animasi_Callback(hObject, eventdata, handles)
% tampilan grafik
% jumlah tahun
tahunpembuatan = 1973;
tahunpengukuran = 2006;
It = handles.metricdata.TahunInspeksi-
handles.metricdata.TahunPembuatan;

% jumlah data

```

n = 39;

%tebal awal

tn = handles.metricdata.Tebal;

%posisi

A(1,1) = 0;

A(1,2) = 12;

A(1,3) = 20;

A(1,4) = 100;

A(1,5) = 200;

A(1,6) = 300;

A(1,7) = 400;

A(1,8) = 500;

A(1,9) = 600;

A(1,10) = 700;

A(1,11) = 800;

A(1,12) = 900;

A(1,13) = 1000;

A(1,14) = 1100;

A(1,15) = 1200;

A(1,16) = 1300;

A(1,17) = 1400;

A(1,18) = 1500;

A(1,19) = 1600;

A(1,20) = 1664;

A(1,21) = 1700;

A(1,22) = 1800;

A(1,23) = 1900;

A(1,24) = 1926;

A(1,25) = 2000;

$$A(1,26) = 2100;$$

$$A(1,27) = 2200;$$

$$A(1,28) = 2300;$$

$$A(1,29) = 2400;$$

$$A(1,30) = 2500;$$

$$A(1,31) = 2600;$$

$$A(1,32) = 2700;$$

$$A(1,33) = 2800;$$

$$A(1,34) = 2900;$$

$$A(1,35) = 3000;$$

$$A(1,36) = 3100;$$

$$A(1,37) = 3200;$$

$$A(1,38) = 3300;$$

$$A(1,39) = 3367;$$

%actual thickness

$$A(2,1) = 0.2480;$$

$$A(2,2) = 0.3661;$$

$$A(2,3) = 0.2323;$$

$$A(2,4) = 0.2598;$$

$$A(2,5) = 0.2480;$$

$$A(2,6) = 0.2480;$$

$$A(2,7) = 0.2441;$$

$$A(2,8) = 0.2520;$$

$$A(2,9) = 0.2480;$$

$$A(2,10) = 0.2480;$$

$$A(2,11) = 0.2480;$$

$$A(2,12) = 0.2480;$$

$$A(2,13) = 0.2441;$$

$$A(2,14) = 0.2441;$$

$$A(2,15) = 0.2480;$$

$A(2,16) = 0.2441;$
 $A(2,17) = 0.2362;$
 $A(2,18) = 0.2441;$
 $A(2,19) = 0.2480;$
 $A(2,20) = 0.2480;$
 $A(2,21) = 0.2441;$
 $A(2,22) = 0.2441;$
 $A(2,23) = 0.2441;$
 $A(2,24) = 0.2480;$
 $A(2,25) = 0.2480;$
 $A(2,26) = 0.2441;$
 $A(2,27) = 0.2441;$
 $A(2,28) = 0.2520;$
 $A(2,29) = 0.2520;$
 $A(2,30) = 0.2441;$
 $A(2,31) = 0.2520;$
 $A(2,32) = 0.2520;$
 $A(2,33) = 0.2598;$
 $A(2,34) = 0.2598;$
 $A(2,35) = 0.2520;$
 $A(2,36) = 0.2520;$
 $A(2,37) = 0.2598;$
 $A(2,38) = 0.2520;$
 $A(2,39) = 0.2480;$

```

% tampilan grafik
figure1 = figure;
axes1 = axes(...
    'XAxisLocation','top',...
    'Parent',figure1);
ylim(axes1,[-0.01 0.5]);

```

```

xlim(axes1,[0 3368]);
hold(axes1,'all');
view(-40,75);
xlabel(axes1,'panjang pipa(m)');
ylabel(axes1,'ketebalan pipa(inch)');

%interpolasi
x = A(1,1):1:A(1,n);
y0 = interp1(A(1,:), A(2,:) - A(2,:), x);
y = interp1(A(1,:), A(2,:) + ((tn-A(2,:))/lt)*lt, x);

plot(x, y0)
plot(x, y)
title(handles.metricdata.TahunPembuatan);
pause(5);
cla;

for i=1:lt-1;
y = interp1(A(1,:), A(2,:) + ((tn-A(2,:))/lt)*(lt-i), x);
plot(x, y0)
plot(x, y)
title(handles.metricdata.TahunPembuatan+i);
pause(1);
cla;
end

y = interp1(A(1,:), A(2,:), x);
plot(x, y0)
plot(x, y)
title(handles.metricdata.TahunInspeksi);
pause(5)

```

```
function Reset_Callback(hObject, eventdata, handles)
initialize_gui(gcbf, handles, true);
```

```
function initialize_gui(fig_handle, handles, isreset)
if isfield(handles, 'metricdata') && ~isreset
    return;
end
```

```
handles.metricdata.Tahun = 0;
handles.metricdata.Jarak = 0;
handles.metricdata.TahunInspeksi = 0;
handles.metricdata.TebalPalingTipis = 0;
handles.metricdata.TekananOperasional = 0;
handles.metricdata.TahunPembuatan = 0;
handles.metricdata.Tebal = 0;
handles.metricdata.DiameterLuar = 0;
handles.metricdata.MinYield = 0;
handles.metricdata.TekananDesign = 0;
handles.metricdata.FaktorDeratingSuhu = 0;
handles.metricdata.FaktorDesignLokasi = 0;
handles.metricdata.FaktorSambungan = 0;
handles.metricdata.KetebalanMinimum = 0;
handles.metricdata.LajuKorosi = 0;
handles.metricdata.MAWP = 0;
```

```
set(handles.Tahun, 'String', handles.metricdata.Tahun);
set(handles.Jarak, 'String', handles.metricdata.Jarak);
```

```
set(handles.TahunInspeksi, 'String', handles.metricdata.TahunInspeksi);
set(handles.TebalPalingTipis, 'String',
handles.metricdata.TebalPalingTipis);
set(handles.TekananOperasional, 'String',
handles.metricdata.TekananOperasional);
set(handles.TahunPembuatan, 'String',
handles.metricdata.TahunPembuatan);
set(handles.Tebal, 'String', handles.metricdata.Tebal);
set(handles.DiameterLuar, 'String', handles.metricdata.DiameterLuar);
set(handles.MinYield, 'String', handles.metricdata.MinYield);
set(handles.TekananDesign, 'String', handles.metricdata.TekananDesign);
set(handles.FaktorDeratingSuhu, 'String',
handles.metricdata.FaktorDeratingSuhu);
set(handles.FaktorDesignLokasi, 'String',
handles.metricdata.FaktorDesignLokasi);
set(handles.FaktorSambungan, 'String',
handles.metricdata.FaktorSambungan);
set(handles.KetebalanMinimum, 'String',
handles.metricdata.KetebalanMinimum);
set(handles.LajuKorosi, 'String', handles.metricdata.LajuKorosi);
set(handles.MAWP, 'String', handles.metricdata.MAWP);
set(handles.SisaMasaPakai, 'String', 0);
set(handles.SafetyFactor, 'String', 0);
set(handles.Ketebalan, 'String', 0);
```

```
guidata(handles.figure1, handles);
```