



**PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* PADA *NORMALIZING* TERHADAP
LAJU KOROSI BAJA KARBON A53
DENGAN MEDIA LUMPUR**

SKRIPSI

Oleh

Alif Kurnia Rizkyawan

NIM 121910101041

PROGRAM STUDI STRATA 1

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017



**PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* PADA *NORMALIZING* TERHADAP
LAJU KOROSI BAJA KARBON A53
DENGAN MEDIA LUMPUR**

SKRIPSI

Oleh

Alif Kurnia Rizkyawan

NIM 121910101041

PROGRAM STUDI STRATA 1

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orangtua saya, Bapak Mohammad Solliq dan Ibu Nurbadiatmi yang tercinta. Terimakasih atas doa, pengorbanan, dan dukungan secara moral maupun moril yang sudah diberikan kepada saya dengan ikhlas dan penuh kesabaran sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Adikku Rahmi Tsania Widyastuti dan seluruh keluarga besar yang tercinta;
3. “Teman-teman “metalurgi” dan sahabat seperjuangan di Teknik Mesin Universitas Jember angkatan 2012 yang telah mendukung serta menjadi saudara seperjuangan selama ini;
4. Guru-guru saya sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
5. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membantu dalam menyelesaikan studi S1;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Maka Apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”

(Q.S Al Insyirah : 6-8)

“Man Jadda Wa Jadda (siapa yang bersungguh-sungguh akan berhasil), Man Shabara Zhafira (siapa yang bersabar akan beruntung), Man Sara Darbi Ala Washala (siapa yang berjalan di jalur-nya akan sampai)”

(Anonim)

“I walk slowly, but i never walk backward.”

(Abraham Lincoln)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Alif Kurnia Rizkyawan

NIM : 121910101041

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi *Holding Time* Pada *Normalizing* Terhadap Laju Korosi Baja Karbon A53 Dengan Media Lumpur” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Mei 2017

Yang menyatakan,

Alif Kurnia Rizkyawan

NIM 121910101041

SKRIPSI

Pengaruh Variasi *Holding Time* Pada *Normalizing* Terhadap Laju Korosi Baja Karbon A53 Dengan Media Lumpur

Oleh

Alif Kurnia Rizkyawan

NIM 121910101041

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumarji, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi *Holding Time* Pada *Normalizing* Terhadap Laju Korosi Baja Karbon A53 Dengan Media Lumpur” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 24 mei 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP. 19650120 200112 1 001

Anggota I,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP. 19670123 199702 1 001

Sekretaris,

Sumarji ,S.T., M.T.
NIP.19680202 199702 1 001

Anggota II,

Dr.Salahudin Junus, S.T., M.T
NIP.19751006 200212 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

PENGARUH VARIASI *HOLDING TIME* PADA *NORMALIZING* TERHADAP LAJU KOROSI BAJA KARBON A53 DENGAN MEDIA LUMPUR. Alif Kurnia Rizkyawan, 121910101041; 2017; 59 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Didalam perkembangan industri terutama dalam bidang perpipaan, penggunaan baja sebagai material untuk instalasi perpipaan sangat lazim digunakan. Termasuk penggunaannya sebagai instalasi untuk pembuangan lumpur PT Lapindo Brantas Inc di Sidoarjo.

Penggunaan material baja dalam jumlah besar pada berbagai aplikasi teknik mengindikasikan bahwa material baja sampai saat ini belum tergantikan oleh jenis material lainnya. Baja memiliki spektrum sifat yang begitu luas, mampu untuk ditingkatkan sifat-sifatnya dengan berbagai rekayasa mulai dengan pembentukan paduan, pengerjaan panas dan pengerjaan dingin hingga dengan perlakuan panas. Salah satu bentuk penggunaan baja yang banyak dipakai adalah baja dalam bentuk pipa baja.

Dalam penelitian ini, peneliti ingin mengetahui hubungan antara struktur mikro dengan laju korosi. Sehingga perlu adanya *treatment* untuk mengontrol perubahan struktur mikro pada baja tersebut. Salah satu *treatment* tersebut adalah proses perlakuan panas. Selain digunakan untuk memperbaiki diharapkan nantinya perlakuan panas menjadi salah satu metode alternatif untuk memperkuat *corrosive resistance* suatu material dengan memperbaiki bentuk, ukuran, jenis pada struktur mikronya

Pada penelitian ini tahap pertama yang dilakukan adalah membuat spesimen dari pipa baja karbon rendah A53 grade B berukuran 20 mm x 20 mm. spesimen tersebut selanjutnya di bersihkan dan dimasukkan ke dalam *furnace* bersuhu 900°C selama 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit dan 100 menit yang merupakan variasi untuk mengetahui *holding time* mana yang paling efisien. Spesimen didinginkan di udara

bebas bersuhu kamar 24⁰C sebelum dikorosikan dalam media lumur selama 40 hari, dengan interval pengujian korosi setiap 8 hari sekali.

Laju korosi ditentukan menggunakan metode *weight loss* (ASTM G-1) dengan cara menghitung selisih pengurangan massa yang terjadi pada spesimen sebelum terkorosi dan setelah terkorosi. Pengurangan massa yang terjadi pada spesimen ditentukan dengan cara menimbang material menggunakan timbangan digital *excellent scale* yang mempunyai ketelitian 0,0001 gr.

Hasil dari penelitian menunjukkan, spesimen tanpa perlakuan yang dikorosikan selama 40 hari sebesar 4.69×10^{-3} mmpy. Sedangkan spesimen dengan perlakuan memiliki kecenderungan laju korosi yang menurun. Spesimen dengan holding time 20 menit yang dikorosikan selama 40 hari sebesar 2.23×10^{-3} mmpy. Spesimen dengan holding time 40 menit yang dikorosikan selama 40 hari sebesar 1.91×10^{-3} mmpy. Spesimen dengan holding time 60 menit yang dikorosikan selama 40 hari sebesar 1.64×10^{-3} mmpy. Spesimen dengan holding time 80 menit yang dikorosikan selama 40 hari sebesar 1.26×10^{-3} mmpy. Dan Spesimen dengan holding time 100 menit yang dikorosikan selama 40 hari sebesar 1.26×10^{-3} mmpy.

Pada proses pengamatan visual terlihat bercak kecoklatan yang menyebar di seluruh permukaan spesimen. Bercak kecoklatan ini adalah korosi yang terjadi pada pipa baja karbon A53. Namun, seiring dengan semakin lamanya proses *holding time* yang diberikan pada spesimen, bercak kecoklatan semakin tidak merata. Sedangkan pada pengamatan foto mikro, terlihat bentuk korosi yang terjadi pada spesimen yang telah dikorosikan. Berbanding lurus dengan proses pengamatan visual, pada pengamatan foto mikro, semakin lamanya proses holding time yang diberikan pada spesimen, bentuk korosi yang terjadi juga semakin menurun.

Jenis korosi yang terjadi adalah korosi merata, karena korosi menyerang keseluruhan permukaan spesimen dan tidak tertuju pada satu titik bagian spesimen.

SUMMARY

EFFECT OF TIME HOLDING VARIATION IN NORMALIZING ON CARBON A53 STEEL CORROSION STORE WITH MEDIA MUD. Alif Kurnia Rizkyawan, 121910101041; 2017; 59 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

In industrial development especially in the piping sector, the use of steel as material for piping installation is very commonly used. Including its use as an installation for mud disposal of PT Lapindo Brantas Inc in Sidoarjo.

The use of large amounts of steel material in various engineering applications indicates that steel material has not been replaced by other materials. Steel has a wide spectrum of properties, capable of enhancing its properties with a variety of engineering starting with alloy formation, hot work and cold working up to heat treatment. One of the most common forms of steel use is steel in the form of steel pipes.

In this study, researchers wanted to know the relationship between microstructure with corrosion rate. So there is a need for treatment to control changes in the microstructure of the steel. One such treatment is the heat treatment process. In addition to improving the expected later heat treatment becomes one of the alternative methods to strengthen the corrosive resistance of a material by improving the shape, size, type of micro structure

In this study, the first step is to make specimens of low carbon steel pipe A53 grade B size 20 mm x 20 mm. The specimens are then cleaned and fed into a 900°C furnace for 20 minutes, 40 minutes, 60 minutes, 80 minutes and 100 minutes which is a variation to find out which holding time is the most efficient. The specimens were cooled in free-air at room temperature of 24°C before being exposed in a medium for 40 days, with a corrosion-testing interval every 8 days.

The corrosion rate was determined using the weight loss method (ASTM G-1)

by calculating the difference in mass loss that occurred on the specimen before it was corroded and after corrosion. The mass reduction that occurs in the specimen is determined by weighing the material using an excellent scale digital scale that has a ketilitian of 0.0001 gr.

Results of the study showed that the 40-day non-treated specimen was 4.69×10^{-3} mmpy. While the specimen with treatment has a tendency of decreasing corrosion rate. The specimen with a 20 minute holding time is 40 days waste of 2.23×10^{-3} mmpy. Specimen with 40 minute holding time which is 40 days waste of 1.91×10^{-3} mmpy. Specimen with 60 minutes holding time is 40 days for 1.64×10^{-3} mmpy. Specimen with 80 minutes holding time which is 40 days waste of 1.26×10^{-3} mmpy. And a specimen with a 100 minute holding time which is 40 days worth of 1.26×10^{-3} mmpy.

In the visual observation process visible brown spots that spread throughout the surface of the specimen. These brownish spots are corrosion that occurs in A53 carbon steel pipes. However, as the longer holding time is given to the specimen, the brown spots become more uneven. While on the micro photo observation, visible form of corrosion that occurs on the specimen that has been dikorosikan. Directly proportional to the visual observation process, in micro photo observation, the longer the holding time given to the specimen, the corrosion form also decreases.

The type of corrosion that occurs is uniform corrosion, because corrosion attacks the entire surface of the specimen and is not fixed on a single specimen point.

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala nikmat hidup dan kesempatan mengenggam ilmu, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi *Holding Time* Pada *Normalizing* Terhadap Laju Korosi Baja Karbon A53 Dengan Media Lumpur”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana Teknik. Dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak dibantu, dibimbing, dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua, Bapak Mohammad Solliq dan Ibu Nurbadiatmi, terima kasih atas dukungan moril dan materil sehingga saya dapat menyelesaikan studi S1;
2. Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini;
3. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen penguji I, dan Bapak Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini;
4. Staff laboratorium Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember, Staff laboratorium Teknologi Terapan Fakultas Teknik Universitas Jember, Staff Laboratorium Biologi Fakultas Farmasi universitas Jember, dan Balai Lingkungan Kerja Jember yang telah mengizinkan serta membantu dalam pengambilan data yang saya butuhkan guna melengkapi penyusunan skripsi ini;
5. Adik saya, Rahmi Tsania Widyastuti dan seluruh keluarga besar dari Bapak dan Ibu saya yang selalu memberi dukungan kepada saya agar selalu maju;
6. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2012 Universitas Jember yang selalu memotivasi dan membangun saya menjadi lebih baik, salam *Solidarity Forever* ;

7. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang telah memberikan bekal ilmu dunia dan akhirat;
8. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran saya selama saya duduk di bangku perkuliahan;
9. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir;

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	4
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Hipotesis Penelitian	4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Perlakuan Panas	5
2.2 Normalizing	6
2.3 Baja Karbon	8
2.4 Pengaruh Perlakuan Panas pada Baja Karbon	11
2.4.1 Pagaruh Terhadap Sifat Mekanik.....	11
2.4.2 Pagaruh Terhadap Laju Korosi	12
2.5 Korosi	13
2.5.1 Definisi Korosi.....	13
2.5.2 Jenis-Jenis Korosi	15
2.5.3 Faktor penyebab Terjadinya Korosi.....	17
2.6 Laju Korosi	21
2.7 Metode Pengukuran <i>weight loss</i>	22
2.8 Baja Karbon A53	23
2.9 Lingkungan Lumpur Lapindo	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.3 Alat dan Bahan	25
3.3.1 Alat.....	25
3.3.2 Bahan	26
3.3.3 Komposisi Kimia Pipa A53	26
3.4 Prosedur Penelitian	27
3.5 Diagram Alir Penelitian	38
3.6 Pelaksanaan Penelitian	29
3.6.1 Persiapan Alat dan Bahan	29
3.6.2 Persiapan Pembuatan Spesimen.....	29
3.6.3 <i>Normalizing</i> pada Spesimen	30

3.6.4 Pemersihan Spesimen	32
3.6.5 Penimbangan Spesimen	33
3.6.6 Pengkorosian Spesimen	34
3.6.7 Pengambilan Data dan Pembersihan Spesimen	35
3.6.8 Pengamatan Secara Visual	36
3.6.9 Pengamatan Struktur Mikro	36
3.7 Analisis Data	38
3.7.1 Analisis Data dengan Metode Gavimetri	38
3.7.2 Pengambilan Data	39
3.7.3 Pengolahan Data	39
3.8 Metode Pengujian	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Analisis Laju Korosi	40
4.2 Pengamatan Makro dan Struktur Mikro	44
4.2.1 Pengamatan Makro	44
4.2.2 Pengamatan Struktur Mikro	47
BAB 5 PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi.....	22
Tabel 2.2 Sifat mekanis dari berbagai baja API 5L	23
Tabel 3.1 Komposisi kimia baja A53.....	26
Tabel 4.1 Kandungan sampel lumpur	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Temperatur proses <i>normalizing</i> pada berbagai jenis baja karbon 7
Gambar 2.2	Perbandingan kurva proses <i>normalizing</i> dan <i>full annealing</i> 8
Gambar 2.3	Struktur mikro baja karbon rendah yang terdiri atas ferit dan perlit.... 10
Gambar 2.4	Diagram fasa kesetimbangan Fe-Fe ₃ C 12
Gambar 2.5	Pengaruh komposisi elemen paduan terhadap ketahanan korosi terhadap paduan tembaga 19
Gambar 2.6	Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi 20
Gambar 2.7	Pengaruh temperature terhadap laju korosi pada Fe..... 20
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian 28
Gambar 3.2	Mesin gergaji otomatis 29
Gambar 3.3	Penampang spesimen uji 30
Gambar 3.4	<i>Furnace</i> Payun Tech..... 31
Gambar 3.5	Pendinginan spesimen pada udara bebas bersuhu ruang..... 31
Gambar 3.6	Spesimen setelah dikeluarkan dari <i>furnace</i> 32
Gambar 3.7	Spesimen setelah dibersihkan..... 32
Gambar 3.8	Timbangan digital Pioneer <i>excellent scale</i> 33
Gambar 3.9	Peta semburan lumpur 34
Gambar 3.10	Skema pengujian perendaman..... 35
Gambar 4.1	Pengaruh variasi <i>holding time</i> terhadap laju korosi 40
Gambar 4.2	Gambar pengamatan makro (a) sebelum dimasukkan ke dalam furnace, (b) setelah melewati proses <i>normalizing</i> dengan suhu 900°C, dan (c) setelah dibersihkan dari lapisan karbon 45
Gambar 4.3	Gambar pengamatan makro setelah direndam selama 40 hari (a) tanpa perlakuan, (b) <i>holding time</i> 20 menit, (c) <i>holding time</i> 40 menit, (d)

	<i>holding time</i> 60 menit, (e) <i>holding time</i> 80 menit, dan (f) <i>holding time</i> 100 menit	46
Gambar 4.4	Gambar pengamatan mikro spesimen logam dasar tanpa perlakuan dan pengkorosian (a) kondisi permukaan Spesimen dan (b) bentuk butir pada spesimen	47
Gambar 4.5	Gambar pengamatan mikro spesimen tanpa perlakuan dengan pengkorosian selama 40 hari (a) kondisi permukaan Spesimen dan (b) bentuk butir pada spesimen	48
Gambar 4.6	Gambar pengamatan mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 20 menit serta pengkorosian selama 40 hari (a) kondisi permukaan Spesimen dan (b) bentuk butir pada spesimen	49
Gambar 4.7	Gambar pengamatan mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 40 menit serta pengkorosian selama 40 hari (a) kondisi permukaan Spesimen dan (b) bentuk butir pada spesimen.....	50
Gambar 4.8	Gambar pengamatan mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 60 menit serta pengkorosian selama 40 hari (a) kondisi permukaan Spesimen dan (b) bentuk butir pada spesimen.....	51
Gambar 4.9	Gambar pengamatan mikro	51
Gambar 4.10	Gambar pengamatan mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 80 menit serta pengkorosian selama 40 hari (a) kondisi permukaan Spesimen dan (b) bentuk butir pada spesimen.....	52
Gambar 4.11	Gambar pengamatan mikro spesimen dengan <i>holding time</i> 100 menit serta pengkorosian selama 40 hari (a) kondisi permukaan Spesimen dan (b) bentuk butir pada spesimen.....	53
Gambar 4.12	Gambar pengamatan mikro	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Hasil penghitungan luas permukaan spesimen	61
Lampiran B Hasil penimbangan spesimen setelah terkorosi	64
Lampiran C Hasil penghitungan laju korosi	67
Lampiran D Alat penelitian.....	70
Lampiran E Bahan penelitian.....	72
Lampiran F Sertifikat pipa baja karbon rendah A53.....	74

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semburan Lumpur Sidoarjo (LUSI) merupakan erupsi *mud volcano* pada sumur eksplorasi gas Banjarpanji-1 milik PT Lapindo Brantas Inc yang terjadi pada tanggal 29 Mei 2006. Dimana semburan yang terdiri dari lumpur panas, air dan gas ini terjadi pada daerah padat penduduk, dengan kuantitas yang mencapai 150.000 m³/hari. Dampak dari terjadinya semburan lumpur ini mengakibatkan beberapa desa tenggelam, tanah pertanian rusak, beberapa bisnis dan sekolah ditutup dan hilangnya tempat tinggal karena lumpur yang menggenangi area sekitarnya. Hingga pemerintah membuat kebijakan melalui Rapat Kabinet Indonesia Bersatu memutuskan bahwa lumpur panas PT Lapindo Brantas Inc dibuang ke laut melalui Kali Porong (Firmansyah, F. & Sukojo, B. M. 2013).

Didalam perkembangan industri terutama dalam bidang perpipaan, penggunaan baja sebagai material untuk instalasi perpipaan sangat lazim digunakan. Termasuk penggunaannya sebagai instalasi untuk pembuangan lumpur PT Lapindo Brantas Inc di Sidoarjo.

Penggunaan material baja dalam jumlah besar pada berbagai aplikasi teknik mengindikasikan bahwa material baja sampai saat ini belum tergantikan oleh jenis material lainnya. Baja memiliki spektrum sifat yang begitu luas, mampu untuk ditingkatkan sifat-sifatnya dengan berbagai rekayasa mulai dengan pembentukan paduan, pengerjaan panas dan pengerjaan dingin hingga dengan perlakuan panas. Salah satu bentuk penggunaan baja yang banyak dipakai adalah baja dalam bentuk pipa baja. Baja pipa dibuat untuk mengalirkan berbagai macam fluida baik dalam bentuk cair, gas atau padatan partikel (Arsyad, H. & Suhardi. 2011).

Baja ASTM A53 adalah jenis baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar 0.25% dan merupakan jenis material baja yang banyak digunakan untuk aplikasi pipa. Jenis baja ini adalah jenis baja yang baik digunakan sebagai pipa untuk distribusi uap, air, dan gas. (Arsyad, H. & Suhardi. 2011). Semakin meluasnya penggunaan baja dalam instalasi pipa sehari-hari membuat sikap perancang desain dan ahli metalurgi harus mampu untuk menentukan pilihannya terhadap logam yang memiliki sifat-sifat diantaranya sifat tahan korosi yang baik.

Perubahan kondisi struktur mikro yang terjadi pada baja karbon setelah proses perlakuan panas ternyata tidak hanya merujuk kepada perubahan sifat mekaniknya saja namun juga ketahanan terhadap serangan korosi pada baja. Sehingga nantinya diharapkan perlakuan panas menjadi metode alternatif dalam pengendalian terhadap laju korosi (Nugraha, H. A. 2012).

Menurut penelitian yang telah dilakukan, lumpur Sidoarjo memiliki beberapa kandungan senyawa seperti Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , dan Fe_2O (Mustopa *et al*, 2013) serta logam berat lain yang memungkinkan dapat menimbulkan korosi pada logam disekitarnya termasuk instalasi pipa pembuangan lumpur itu sendiri.

Dalam penelitian ini, peneliti ingin mengetahui hubungan antara struktur mikro dengan laju korosi. Sehingga perlu adanya *treatment* untuk mengontrol perubahan struktur mikro pada baja tersebut. Salah satu *treatment* tersebut adalah proses perlakuan panas. Selain digunakan untuk memperbaiki diharapkan nantinya perlakuan panas menjadi salah satu metode alternatif untuk memperkuat *corrosive resistance* suatu material dengan memperbaiki bentuk, ukuran, jenis pada struktur mikronya (Nugraha, H. A. 2012).

1.2 Perumusan Masalah

Untuk mengetahui seberapa besar ketahanan baja karbon A53 terhadap korosi, maka perlu diadakan penelitian mengenai pengaruh proses perlakuan panas pada baja karbon A53 terhadap perilaku korosi yang terjadi dalam media lumpur. Sehingga dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh variasi *holding time* 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit pada proses *normalizing* terhadap jenis korosi baja karbon A53?
- b. Bagaimana pengaruh variasi *holding time* 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit pada proses *normalizing* terhadap laju korosi baja karbon A53?
- c. Bagaimana pengaruh variasi *holding time* 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit pada proses *normalizing* terhadap struktur mikro dan makro baja karbon A53 setelah dikorosikan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengetahui dan memberikan gambaran yang jelas mengenai masalah-masalah apa saja yang akan dibahas dalam penyusunan penelitian ini, maka perlu diberikan batasan-batasan agar pembahasan nantinya lebih terfokus pada masalah. Adapun batasannya adalah sebagai berikut:

1. Lumpur yang digunakan adalah lumpur yang berasal dari sekitar dari daerah bencana semburan lumpur PT Lapindo Brantas Inc di Sidoarjo, Jawa Timur.
2. Suhu lumpur saat proses pengkorosian diasumsikan sama dengan suhu ruangan yaitu 24°C.
3. pH lumpur diasumsikan konstan 7,6.
4. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah *normalizing*.
5. Waktu perendaman 40 hari dengan *interval* pengangkatan setiap 8 hari sekali.
6. Sifat mekanik pada material diabaikan.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi *holding time* 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit pada proses *normalizing* terhadap jenis korosi baja karbon A53.
2. Mengetahui pengaruh variasi *holding time* 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit pada proses *normalizing* terhadap laju korosi baja karbon A53 dengan metode *weight loss*.
3. Mengetahui pengaruh variasi *holding time* 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit pada proses *normalizing* terhadap struktur mikro dan makro baja karbon A53 setelah dikorosikan.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Sehubungan dengan permasalahan yang telah disebutkan diatas maka dalam penelitian ini diharapkan :

1. Mengetahui pengaruh *holding time* paling optimal sebagai penghambat laju korosi pada baja karbon A53.
2. Mengetahui jenis-jenis korosi pada baja karbon.
3. Menambah ilmu pengetahuan mengenai korosi dan proteksi korosi pada baja karbon A53 dengan metode *normalizing*.
4. Mengetahui laju korosi pada baja karbon A53 sebelum dan setelah diberikan perlakuan panas *normalizing*.

1.5 Hipotesis Penelitian

Variasi *holding time* berpengaruh pada laju korosi baja A53. Semakin lama *holding time* yang diberikan pada baja karbon A53 ketika proses *normalizing*, maka laju korosi yang terjadi pada baja karbon tersebut akan semakin menurun.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat atau dapat dilunakan untuk memudahkan proses pemesinan lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis.

Dalam pengerjaannya, menurut Nugraha (2012) perlakuan panas ini terdiri dari tiga proses, yaitu :

1. *Heating*

Memanaskan spesimen pada temperatur tertentu sampai terjadi perubahan struktur pada atom-atomnya.

2. *Holding time*

Yaitu lamanya waktu yang diperlukan agar didapat distribusi temperatur yang seragam pada benda kerja. Waktu penahanan ini merupakan fungsi dari dimensi dan daya hantar panas benda kerja. Lamanya waktu penahan akan menimbulkan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan kekuatan material.

3. *Cooling Time*

Medinginkan logam dengan laju pendinginan tertentu dan media pendingin tertentu dengan tujuan mendapatkan struktur dan sifat yang diinginkan.

Untuk memudahkan pengerjaan suatu logam pada proses pengerjaan, maka akan dibutuhkan sifat-sifat tertentu yang mana sifat-sifat tersebut biasa didapatkan dari proses laku panas. Suatu proses laku panas berhubungan dengan struktur mikro dan

sifat-sifatnya, terutama yang berkaitan dengan dengan transformasi yang terjadi selama proses pemanasan dan pendinginan.

Sedangkan secara umum, menurut Novyanto (2008) perlakuan panas diklasifikasikan dalam 2 jenis :

1. *Near Equilibrium*

Near equilibrium atau mendekati kesetimbangan bertujuan untuk melunakkan struktur Kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki mampu mesin. Yang termasuk dalam *near equilibrium* yaitu *full annealing (annealing)*, *stress relief annealing*, *process annealing*, *spheroidizing*, *normalizing* dan *homogenizing*.

2. *Non Equilibrium*

Non Equilibrium atau tidak setimbang bertujuan untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan lebih tinggi pada suatu material. Yang termasuk dalam *non equilibrium* yaitu *hardening*, *martempering*, *austempering*, *surface hardening (carburizing, nitriding, cyaniding, flame hardening, induction hardening)*.

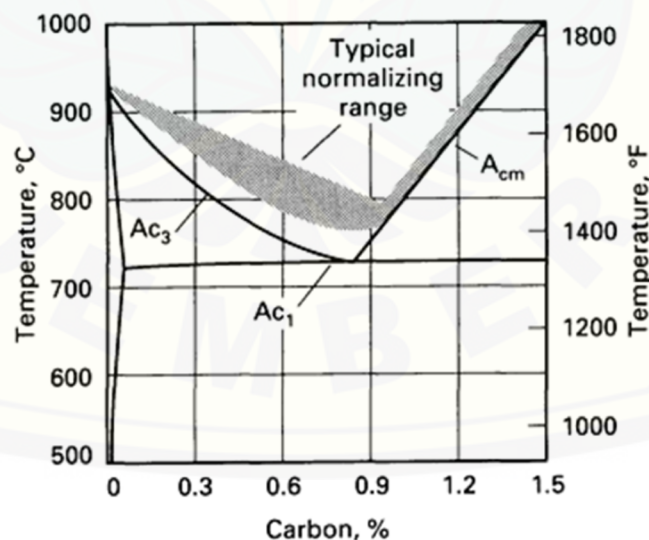
2.2 *Normalizing*

Normalizing adalah suatu proses pemanasan disusul dengan pendinginan pada udara terbuka. Pada umumnya hasil dari *Normalizing* mempunyai struktur mikro lebih halus, sehingga untuk baja dengan komposisi kimia yang sama akan mempunyai *yield strength*, *ultimate strength*, kekerasan dan *impact strength* lebih tinggi daripada yang diperoleh dengan *full annealing* sehingga *machinability* dari baja juga akan meningkat (Nugraha, 2012).

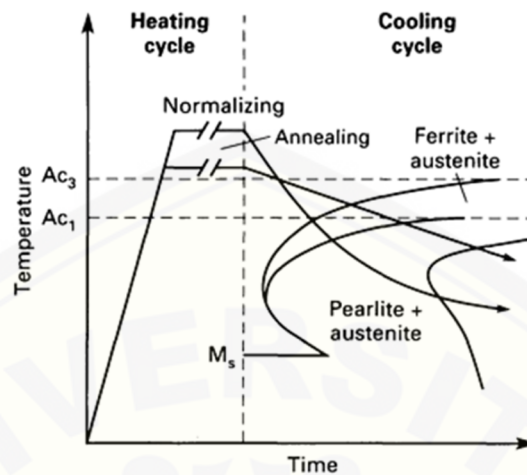
Normalizing juga sering dilakukan terhadap benda hasil tuangan atau hasil tempa untuk menghilangkan tegangan dalam dan menghaluskan butiran kristalnya, sehingga diperoleh sifat mekanik yang lebih baik. *Normalizing* juga akan menghasilkan struktur mikro yang homogen, sehingga akan memberi respon lebih baik terhadap proses *hardening*, karena itu biasanya baja yang akan dikeraskan perlu di *normalizing* terlebih dahulu (Nugraha, 2012).

Pada *normalizing* hendaknya tidak dilakukan pemanasan sampai ke temperatur yang terlalu tinggi, karena butir kristal austenit yang terjadi akan terlalu besar sehingga pada pendinginan lambat akan diperoleh butir ferrit/perlit yang juga terlalu kasar. Ini akan mengakibatkan berkurangnya keuletan/ketangguhan. Sedang bila butir austenit yang terlalu kasar ini didinginkan lebih cepat ferrit proeutektoid akan dapat berbentuk *windmanstatten structure* yaitu adanya pelat-pelat ferrit yang sejajar, yang tumbuh di dalam butir Kristal austenit yang terlalu besar tadi (Suherman dalam Nugraha, 2012).

Normalizing merupakan proses perlakuan panas dimana proses pemanasan mencapai temperatur austenisasi (temperatur *eutectoid*), dan kemudian didinginkan perlahan pada udara terbuka. Pada umumnya, proses *normalizing* dilakukan pada temperatur 55°C diatas *upper critical line* pada diagram fasa Fe – Fe₃C, seperti pada gambar 2.1 dibawah. Untuk baja *hypoeutectoid* temperatur pemanasan dilakukan diatas garis *Ac₃* sedangkan untuk baja *hypereutectoid* temperatur pemanasan dilakukan diatas garis *Acm*. Proses pemanasan harus menghasilkan fasa austenit dengan stuktur kristal FCC secara homogen, dan dilanjutkan dengan proses pendinginan yang benar (*ASM Handbook* dalam Saputro, 2015).



Gambar 2.1 Temperatur proses *normalizing* pada berbagai jenis baja karbon (*ASM Handbook*, 1991)



Gambar 2.2 Perbandingan kurva proses normalizing dan full annealing (*ASM Handbook* dalam Saputro, 2015)

2.3 Baja Karbon

Baja Karbon adalah logam paduan yang merupakan kombinasi dari besi dan karbon dan paduan elemen lain yang jumlahnya tidak terlalu banyak yang akan mempengaruhi sifat akhir dari baja karbon (Krauss, 2005). Komposisi baja karbon biasanya mengandung tidak lebih dari 1.0% karbon (C) serta sejumlah kecil paduan seperti mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1.65%, silikon (Si) dengan kadar maksimal 0.6% dan tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0.6% (Shey *et al*, 1987).

Karbon (C) berfungsi sebagai unsur peneras pada logam paduan dengan mencegah dan menghalangi dislokasi bergeser pada Kristal (*crystal Lattice*). Karbon merupakan suatu elemen yang menstabilkan austenit (*austenite stabilizer*) dan meningkatkan rentang pembentukan austenit pada baja. Kandungan karbon dan unsur paduan lainnya akan mempengaruhi sifat-sifat baja yang didapatkan. Antara lain dengan penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, namun baja akan menjadi getas dan sulit untuk di las. Selain itu, penambahan karbon juga menghasilkan beberapa perubahan penting terhadap fasa. Yaitu, struktur Kristal ferit yang mempunyai struktur Kristal BCC (*Body Centered*

Cubic) dan austenit yang mempunyai struktur Kristal FCC (*Face Centered Cubic*) dimodifikasi dengan memasukkan atom karbon pada celah atau interisi antara atom besi. Ketika batas kelarutan untuk karbon pada austenit terlewati maka karbida besi atau sementit akan terbentuk pada baja (Wulandari, 2011).

Baja karbon dapat diklasifikasikan pada kadar karbon yang dikandungnya menjadi tiga golongan yaitu (Wulandari, 2011) :

1. Baja karbon rendah ($< 0,3\% \text{ C}$).

Yaitu bentuk yang paling umum dari baja karena karbonnya relatif rendah, sementara itu memberikan sifat-sifat material yang dapat diterima untuk banyak aplikasi namun tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk martensit. Baja karbon rendah mengandung sekitar 0,05-0,15% karbon dan baja ringan mengandung 0,16-0,29% karbon karena itu tidak rapuh atau ulet. Baja ringan mempunyai kekuatan tarik relatif rendah, tetapi murah dan lunak; kekerasan permukaan dapat ditingkatkan melalui carburizing. Penggunaannya sebagai baja struktural bahan konstruksi kapal, konstruksi kendaraan bermotor dan sebagainya.

2. Baja karbon sedang (0,30-0,59% C).

Baja karbon yang memiliki sifat keuletan, kekuatan dan ketahanan aus yang baik sehingga digunakan untuk komponen besar, penempatan dan komponen otomotif.

3. Baja karbon tinggi (0,6-0,99% C).

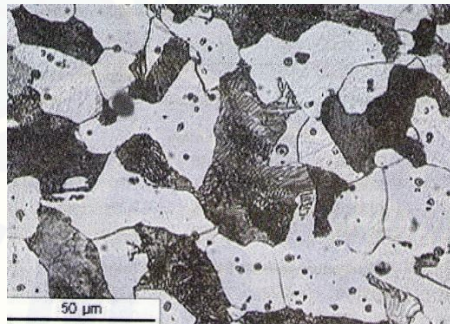
Baja ini memiliki kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon sedang. Sifatnya paling keras, paling kuat dan paling getas di antara baja karbon lainnya dan tahan aus.

Menurut Nugraha (2012), kandungan karbon mempengaruhi kekuatan luluh baja karena atom karbon akan menempati kisi kristalin secara inter fusi pada BCC (*body-centered cubic*). Pengurangan mobilitas karbon interstisial atau dislokasi memiliki efek pengerasan pada besi. Agar menyebabkan dislokasi, harus menerapkan

tegangan pada tingkat yang cukup tinggi. Hal ini karena atom karbon interstisial menyebabkan beberapa sel kisi BCC besi mendistorsi.

Baja karbon rendah atau sangat rendah, banyak digunakan untuk proses pembentukan logam lembaran misalnya untuk badan dan rangka kendaraan serta di bidang perpipaan. Baja jenis ini dibuat dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferrit. Ferrit adalah salah satu fasa penting di dalam baja yang bersifat lunak dan ulet. Baja karbon rendah umumnya memiliki kadar karbon dibawah komposisi eutektoid dan memiliki struktur mikro hampir seluruhnya ferrit. Pada lembaran baja karbon sangat rendah atau ultra rendah, jumlah atom karbonnya bahkan masih berada dalam batas kelarutannya pada larutan padat sehingga struktur mikronya adalah ferrit.

Baja karbon rendah mengandung kadar karbon hingga 0.25%. baja jenis ini memiliki struktur mikro yang terdiri dari fasa ferrit dan perlit yang membuat baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik sehingga mampu mesin dan mampu lasnya menjadi baik. Baja karbon rendah memiliki ketahanan korosi yang rendah, karena dengan semakin rendahnya kadar karbon maka ketahanan terhadap korosi juga semakin rendah.



Gambar 2.3 Struktur mikro baja karbon rendah yang terdiri atas ferrit (warna terang) dan perlit (warna gelap) (Sofyan T. Bondan, 2010)

Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic stoichiometric compound* (Fe_3C) yang dikenal sebagai

cementit dan karbid. Selain larutan padat alpha-ferrit yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu delta-ferrit dan gamma austenit. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni alpha-ferrit akan berubah menjadi gamma-austenit saat dipanaskan melewati temperatur 910°C. Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C gamma austenit akan kembali berubah menjadi delta ferrit. (alpha dan Delta) ferrit dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) austenit memiliki struktur Kristal FCC.

Pada kadar karbon lebih tinggi akan mulai terbentuk endapan cementit atau fasa pearlit pada batas butirnya. Sifat cementit atau karbid yang keras dan getas berperan penting di dalam meningkatkan sifat-sifat mekanik baja. Salah satu parameter penting yang menunjukkan hal tersebut adalah *a mean ferrite path*. Yaitu jarak antar cementit, baik pada pearlit maupun spheroidit. Jarak antar karbid di dalam pearlit secara khusus dikenal sebagai *interlamellar spacing* atau spasi antar lamel atau lembaran (Nugraha, 2012).

2.4 Pengaruh Perlakuan Panas pada Baja Karbon

Proses perlakuan panas dilakukan dalam upaya untuk memperoleh material dengan sifat-sifat tertentu sesuai dengan yang diperlukan. Hal ini disebabkan perlakuan panas memungkinkan terjadinya perubahan struktur Kristal serta jumlah butir. Kondisi mikro inilah yang mengakibatkan terjadinya perubahan sifat mekanik dan juga laju korosi pada baja karbon.

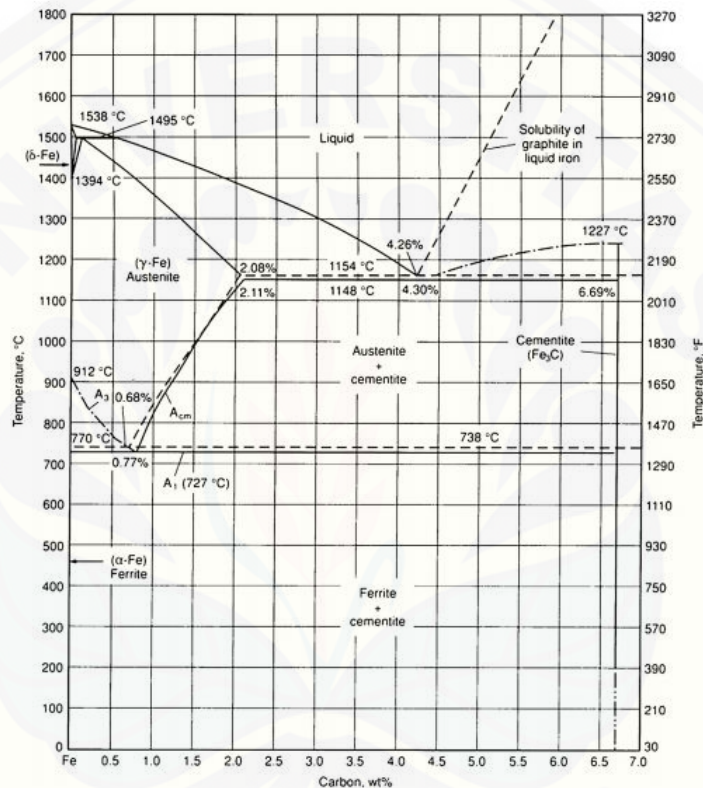
2.4.1 Pengaruh Terhadap Sifat Mekanik

Pada gambar dibawah menunjukkan diagram fasa Fe-Fe₃C, proses perlakuan panas terjadi pada fasa austenite, dimana kondisi fasa austenite yang tidak stabil tersebut akan mengubah menjadi fasa-fasa yang lain tergantung kondisi dan laju pendinginan. Perubahan fasa tersebut akan menyebabkan :

1. material menjadi keras (menaikkan kekerasan, *hardening process*)

2. material menjadi lunak (menaikkan keuletan, *softening process*)

Diagram fasa Fe-Fe₃C merupakan sarana untuk mengetahui temperatur pemanasan suatu jenis baja. Seperti telah diketahui bahwa kandungan karbon berpengaruh terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja. Dengan demikian temperatur pemanasan akan berbeda sesuai dengan kandungan karbon.



Gambar 2.4 diagram fasa kesetimbangan Fe-Fe₃C (Clarke K.D, 2014)

2.4.2 Pengaruh Terhadap Laju Korosi

Pada dasarnya pengaruh tingkat laju korosi selain disebabkan faktor umum seperti jenis logam maupun kondisi lingkungan yang memungkinkan terjadinya reaksi korosi juga dapat disebabkan aspek metalurgi seperti besar ukuran dan jumlah butir ferit. Tingkat laju korosi yang berkaitan tentang besar ukuran dan jumlah butir tersebut dipengaruhi oleh batas butir yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi daripada butir sehingga rentan terhadap peristiwa korosi. Jumlah butir yang terdapat dalam baja

karbon berbanding lurus terhadap jumlah batas butirnya. Kondisi inilah yang menjadi dasar acuan hubungan tingkat laju korosi terhadap proses perlakuan panas pada baja karbon.

Selain dapat merubah sifat mekanik pada baja karbon perlakuan panas juga dapat mempengaruhi tingkat laju korosi pada baja karbon. Hal tersebut disebabkan proses perlakuan panas, temperatur pemanasan, *holding time* dan juga laju pendinginan dapat mempengaruhi besar ukuran dan jumlah butir. Semakin besar ukuran butir maka jumlah batas butir yang memiliki tingkat energi lebih tinggi daripada butir pun semakin dikit.

Proses perlakuan yang tepat pada baja karbon dapat menyebabkan butir-butir yang berukuran kecil bergabung membentuk butir yang lebih besar menyebabkan jumlah batas butir semakin berkurang sehingga dapat mengurangi tingkat laju korosi. Kondisi tersebut dapat dicapai jika saat proses perlakuan panas baja karbon mengalami proses pendinginan lambat. Selain itu faktor ketidak seragaman ukuran butir fasa ferit juga menjadi faktor meningkatnya laju korosi hal tersebut dikarenakan fasa tunggal memiliki ketahanan korosi lebih baik jika dibandingkan dengan multi fasa dikarenakan pada multi fasa akan terbentuk fasa yang bersifat anodik dan katodik sehingga dapat memicu korosi galvanik (Sapdiyanto dalam Nugraha, 2012).

2.5 Korosi

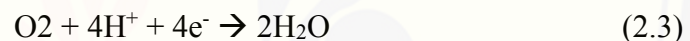
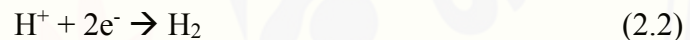
2.5.1 Definisi Korosi

Korosi didefinisikan sebagai suatu proses degradasi material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat adanya proses reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya (Jones dalam Pandyo, 2012). Korosi juga didefinisikan sebagai hasil perusakan dari reaksi kimia antara logam dan logam paduan dengan lingkungannya (Riastuti, 2010). Lingkungan yang dimaksud yang dapat mengakibatkan proses korosi adalah berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, lumpur, dll (Reoberge, 1999).

Reaksi korosi dapat menghasilkan beberapa produk korosi seperti oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya atau biasa disebut dengan karat. Pada proses korosi terjadi proses reduksi dan proses oksidasi dimana reaksi oksidasi adalah reaksi yang menghasilkan pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai anoda. Reaksi oksidasi pada logam pada proses korosi adalah sebagai berikut (Fontana dalam Riastuti, 2010) :



Sementara reaksi reduksi adalah reaksi yang menghasilkan penangkapan elektron. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai katoda. Reaksi reduksi yang umum terjadi pada proses korosi adalah sebagai berikut (Fontana dalam Riastuti, 2010) :



Proses korosi dapat terjadi jika terdapat beberapa elemen komponen yang berinteraksi dalam reaksi tersebut, komponen tersebut diantaranya adalah (Fontana dalam Riastuti, 2010) :

1. Anoda, merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik atau reaksi oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron, dan senyawa logam tersebut berubah menjadi ion-ion bebas.
2. Katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron hasil dari reaksi anodik. Katoda dalam reaksi korosi dapat berupa lingkungan yang bervariasi diantaranya adalah lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, dll.
3. Reaksi antara anoda dan katoda, dimana diantaranya katoda dan anoda harus terjadi kontak langsung agar terjadi proses korosi. Akibat kontak yang terjadi antara anoda

dan katoda maka reaksi spontan yang melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi akan dapat terjadi.

4. Elektrolit, merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik. Elektrolit dapat menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroquivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung.

2.5.2 Jenis-jenis Korosi

Korosi merupakan penurunan mutu kualitas logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi dapat terjadi dikarenakan oleh beberapa faktor yang mana dari berbagai faktor tersebut akan menimbulkan berbagai macam bentuk korosi yang dihasilkan (Fontana, 1987). Adapun bentuk dari jenis – jenis korosi tersebut ialah:

1. Korosi Merata

Korosi merata atau *uniform corrosion* adalah bentuk paling umum dari korosi. Peristiwa tersebut biasanya ditandai dengan reaksi kimia atau elektrokimia yang keluar seragam/merata di atas permukaan secara menyeluruh. Logam menjadi lebih tipis dan akhirnya terjadi penurunan kualitas. misalnya, sepotong baja atau seng direndam dalam larutan asam sulfat biasanya akan larut pada tingkat yang seragam di seluruh permukaannya (Fontana, 1987).

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik atau *galvanic corrosion* merupakan korosi yang terjadi apabila 2 logam yang mempunyai beda potensial terhubung dalam suatu elektrolit. Beda potensial tersebut memicu timbulnya reaksi elektrokimia dimana logam yang mempunyai potensial lebih tinggi akan menjadi katoda, sedangkan logam yang mempunyai potensial lebih rendah akan menjadi anoda. Dengan begitu korosi akan terjadi lebih cepat pada anoda, sehingga korosi pada katoda akan terhambat dan laju korosi mendekati nol.

3. Korosi Celah

Korosi celah atau *Crevice Corrosion* adalah korosi yang terjadi pada celah-celah. Pada dasarnya korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi

oksigen antara 2 bahan sejenis dalam suatu elektrolit. Seperti kita ketahui, adanya kandungan oksigen akan memungkinkan reaksi katodik. Pada suatu celah bagian yang langsung berhubungan dengan udara akan mempunyai konsentrasi oksigen lebih tinggi sehingga akan bersifat katodik, sedangkan bagian dalam bersifat anodik sehingga akan terkorosi (Utomo, 2008:6).

4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran merupakan salah satu jenis korosi yang terlokalisasi. Korosi sumuran terjadi akibat lepasnya lapisan pasif pada daerah tertentu akibat terkena lingkungan korosif (Pandyo, 2012).

5. Korosi Intergranular (*Intergranular Corrosion*)

Korosi intergranular merupakan korosi yang terjadi pada batas butir karena adanya endapan didalamnya. Batas butir sering menjadi tempat untuk proses – proses pengendapan (*precipitation*) dan pemisahan (*segregation*) yang teramati pada banyak paduan. Pada prinsipnya setiap logam yang mengandung logam antara atau senyawa pada batas – batas butirnya akan rentan terhadap korosi intergranular. Korosi intergranular sering terjadi pada baja nirkarat austenitik, tetapi dapat juga terjadi pada baja nirkarat feritik dan baja nirkarat dua-fase, serta paduan – paduan tahan korosi berbasis nikel (Trethewey & Chamberlain, 1991:124).

6. Peluluhan Selektif (*Selective Leaching*)

Peluluhan selektif adalah pelepasan netto sebuah unsur dari paduan, sering disebut *dealloying* atau *demetallification*. Dalam kasus ini yang terserang kurang lebih seluruh permukaan yang terbuka, sehingga bentuk keseluruhan tidak berubah, namun demikian hilangnya sebuah unsur paduan dalam jumlah besar menjadikan logam berpori – pori dan hampir tanpa kekuatan mekanik lagi. Penyebab utama peluluhan selektif ialah efek galvanik antara unsur – unsur berlainan yang membentuk paduan. Selain itu, faktor – faktor lain seperti kandungan udara dan temperatur yang berbeda juga penting. Seperti contoh, kuningan yang terkorosi berupa hilangnya seng melalui proses dezincification (Trethewey & Chamberlain, 1991:131).

7. Korosi Erosi

Korosi erosi merupakan bentuk korosi yang timbul ketika logam terserang akibat gerak relatif antara elektrolit dan permukaan logam. Korosi ini disebabkan oleh efek – efek mekanik seperti pengausan, abrasi, dan gesekan. Logam lunak seperti tembaga, kuningan, aluminium murini, dan timbal sangat rentan terhadap korosi erosi, tetapi tidak menutup kemungkinan logam lain juga dapat terserang korosi erosi tetapi dalam kondisi aliran air yang tertentu.

8. Korosi Retak Tegangan (*Stress Corrosion Cracking*)

Korosi retak tegang merupakan permasalahan yang terjadi pada material dikarenakan adanya tegangan pada material dan material tersebut berada pada lingkungan korosif. Korosi retak tegang merupakan proses korosi lokal yang melibatkan inisiasi dan propagasi keretakan dalam subjek komponen logam untuk tegangan tarik dan lingkungan korosif tertentu.

2.5.3 Faktor Penyebab Terjadinya Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi suatu logam dapat terkorosi dan kecepatan laju korosi pada logam. Suatu logam yang sama belum tentu mengalami kasus korosi yang sama pula pada lingkungan yang berbeda. Begitu juga dua logam pada kondisi lingkungan yang sama tetapi jenis materialnya berbeda, belum tentu mengalami korosi yang sama. Dari hal tersebut, maka dapat dikatakan bahwa terdapat dua faktor yang dapat mempengaruhi korosi suatu logam, yaitu :

1. Faktor Metalurgi

Faktor metalurgi adalah pada material itu sendiri. Apakah suatu logam dapat tahan terhadap korosi, berapa kecepatan korosi yang dapat terjadi pada suatu kondisi, jenis korosi apa yang paling mudah terjadi, dan lingkungan apa yang dapat menyebabkan terkorosi, ditentukan dari faktor metalurgi tersebut. Yang termasuk dalam faktor metalurgi antara lain :

a. Jenis logam dan paduannya

Pada lingkungan tertentu, suatu logam dapat tahan terhadap korosi. Sebagai contoh, aluminium dapat membentuk lapisan pasif pada lingkungan tanah dan air biasa, sedangkan Fe, Zn, dan beberapa logam lainnya dapat dengan mudah terkorosi.

b. Morfologi dan homogenitas

Bila suatu paduan memiliki elemen paduan yang tidak homogen, maka paduan tersebut akan memiliki karakteristik ketahanan korosi yang berbeda-beda pada tiap daerahnya.

c. Perlakuan panas

Logam yang di-heat treatment akan mengalami perubahan struktur kristal atau perubahan fasa. Sebagai contoh perlakuan panas pada temperatur 500-800°C terhadap baja tahan karat akan menyebabkan terbentuknya endapan krom karbida pada batas butir. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya korosi intergranular pada baja tersebut. Selain itu, beberapa proses heat treatment menghasilkan tegangan sisa. Bila tegangan sisa tersebut tidak dihilangkan, maka dapat memicu terjadinya korosi retak tegang.

d. Sifat mampu fabrikasi dan pemesinan

Merupakan suatu kemampuan material untuk menghasilkan sifat yang baik setelah proses fabrikasi dan pemesinan. Bila suatu logam setelah fabrikasi memiliki tegangan sisa atau endapan inklusi maka memudahkan terjadinya retak.

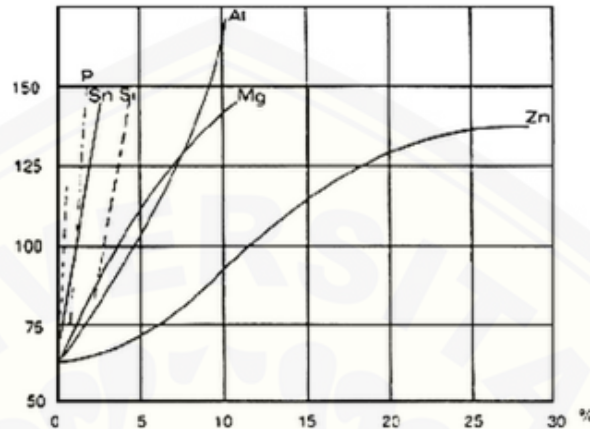
2. Faktor Lingkungan

Faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi korosi antara lain:

a. Komposisi kimia

Ion-ion tertentu yang terlarut di dalam lingkungan dapat mengakibatkan jenis korosi yang berbeda-beda. Misalkan antara air laut dan air tanah memiliki sifat korosif yang berbeda dimana air laut mengandung ion klor yang sangat

reaktif mengakibatkan korosi. Gambar berikut menunjukkan pengaruh komposisi elemen paduan terhadap ketahanan korosi terhadap paduan tembaga.

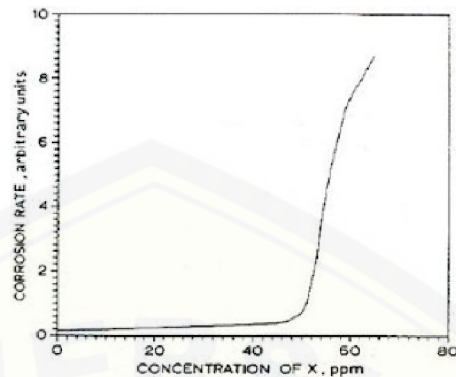


Gambar 2.5 Pengaruh komposisi elemen paduan terhadap ketahanan korosi terhadap paduan tembaga

(Sumber: Ahsan, 2012)

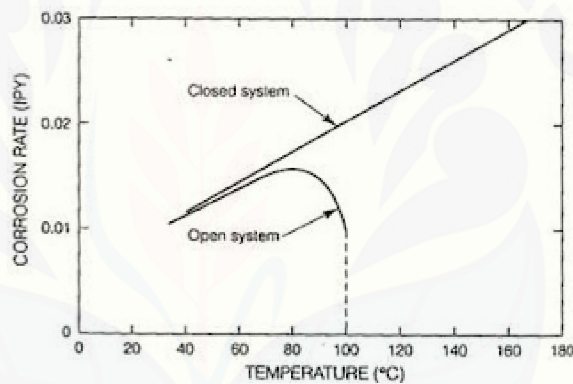
b. Konsentrasi

Konsentrasi dari elektrolit atau kandungan oksigen akan mempengaruhi kecepatan korosi yang terjadi. Pengaruh konsentrasi elektrolit terlihat pada laju korosi yang berbeda dari besi yang tercelup dalam H_2SO_4 encer atau pekat, dimana pada larutan encer, Fe akan mudah larut dibandingkan dalam H_2SO_4 pekat. Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.6 Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi (Ahsan, 2012)

c. Temperatur



Gambar 2.7 Pengaruh temperatur terhadap laju korosi pada Fe (Ahsan, 2012)

Pada lingkungan temperatur tinggi, laju korosi yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur rendah, karena pada temperatur tinggi kinetika reaksi kimia akan meningkat. Gambar berikut menunjukkan pengaruh temperatur terhadap laju korosi pada Fe. Semakin tinggi temperatur, maka laju korosi akan semakin meningkat, namun menurunkan kelarutan oksigen. Sehingga pada suatu sistem terbuka, diatas suhu 80°C, laju korosi akan mengalami penurunan karena oksigen akan keluar sedangkan pada suatu sistem tertutup, laju korosi akan terus meningkat karena adanya oksigen yang terlarut.

d. Gas, cair atau padat

Kandungan kimia di medium cair, gas atau padat berbeda-beda. Misalkan pada gas, bila lingkungan mengandung gas asam, maka korosi akan mudah terjadi (contohnya pada pabrik pupuk). Kecepatan dan penanganan korosi ketiga medium tersebut juga dapat berbeda-beda. Untuk korosi di udara, proteksi katodik tidak dapat dilakukan, sedangkan pada medium cair dan padat memungkinkan untuk dilakukan proteksi katodik.

e. Kondisi biologis

Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur dapat menyebabkan terjadinya korosi mikrobial terutama sekali pada material yang terletak di tanah. Keberadaan mikroorganisme sangat mempengaruhi konsentrasi oksigen yang mempengaruhi kecepatan korosi pada suatu material.

Faktor-faktor metalurgi dan lingkungan harus dievaluasi secara integral. Dalam suatu industri, sering diterapkan beberapa jenis logam dalam suatu kondisi lingkungan, atau sebaliknya satu jenis logam berada dalam beberapa jenis kondisi lingkungan. Kondisi yang paling rumit adalah beberapa jenis logam berada pada beberapa jenis lingkungan.

2.6 Laju korosi

Tingkat korosi yang terjadi pada suatu material dapat diketahui dengan cara menghitung laju korosi dari material tersebut. Laju korosi sendiri didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas setiap satuan waktu pada permukaan tertentu (Utoyo dalam Iandiano, 2011). Ada beberapa satuan yang biasa digunakan untuk menentukan laju korosi suatu material, diantaranya dengan satuan *mils per year* (mpy) ataupun dengan satuan *millimeters per year* (mm/year).

Pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya adalah pengukuran dengan menggunakan metode *weight loss* ataupun dengan metode

ekstrapolasi kurva *tafel*. Berikut dapat dilihat hubungan antara laju korosi dengan ketahanan korosi (relatif).

Table 2.1 hubungan laju korosi dan ketahanan korosi (Sumber: Iandiano, 2011)

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi				
	mpy	nm/yr	µm/yr	nm/hr	pm/s
Sangat baik	<1	<0,02	<25	<2	<1
Baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Cukup	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	20-50
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200

2.7 Metode Pengukuran *Weight Loss*

Standar pengujian weight loss menggunakan standar ASTM G1-03 dan G31-72. Metode ini merupakan metode yang digunakan untuk menentukan laju korosi. Metode kehilangan berat ini biasanya diaplikasikan di laboratorium ataupun di lapangan. Prinsip dasar pengujian ini yaitu dengan menghitung pengurangan berat yang terjadi pada suatu sampel yang telah ditimbang (coupon) lalu direndam pada larutan selama beberapa waktu. Setelah perendaman, sampel dibersihkan dan dilanjutkan dengan penimbangan sampel kembali dan akhirnya didapatkan data berat sampel sesudah perendaman. Pengurangan berat yang terjadi kemudian dikonversikan menjadi suatu laju korosi dalam bentuk satuan mpy dengan memperhitungkan pengurangan berat (gram), luas permukaan yang terendam (cm²), waktu perendaman (jam), dan massa jenis (gr/cm³) (Febriyanti, 2008).

$$\text{Laju korosi} = \frac{2400000 \times w}{D \times A \times T} \text{ (mdd)}$$

Dimana :

mdd = laju korosi, (mg / dm² day)

w = berat yang hilang, (g)

D = density, (g/cm³)

A = luas, (cm²)

T = waktu, (jam)

Keterangan: 2400000 merupakan nilai besaran konstanta dengan satuan mdd (ASTM G1-72, 1994)

2.8 Baja Karbon A53

Baja yang digunakan dalam perpipaan industri *oil & gas* adalah API 5L, *American Petroleum Institute*, dengan berbagai grade, mengikuti kekuatan mekanisnya, akibat dari komposisi kimianya. Pada table 2.2 ditampilkan *yield strength* dan *mechanical strength* dari berbagai grade baja API 5L, dimana semakin tinggi gradenya, maka semakin tinggi nilai kekuatannya. Perbedaan karakteristik performa baja ini dapat disebabkan oleh sifat batas butir dan juga presipitasi karbon nitrida.

Tabel 2.2 Sifat mekanis dari berbagai baja API 5L

Grade	Yield Strength (MPa)	Mechanical Strength(MPa)
X42	289	413
X56	386	489
X60	413	517
X65	448	530
X70	482	565
X80	551	620
X100	690	760

Pipa baja API 5L secara regular dibentuk menggunakan *longitudinal welding*, yang dilakukan menggunakan proses *submerged arc welding*. Jenis baja ini adalah *High Strength Low Alloy (HSLA)*, dimana sifat presipitasi dan juga suhu kelarutannya adalah faktor-faktor kendali utama dari kinerja respon baja HSLA. Jenis baja ini diperlakukan *microalloyed* dengan elemen kimia seperti titanium, niobium, vanadium

dan dimanufaktur dengan *Thermomechanically Controlled Rolling Process (TMCP)*, untuk mengontrol *precipitation strengthening* dari *presipitat Nb carbonitride* ketika *rolling, cooling* dan *coiling*.

Dalam proses produksinya, baja tersebut di *hot rolled* pada temperatur tinggi ketika memiliki struktur Kristal austenite (γ) yang diikuti dengan pendinginan yang relatif cepat. Selama pendinginan cepat, austenit sebagian berubah menjadi proeutectoid ferrit (α) dan austenite (γ) yang tersisa berubah menjadi pearlit, yang menyebabkan struktur mikronya menjadi proeutectoid ditambah pearlite. Pearlite terdiri atas pearlitic ferrit dan cementit.

2.9 Lingkungan Lumpur Lapindo

Bencana banjir lumpur panas Sidoarjo, juga dikenal dengan sebutan Lumpur Lapindo, adalah peristiwa menyemburnya lumpur di lokasi pengeboran Lapindo Brantas Inc. di Dusun Balongnongo Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia, sejak tanggal 29 Mei 2006. Sekitar 12 km sebelah selatan kota Sidoarjo. Daerah ini berbatasan dengan Kecamatan Gempol (Kabupaten Pasuruan) di sebelah selatan.

Semburan lumpur ini menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian di tiga kecamatan sekitarnya, serta memengaruhi aktivitas perekonomian Jawa Timur. Karena tak jauh dari lokasi semburan terdapat jalan tol Surabaya-Gempol, jalan raya Surabaya-Malang dan Surabaya-Pasuruan-Banyuwangi (jalur pantura timur), serta jalur kereta api lintas timur Surabaya-Malang dan Surabaya-Banyuwangi.

Lumpur lapindo di Sidoarjo tersusun atas 70% air dan 30% padatan (Usman *et al*, 2006) serta kadar garam (salinitas) lumpur sangat tinggi (38-40%), sehingga bersifat asin (Arisandi, 2006). Sejak awal letusan, sebagian gas yang meletus terdiri dari uap air, gas metana (LEL= 20% ~10.000 ppm) dan gas H₂S (35ppm). Namun seiring berjalannya waktu, kandungan gas semakin meningkat yang ditunjukkan dengan kadar CO₂ antara 9.9-11.3% dan CH₄ antara 83-85.4% (Mazzini *et al*, 2007).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru dengan cara membandingkan desain tersebut dengan desain tanpa perlakuan. Metode eksperimental yang dilakukan adalah dengan membandingkan pengaruh variasi *holding time* pada proses *normalizing* terhadap laju korosi pada baja karbon rendah tipe A53 grade B dalam sampel lumpur.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan September 2016 sampai dengan Oktober 2016. Dengan pembuatan spesimen dilakukan di Balai Latihan Kerja Kabupaten Jember dan Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Perlakuan pada spesimen dilakukan di Laboratorium Kemasan Fakultas Teknik Universitas Jember. Penimbangan spesimen dilakukan di Laboratorium Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember serta foto mikro spesimen dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengambilan media pengkorosi diambil di sekitar lokasi bencana semburan lumpur lapindo di Sidoarjo, Jawa Timur.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

1. Gergaji besi
2. Gerinda tangan
3. *Furnace* Payun Tech 1100 °C
4. Timbangan analitik Pioneer 0,0001 g
5. Gelas 16 oz
6. Benang

7. Stik es krim
8. Mesin Grinding
9. Mikroskop Metalurgi Olympus
10. Jangka Sorong
11. pH Meter
12. Kamera Digital

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Spesimen uji baja karbon rendah tipe A53 (dimensi 20mm x 20mm)
2. Sampel Lumpur
3. Alkohol 96%
4. Aquades
5. HCL
6. Resin
7. *Hardener*
8. Autosol
9. Kertas ampalas grade 400, 600, 800, 1000, 1200 dan 1500
10. Kain Bludru

3.3.3 Komposisi kimia Pipa A53

Tabel 3.1 Komposisi kimia baja A53 (Sumber : ASTM A53)

No.	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Vn	Fe
1.	0,30	1,20	0,05	0,045	0,40	0,40	0,40	0,15	0,08	99.97
2.	0,30	1,20	0,05	0,045	0,40	0,40	0,40	0,15	0,08	96.97

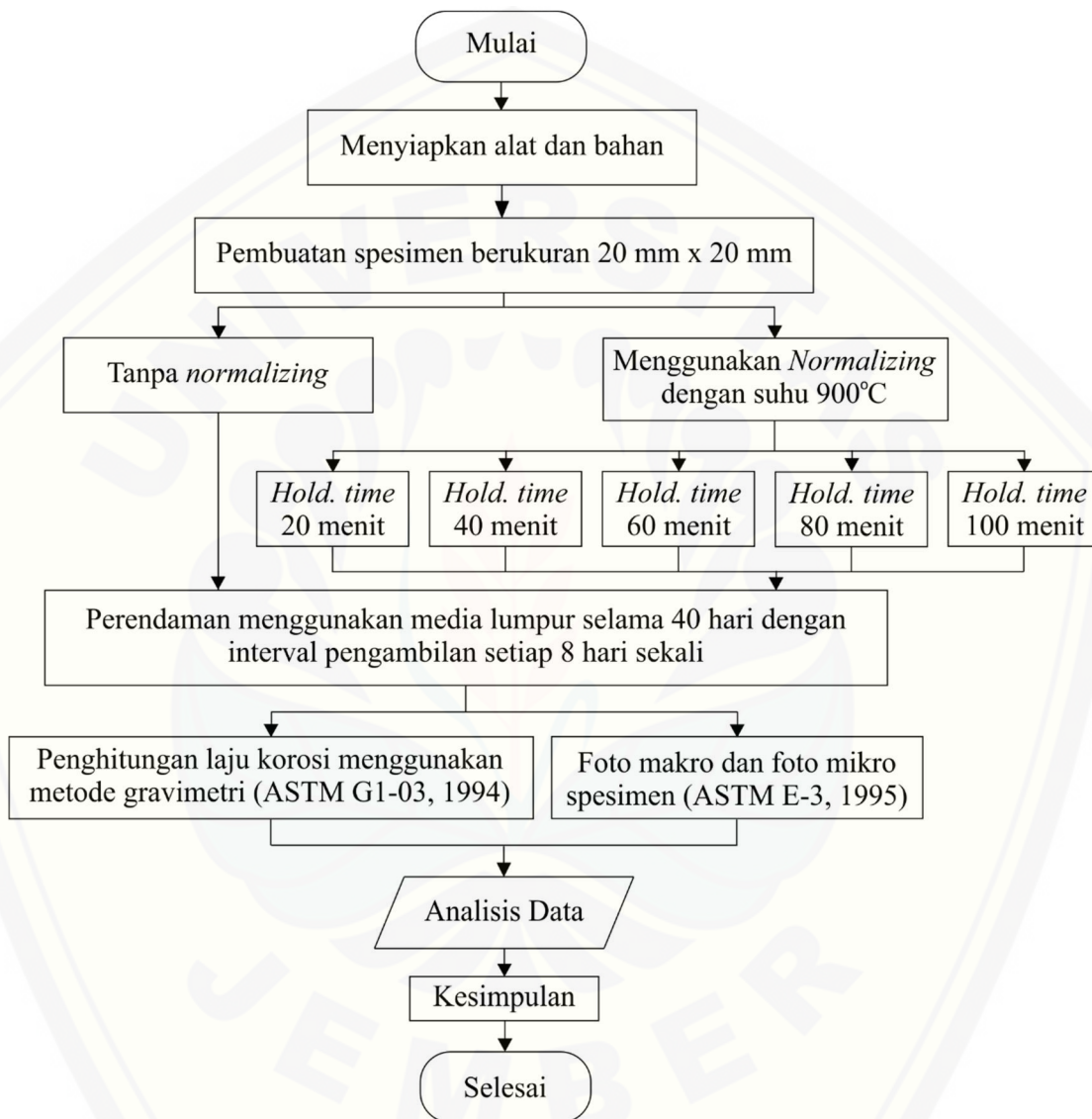
3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Membuat spesimen dengan dimensi 20mm x 20mm sebanyak 90 spesimen.
3. Memberikan perlakuan panas melalui *furnace* hingga suhu 900°C dan melakukan variasi penahanan 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit dan 100 menit.
4. Mendinginkan spesimen dalam udara bebas suhu kamar.
5. Melakukan foto makro dan mengukur berat spesimen setelah di *treatment*.
6. Mempersiapkan media lumpur kedalam wadah media pengkorosi.
7. Melakukan pengujian perendaman spesimen baja karbon A53 selama 40 hari.
8. Melihat dan mengambil data tentang proses korosi yang terjadi pada pipa baja karbon A53 selama 8 hari sekali.
9. Membersihkan spesimen dari media korosi dan mengukur berat spesimen setelah dilakukan perendaman dalam interval waktu yang telah ditentukan, kemudian menghitung laju korosinya (mmpy) (ASTM G-1).
10. Pengamatan makro dan pengamatan mikro spesimen uji dilakukan dengan menggunakan Mikroskop Olympus U-MSSP4 (ASTM E 3-95).
11. Analisis data dan kesimpulan.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun proses dan alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 diagram alir proses penelitian

3.6 Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Persiapan Alat dan Bahan

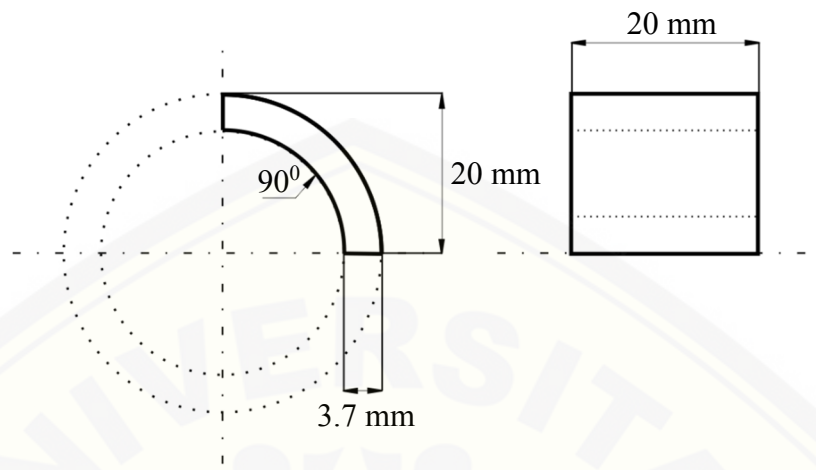
Persiapan alat dilakukan untuk menghindari adanya berbagai macam gangguan dan masalah yang dapat timbul akibat dari kondisi peralatan yang akan digunakan, yaitu dengan melakukan pengecekan mengenai fungsi-fungsi peralatan dan membersihkannya dari kotoran-kotoran yang menempel.

3.6.2 Persiapan Pembuatan Spesimen

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa baja karbon A53. Persiapan material dilakukan dengan membersihkan material dari kotoran atau minyak yang ada ataupun yang melekat. Kemudian material dipotong dan diberi tanda ukuran sesuai dengan panjang spesimen benda uji yang akan dibuat. Proses pembuatan spesimen uji dilakukan dengan memotong material pipa A53 dengan ukuran lebar 20 mm. Proses pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin gergaji otomatis seperti pada Gambar 3.2, pipa dipotong sesuai dengan ukuran yang ditentukan.



Gambar 3.2 mesin gergaji otomatis



Gambar 3.3 penampang spesimen uji

Setelah memotong material, dilakukan pembentukan spesimen uji dengan memotong material menggunakan mesin gerinda, selanjutnya dilakukan pengikiran pada bagian sisinya untuk mendapatkan kerataan ukuran sesuai dengan yang diinginkan. Sebelum melakukan normalizing, material dihaluskan terlebih dahulu. Setelah permukaannya dalam keadaan halus, selanjutnya dibersihkan dengan aquades, larutan HCl encer dan alkohol. Adapun jumlah spesimen yang dibutuhkan adalah 75 spesimen dengan perlakuan *normalizing* dan 15 spesimen tanpa perlakuan *normalizing*.

3.6.3 *Normalizing* Pada Spesimen

Proses *normalizing* pada spesimen dilakukan menggunakan *furnace* pada suhu 900°C dengan variasi waktu penahanan 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit dan 100 menit. Proses *normalizing* dilakukan di Laboratorium Kemasan Fakultas Teknik Universitas Jember menggunakan *furnace* Payun Tech dengan kemampuan hingga 1100°C.



Gambar 3.4 *furnace* Payun Tech

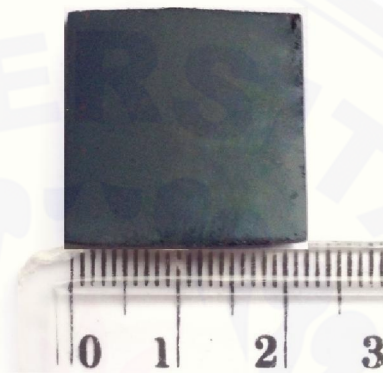


Gambar 3.5 pendinginan spesimen pada udara bebas bersuhu ruang

Pendinginan spesimen setelah melalui *furnace* dilakukan pada udara bebas bersuhu ruang. Dengan cara spesimen diletakkan diatas batu tahan api agar pendinginan yang terjadi konstan.

3.6.4 Pembersihan Spesimen

Pembersihan spesimen setelah diberikan *treatment* dalam *furnace* dilakukan untuk menghilangkan lapisan-lapisan yang terbentuk pada permukaan spesimen ketika dilakukan pemanasan.



Gambar 3.6 spesimen setelah dikeluarkan dari furnace



Gambar 3.7 spesimen setelah dibersihkan

Pembersihan spesimen ini dilakukan agar pada proses pengrosian, spesimen dapat terkorosi dengan sempurna sehingga diperoleh hasil pengurangan berat yang diinginkan. Selain itu, pembersihan ini dilakukan agar korosi yang terjadi pada permukaan spesimen dapat dengan mudah diamati secara visual.

3.6.5 Penimbangan Spesimen

Proses penimbangan sebelum pengkorosian dilakukan untuk mengetahui berat mula-mula spesimen. Sehingga nantinya didapat selisih berat spesimen ketika sebelum dikorosi dengan sesudah dikorosikan. Penimbangan ini dilakukan menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,0001 mg. Penimbangan dilakukan di Laboratorium Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember. Setelah proses penimbangan dilakukan, dilanjutkan dengan proses pencelupan spesimen uji ke dalam media korosi. Gambar 3.8 merupakan timbangan digital Pioneer *excellent scale* yang digunakan pada penelitian ini. Dengan Spesifikasi alat timbangan sebagai berikut:

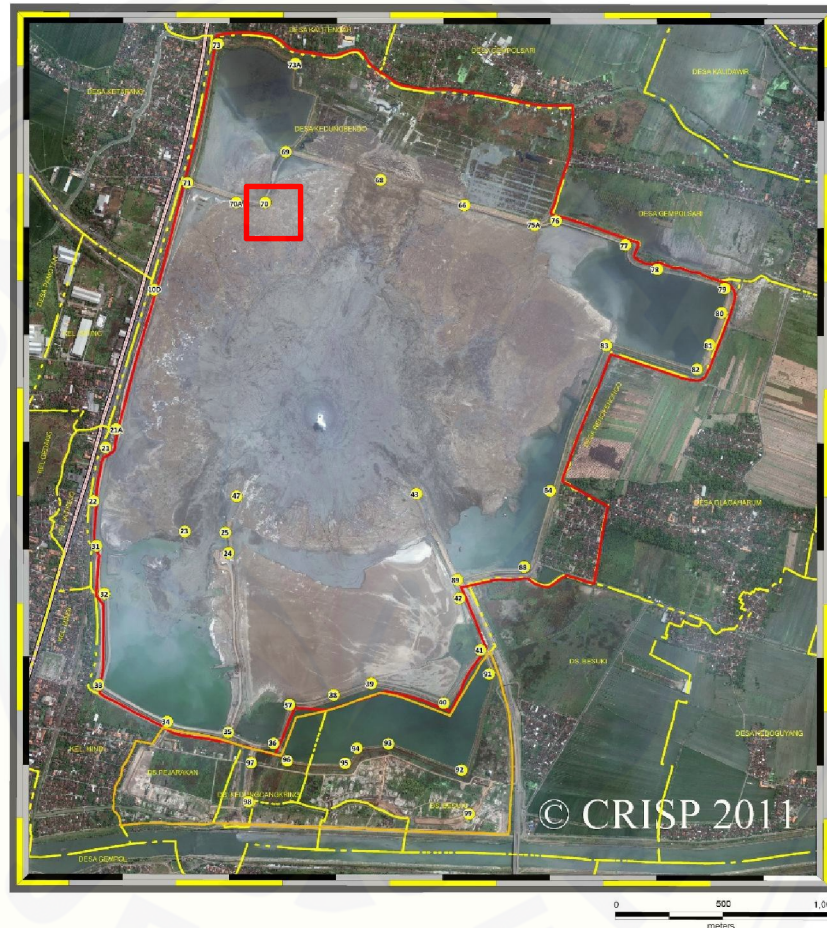
- Merek : Pioneer *excellent scale*.
- Kapasitas beban maksimum : 500 gram.
- Ketelitian : 0,0001 g.



Gambar 3.8 timbangan digital Pioneer *excellent scale*

3.6.6 Pengkorosian Spesimen

Pengkorosian spesimen dilakukan menggunakan sampel media lumpur yang telah diambil di sekitar bencana luapan lumpur Lapindo di Sidoarjo, Jawa Timur.

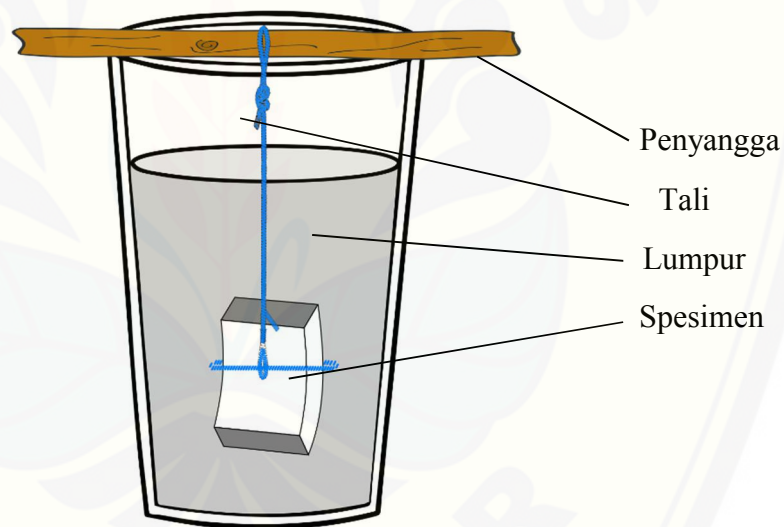


Gambar 3.9 peta semburan lumpur (Sumber: BPLS, 2011)

Sampel lumpur diambil dititik 70 (ditandai dengan warna merah) yang berjarak kurang lebih sekitar 1 km dari pusat semburan. Titik 70 dipilih karena termasuk kolam penampungan utama, yang artinya masih satu kolam dengan pusat semburan. Selain itu, titik 70 juga termasuk titik terdekat dengan pusat semburan.

Proses pengkorosian dilakukan dengan merendam spesimen dalam sampel lumpur pada gelas berukuran 16 oz. Setiap gelas berisi 3 spesimen dengan variasi yang sama sehingga dibutuhkan 30 gelas berisi sampel lumpur untuk menampung 90 spesimen.

Kelompok gelas dibedakan menurut sampel variasi *holding time* 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit ditambah dengan sampel tanpa perlakuan *normalizing*. Pengkorosian spesimen dilakukan selama 40 hari dan waktu pengamatan selama 8 hari sekali. Posisi peletakan spesimen dilakukan dalam keadaan digantung, sehingga diharapkan semua permukaan terkorosi dengan sempurna.



Gambar 3.10 Skema pengujian perendaman

3.6.7 Pengambilan Data dan Pembersihan Spesimen

Pengambilan data penelitian dilakukan setiap delapan hari sekali dalam interval waktu empat puluh hari. Setiap delapan hari sekali diambil delapan belas spesimen yang kemudian dilakukan pembersihan spesimen dengan menggunakan larutan HCl 0,1 M dan aquades 1000 mL yang mengacu pada

ASTM G1 Al. C.3.5 *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.*

Proses pembersihan untuk menghilangkan sisa lumpur yang menempel pada permukaan spesimen dilakukan menggunakan sikat kecil. Setelah selesai, dilakukan penimbangan kembali untuk mendata pengurangan berat yang terjadi pada spesimen tersebut.

3.6.8 Pengamatan Secara Visual

Pengamatan secara makro dilakukan setiap delapan hari sekali selama empat puluh hari di setiap variasi pada spesimen uji. Pengamatan makro diamati berdasarkan hasil foto menggunakan kamera digital pada setiap variasi *holding time*. Pada pengamatan ini, secara visual akan dilakukan analisa terhadap produk korosi yang nampak pada permukaan material.

3.6.9 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan mikro mengacu pada ASTM E 3-95 yang diawali dengan melalui beberapa proses penghalusan pada permukaan spesimen uji menggunakan mesin *polisher*, setelah permukaan halus kurang lebih nampak seperti cermin tahap berikutnya dilakukan foto mikro menggunakan Mikroskop Olympus U-MSSP4. Proses foto mikro dilakukan pada sampel perendaman hari ke empat puluh yang mengalami pengurangan massa paling tinggi pada setiap variasi, jadi terdapat 6 sampel yang akan dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop. Berikut adalah langkah-langkah pengamatan struktur mikro yang dilakukan :

a. Proses Grinding

Penggosokan dilakukan secara bertahap menggunakan mesin grinding. Tahap awal yaitu menghilangkan goresan-goresan yang agak kasar hingga merata dan halus. Pada tahap ini penggosokan dilakukan dengan kertas gosok mulai dari grid 400 dan dilanjutkan grid 600, 800, 1000, 1200, sampai

yang terakhir grid 1500 yang dilakukan searah serta selalu dialiri dengan air. Berfungsi untuk melarutkan beram dalam air serta agar permukaan spesimen tidak panas sehingga beram yang dihasilkan dari proses grinding ini tidak menggores permukaan spesimen.

b. Polishing

Polishing dilakukan pada mesin *polisher*, yaitu piringan yang di atasnya diberi lapisan kain beludru. Polishing dilakukan dengan sedikit menekan benda kerja ke kain beludru dengan menambahkan pasta sampai bekas goresan akibat proses gerinding hilang dan permukaan spesimen terlihat rata dan mengkilap.

c. Etching

Proses mengetsa adalah proses mencelupkan spesimen kedalam larutan kimia. Larutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah HNO_3 dan etanol 96% selama 43 detik lalu dimasukkan kedalam air bersih kemudian spesimen tersebut dibersihkan dengan tisu kering, setelah itu dikeringkan dengan hairdriyer. Hal ini bertujuan untuk memperjelas gambar struktur mikro pada mikroskop dan untuk melengkapi analisis yang dilakukan.

d. Pengambilan Foto Mikro

Pengamatan mikro bertujuan untuk mengetahui bentuk korosi yang terjadi pada spesimen. Pengamatan mikro dilakukan menggunakan Mikroskop Olympus U-MSSP4. Pengamatan foto mikro ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengambilan foto dilakukan pada permukaan spesimen untuk mengetahui jenis korosi yang terbentuk dengan melakukan perbesaran 200 kali. Pengambilan foto mikro harus tepat dan dapat mewakili seluruh struktur dalam variasi.

3.7 Analisis Data

3.7.1 Analisis dengan Metode Gravimetri

Setelah spesimen direndam, dilakukan penimbangan berat pada setiap variasi dengan selang waktu 8 hari sekali selama 40 hari. Langkah selanjutnya adalah perhitungan laju korosi. Perhitungan laju korosi ini menggunakan metode gravimeter (pengurangan berat) yang mengacu pada ASTM G-1. Untuk menghitung laju korosi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \text{ mmpy}$$

Dimana:

mmpy = mili meter per years

K = $8,76 \times 10^4$

W = berat yang hilang, (g)

A = luas, (cm²)

T = waktu, (jam)

D = *density*, (g/cm³), untuk baja karbon A53 = 7,86

Keterangan: $8,76 \times 10^4$ merupakan nilai besaran konstanta dengan satuan mmpy (ASTM G-1)

Data yang dihasilkan adalah menghitung massa benda uji sebelum dan setelah dilakukan perendaman untuk dibandingkan. Dilakukan analisis pada spesimen terhadap jenis korosi yang nampak dengan membandingkan spesimen uji tanpa perlakuan *normalizing* dan spesimen uji yang telah dilakukan proses *normalizing* serta melihat proses terjadinya korosi pada saat perendaman dan didapat data analisis, kemudian data dibahas dan disimpulkan hasilnya. Analisis jenis korosi pada penelitian ini dilakukan dilakukan melalui pengamatan menggunakan Mikroskop Olympus U-MSSP4 dengan perbesaran 200x. Larutan etsa baja karbon rendah menggunakan 4% HNO₃ dan 100 mL Etanol 96% (Sumber : ASM Hand Book, 1995).

3.7.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada saat melakukan penelitian. Penelitian dilakukan dengan membandingkan selisih berat yang dihasilkan spesimen tanpa perlakuan *normalizing* dengan spesimen yang telah dilakukan proses *normalizing*. *Normalizing* dilakukan pada spesimen menggunakan furnace yang kemudian dikorosikan kedalam media korosi lumpur. Proses penelitian diawali dengan menimbang massa spesimen sebelum dimasukkan ke media korosi. Setelah itu spesimen dimasukkan kedalam media *korosi lumpur* selama empat puluh hari. Setiap delapan hari sekali selama empat puluh hari akan dilakukan pengamatan pada setiap variasi dengan menimbang ulang massa spesimen dan melakukan pengamatan secara visual.

3.7.3 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan *microsoft excel* sehingga data penelitian dapat dimunculkan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut memberikan informasi tentang pengaruh variasi *holding time* yang diberikan pada spesimen dengan waktu perendaman terhadap nilai laju korosi, sehingga dapat membantu dalam melakukan analisis dan diolah dengan cara menganalisis grafik tersebut.

3.8 Metode Pengujian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Dalam penelitian ini faktor yang mempengaruhi laju korosi adalah lama waktu pencelupan dan *holding time*. Analisis ini dilakukan untuk menyelidiki apakah terdapat perbedaan yang berarti mengenai lama *holding time* terhadap laju korosi dengan pembandingan dari spesimen tanpa perlakuan yang juga dikorosikan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Variasi *holding time* yang maksimal untuk menekan laju korosi terdapat pada *holding time* 80 menit dengan nilai laju korosi sebesar 1.26×10^{-3} mmpy pada waktu perendaman yang paling optimal adalah 40 hari.
2. Pada proses pengamatan secara makro terlihat warna kecoklatan yang menyebar di seluruh permukaan spesimen. Warna kecoklatan ini adalah korosi yang terjadi pada pipa baja karbon A53.
3. Jenis korosi yang terjadi pada pipa baja karbon A53 adalah korosi merata.

5.2 Saran

1. Melakukan penelitian didaerah sekitar lokasi semburan dengan beberapa macam titik. Sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat menyangkut temperatur lumpur serta laju aliran. Karena temperatur dan laju aliran lumpur juga berpengaruh terhadap laju korosi yang terjadi.
2. Meneliti laju korosi pada sambungan pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, G. I. 2010. Analisa Laju Korosi Berdasarkan Perbandingan Hasil Kupon, Corrosion Modelling, dan Pengukuran metal Loss pada Sistem Perpipaan Minyak dan Gas Bumi di Lapanfan Lepas Pantai. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Arisandi, P. 2006. Menebar Bencana Lumpur di Kali Porong. Ecological Observation and Wetlands Conservation.
- Arsyad, H. & Suhardi. 2011. Studi Degradasi Material Jenis Baja ASTM A53 Akibat Kombinasi Tegangan dan Media Korosif Air Laut In-Situ Dengan Metode Pengujian C-Ring. Makassar: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- ASM Handbook. ASM International. 1991 Volume 4. *Heat Treating*.
- ASTM E3-95. 1999. *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*. Internasional, Annual Book of ASTM Standart. USA.
- ASTM G1-90. 1994. *Standart Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosin Test Specimens*. ASTM Internasional, Annual Book of ASTM Standart. USA.
- ASTM G1. 1994. *Standart Practice For Cleaning Procedure For Removal Of Corrosion Products*. Internasional, Annual Book of ASTM Standart. USA.
- Budianto, A., Kristina Purnawantini, dan BA. Tjipto Sujitno. 2009. Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi Antar Butir dari Material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasan. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN.

- Chamberlain J., Trethewey KR. 1991, KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan), PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Clarke, K.D, 2014. *Austenite Formation and Microstructural Control in Low-Alloy Steels*. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory. NM, USA.
- Febriyanti, Eka. 2008. Studi Pengaruh Penambahan NaCl (PPM) dan Peningkatan PH Larutan Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Dari Bijih Besi Hematite dan Bijih Besi Laterite. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Firmansyah, F. dan Sukojo, B. M. 2013. Aplikasi Data Penginderaan Jauh Untuk Evaluasi Penggunaan Lahan (Studi Kasus: Kawasan Pesisir Kabupaten Sidoarjo). Surabaya: Program Magister Teknik Geomatika, FTSP-ITS.
- Fontana, Mars. 1987. *Corrosion Engineering 3rd Edition*. Mcgraw-Hill Book Company. Singapore.
- Gunaatmaja, Andhi. 2011. Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah Dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu Sebagai Inhibitor Organik di Lingkungan NaCl 3,5%. *Skripsi*. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Hadi, S. dan Jumarlis. 2013. Pengaruh Lingkungan Minyak Mentah Terhadap Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis. *Jurnal Teknik Mesin Vol. 3, No. 2. Institut Teknologi Padang*: 66-69
- Iandiano, D. 2011. Studi Laju Korosi Baja Karbon Untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ Pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5%. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.

- Krauss, G. 2005. *STEEL: Processing, Structure, and Performance*, ASM International. USA.
- Leonard, J. 2012. Distribusi Tingkat Karat dan Laju Korosi Baja ST. 37 dalam Lingkungan Air laut dan Air Laut. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta: MAT-32
- Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Sorensen, A. dan Istaidi, B. 2007. Triggering and Dynamic Evolution of The LUSI Mud Volcano Indonesia. Elsevier. *Earth and planetary Science Letters* 261 375-388.
- Mustopa, R.S., Adziimaa, A.F. Asy'ari, M.K. dan Risanti, D.D. 2013. Physical properties characterization of Porong Sidoarjo mud and its potentials as CO gas adsorbent materials, *AIP Conf. Proc.*1554, 2013,75-78.
- Nugraha, H. A. 2012. Pengaruh Variasi Proses Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Perilaku Korosi pada Baja Karbon Medium AISI 1045 Dalam Media HCL (35%). Jember: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Nurhamzah, Tezar Prima. 2011. Studi Laju Korosi Pada Sampel Pipa Baja API 5L X-52 Dengan Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran dan Gas CO₂ Pada PH 6 dalam Larutan NaCl 3.5%. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Pandyo, N. A. 2012. Studi Pengaruh pH Lingkungan 4 Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 Sebagai Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ Pada Larutan NaCl 3.5% Dengan Variasi Laju Aliran. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Pitakkorraras, Sorachai., Tangroekwarasakul, Pongsatorn., dan Chokechaitananan, Nuntawat. 2010. Effect of Normalizing Temperature and Time on Microstructure

- and Mechanical Properties of Hot Rolled Steel Strip for Gas Cylinder Production. *Journal of metals, Materials and Minerals*. Vol 20 No.3. 37-41. Prachuabkirikhan: Sahaviriya Steel Industries Public Co. Ltd.
- Prameswari, Bunga. 2008. Studi Efektifitas Lapis Galvanis Terhadap Ketahanan Korosi Pipa Baja ASTM A53 di Dalam Tanah (*Underground Pipe*). Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Restudy, Julian. 2008. “Studi Morfologi Mikrostruktur dan Pengaruhnya Terhadap Laju Korosi Antara Baja HSLA 0.029% Nb dan Baja Karbon Rendah Setelah Pemanasan Isothermal”. Depok: FT UI.
- Riastuti, Rini. 2010. Modul Kuliah Korosi dan Degradasi Material. Depok: FT UI.
- Rina, M., Purwanto, S., Sutisna, Istanto, dan Sumarjo. 2007. Analisis Unsur Dalam Lumpur Panas Sidoarjo Lapindo Dengan Analisis Aktivasi Neutron. Tangerang: Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN.
- Roberge, Pierre. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- Sekar Sari, Woro. 2014. Pengaruh *Repeated Normalizing* pada Side Frame Berbahan Baja AAR M201 Grade B+ Terhadap Perubahan Sifat Mekanik dan Struktur Mikro. Jember: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Shey & John, A. 1987. *Introduction to Manufacturing Process. 2nd Edition*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Usman, E., Salahuddin, M., Ranawijaya, DAS., dan Hutagaol, J. P. 2006. Paper Pendukung. Simposium Nasional: Pembuangan Lumpur Porong-Sidoarjo ke Laut. Surabaya.

Utomo, Budi. 2009. Jenis Korosi dan Penanggulangannya. Jurnal KAPAL, Vol. 6, No. 2. Semarang: Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.

Wulandari, Astrini. 2011. Studi Ketahanan Korosi H₂ pada Baja Karbon Rendah yang Mengalami Canai Hangat 600°C. *Skripsi*. Depok: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.



LAMPIRAN A. Luas Permukaan Spesimen

Tabel A.1 Luas permukaan spesimen

No	Spesimen	Dimensi			Luas Spesimen (cm ²)
		Tebal (mm)	Panjang (mm)	Lingkar Luar (mm)	
1.		3.12	21.09	21.79	113.1614
2.		3.11	18.33	22.06	114.0449
3.		3.17	21.70	23.38	126.4423
4.		3.19	21.59	22.98	123.3931
5.		3.11	20.31	23.14	117.6376
6.		3.16	22.55	22.18	128.3354
7.		3.18	21.46	22.24	118.1451
8.	<i>Non Normalizing</i>	3.13	22.40	20.65	116.4066
9.		3.07	21.79	22.75	124.4417
10.		3.12	22.06	22.12	123.1945
11.		3.12	22.44	22.82	123.3679
12.		3.12	21.91	22.30	117.7301
13.		3.16	21.93	22.26	122.4641
14.		3.11	22.10	22.78	124.4176
15.		3.15	21.84	22.13	120.5084
16.		3.25	22.26	23.71	130.9895
17.		3.36	21.43	21.53	113.1137
18.		3.38	20.87	21.75	110.9604
19.		3.31	21.59	24.73	130.6952
20.		3.29	20.59	22.85	117.8854
21.		3.35	21.66	25.24	137.2988
22.	<i> Holding Time 20 Menit</i>	3.28	22.15	22.20	123.0663
23.		3.29	22.45	22.16	129.8838
24.		3.27	20.16	22.67	117.171
25.		3.27	20.38	23.03	118.0197
26.		3.22	21.69	21.56	112.3879
27.		3.31	23.26	23.12	131.4363
28.		3.31	22.41	24.47	133.19
29.		3.33	21.62	22.12	116.1805
30.		3.35	21.34	22.09	118.7648

Tabel A.2 Luas permukaan spesimen

No	Spesimen	Dimensi			Lingkar Dalam (mm)	Luas spesimen (cm ²)
		Tebal (mm)	Panjang (mm)	Lingkar Luar (mm)		
1.		3.38	20.93	22.96	19.15	119.2325
2.		3.36	20.93	21.43	18.34	114.137
3.		3.39	20.32	21.64	18.82	113.1598
4.		3.35	22.09	22.56	20.52	129.5645
5.		3.38	22.19	22.38	18.91	123.8091
6.		3.35	22.25	20.77	16.43	113.0154
7.	<i> Holding</i>	3.32	23.01	21.26	18.80	125.7002
8.	<i> Time 40</i>	3.36	21.70	22.94	18.97	122.4814
9.	<i> Menit</i>	3.31	20.34	23.88	20.01	120.3134
10.		3.34	21.03	23.15	18.69	118.6696
11.		3.31	20.49	21.69	18.09	111.4404
12.		3.26	21.51	20.68	17.19	111.6377
13.		3.34	20.89	21.12	17.24	119.8215
14.		3.38	21.67	21.09	17.78	119.3251
15.		3.36	22.40	20.92	17.30	116.8004
16.		3.44	20.98	22.38	17.65	114.1151
17.		3.56	21.83	21.26	22.24	135.1298
18.		3.45	20.93	23.82	20.41	124.9483
19.		3.58	20.83	23.27	19.55	120.9888
20.		3.54	22.40	21.82	16.83	117.5992
21.		3.41	20.34	23.91	19.85	120.0959
22.	<i> Holding</i>	3.47	21.26	22.12	16.57	112.2879
23.	<i> Time 60</i>	3.39	23.03	24.02	20.56	136.8225
24.	<i> Menit</i>	3.41	22.35	22.27	17.92	121.2311
25.		3.42	21.25	22.87	19.68	122.5929
26.		3.44	22.07	21.37	18.72	121.2468
27.		3.35	21.46	21.18	18.36	116.4239
28.		3.42	21.73	21.43	18.47	118.6621
29.		3.44	22.35	22.26	18.84	124.3253
30.		3.46	22.10	21.64	18.32	120.334

Tabel A.3 Luas permukaan spesimen

No	Spesimen	Dimensi			Luas spesimen (cm ²)
		Tebal (mm)	Panjang (mm)	Lingkar Luar (mm)	
1.		3.52	20.34	21.51	106.7901
2.		3.61	22.09	22.72	141.1726
3.		3.55	20.22	23.38	115.1712
4.		3.57	22.43	21.74	119.0298
5.		3.53	21.12	22.55	140.318
6.		3.41	21.55	23.48	121.9154
7.	<i> Holding</i>	3.43	22.49	21.14	118.7357
8.	<i> Time 80</i>	3.54	22.58	21.28	116.5607
9.	<i> Menit</i>	3.46	22.24	23.06	127.8369
10.		3.54	22.36	21.23	120.1676
11.		3.52	22.48	23.88	133.2724
12.		3.49	22.09	21.25	119.7842
13.		3.51	22.32	22.15	141.1726
14.		3.49	22.46	21.45	121.1261
15.		3.48	22.19	21.63	120.5259
16.		3.69	22.93	21.61	120.0503
17.		3.76	22.73	21.55	123.8791
18.		3.69	22.70	22.85	129.223
19.		3.87	21.41	21.63	112.6763
20.		3.77	22.67	22.06	122.0743
21.		3.64	21.88	22.04	121.0795
22.	<i> Holding</i>	3.55	20.87	20.42	110.203
23.	<i> Time 100</i>	3.53	20.78	22.23	114.4392
24.	<i> Menit</i>	3.54	21.77	23.12	127.8279
25.		3.46	22.43	21.74	122.2073
26.		3.61	20.98	22.43	117.3374
27.		3.48	22.47	22.27	124.0929
28.		3.43	20.96	21.95	115.2235
29.		3.54	22.20	21.90	120.8126
30.		3.56	22.34	21.80	121.1395

LAMPIRAN B. Hasil Penimbangan Spesimen setelah TerkorosiTabel B.1 Kehilangan berat pada spesimen *non normalizing*

No.	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Kehilangan berat (gr)
1.	10.8509	10.8442	0.0067
2.	11.7545	11.7461	0.0084
3.	12.328	12.3189	0.0091
4.	12.0333	12.0181	0.0152
5.	10.9875	10.9678	0.0197
6.	12.3312	12.3144	0.0168
7.	11.958	11.9306	0.0274
8.	10.7529	10.7279	0.025
9.	12.1438	12.1177	0.0261
10.	11.8033	11.7637	0.0396
11.	11.5264	11.4882	0.0382
12.	11.2738	11.2364	0.0374
13.	10.3286	10.2795	0.0491
14.	10.2548	10.2074	0.0474
15.	12.1478	12.0958	0.052

Tabel B.2 Kehilangan berat pada spesimen dengan *holding time* 20 menit

No.	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Kehilangan berat (gr)
1.	13.1096	13.1008	0.0088
2.	12.7142	12.7088	0.0054
3.	10.8132	10.8066	0.0066
4.	12.9863	12.9753	0.011
5.	11.7405	11.7267	0.0138
6.	13.81	13.7954	0.0146
7.	11.7204	11.7032	0.0172
8.	11.3369	11.3171	0.0198
9.	10.9161	10.8981	0.018
10.	11.3857	11.3657	0.02
11.	10.7068	10.6861	0.0207
12.	12.5532	12.5343	0.0189
13.	13.051	13.0269	0.0241
14.	11.2323	11.2086	0.0237
15.	15.2317	15.2089	0.0228

Tabel B.3 Kehilangan berat pada spesimen dengan *holding time* 40 menit

No.	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Kehilangan berat (gr)
1.	11.6121	11.6058	0.0063
2.	11.0023	10.9951	0.0072
3.	10.6669	10.6628	0.0041
4.	12.4028	12.3939	0.0089
5.	11.717	11.7049	0.0121
6.	11.4474	11.4362	0.0112
7.	11.978	11.9634	0.0146
8.	11.9314	11.9181	0.0133
9.	11.8895	11.8759	0.0136
10.	11.4018	11.3841	0.0177
11.	10.5152	10.4988	0.0164
12.	10.3204	10.3062	0.0142
13.	12.2832	12.2628	0.0204
14.	11.8032	11.7829	0.0203
15.	10.8957	10.8778	0.0179

Tabel B.4 Kehilangan berat pada spesimen dengan *holding time* 60 menit

No.	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Kehilangan berat (gr)
1.	11.3422	11.3344	0.0078
2.	11.1533	11.1481	0.0052
3.	12.2951	12.2913	0.0038
4.	11.56	11.5509	0.0091
5.	11.3636	11.3552	0.0084
6.	13.2878	13.2776	0.0102
7.	11.0142	11.0021	0.0121
8.	13.8493	13.8376	0.0117
9.	11.5081	11.4942	0.0139
10.	11.8346	11.8198	0.0148
11.	11.605	11.5864	0.0186
12.	10.8363	10.8232	0.0131
13.	13.0492	13.0279	0.0213
14.	11.6102	11.5905	0.0197
15.	11.5378	11.5274	0.0104

Tabel B.5 Kehilangan berat pada spesimen dengan *holding time* 80 menit

No.	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Kehilangan berat (gr)
1.	10.4205	10.4159	0.0046
2.	11.8855	11.8807	0.0048
3.	11.3235	11.3178	0.0057
4.	11.7379	11.7305	0.0074
5.	11.8307	11.8218	0.0089
6.	12.16	12.1547	0.0053
7.	11.2301	11.2205	0.0096
8.	11.3264	11.3157	0.0107
9.	12.6771	12.6693	0.0078
10.	11.3083	11.2951	0.0132
11.	13.3878	13.3751	0.0127
12.	11.2806	11.2698	0.0108
13.	11.3909	11.3761	0.0148
14.	12.1994	12.1873	0.0121
15.	12.6506	12.6359	0.0147

Tabel B.6 Kehilangan berat pada spesimen dengan *holding time* 100 menit

No.	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Kehilangan berat (gr)
1.	11.8015	11.7977	0.0038
2.	11.2293	11.2238	0.0055
3.	12.6158	12.6126	0.0032
4.	10.7969	10.7886	0.0083
5.	12.1184	12.1108	0.0076
6.	11.7486	11.7425	0.0061
7.	10.414	10.4056	0.0084
8.	11.4347	11.4211	0.0136
9.	12.194	12.1871	0.0069
10.	11.7413	11.7319	0.0094
11.	10.978	10.9641	0.0139
12.	11.649	11.6389	0.0101
13.	11.0186	11.0083	0.0103
14.	11.6761	11.6651	0.011
15.	12.0492	12.0314	0.0178

LAMPIRAN C. Penghitungan Laju Korosi

C.1 Laju korosi pada spesimen tanpa perlakuan normalizing

Nomor Sample	Hari	Kehilangan Berat (gr)	Densitas (gr/cm ³)	Luas Total (cm ²)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata-Rata (mmpy)
1	8	0.0067	7.86	113.1614	192	0.003437	0.003963
2		0.0084	7.86	114.0449	192	0.004275	
3		0.0091	7.86	126.4423	192	0.004178	
4	16	0.0152	7.86	123.3931	386	0.003557	0.004057
5		0.0197	7.86	117.6376	386	0.004835	
6		0.0168	7.86	128.3354	386	0.003780	
7	24	0.0274	7.86	118.1451	576	0.004487	0.004234
8		0.025	7.86	116.4066	576	0.004155	
9		0.0261	7.86	124.4417	576	0.004058	
10	32	0.0396	7.86	123.1945	768	0.004665	0.004589
11		0.0382	7.86	123.3679	768	0.004493	
12		0.0374	7.86	117.7301	768	0.004610	
13	40	0.0491	7.86	122.4641	960	0.004655	0.004696
14		0.0474	7.86	124.4176	960	0.004423	
15		0.052	7.86	120.5084	960	0.005010	

C.2 Laju korosi pada spesimen dengan *holding time* 20 menit

Nomor Sample	Hari	Kehilangan Berat (gr)	Densitas (gr/cm ³)	Luas Total (cm ²)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata-Rata (mmpy)
1	8	0.0088	7.86	130.9895	192	0.003900	0.003374
2		0.0054	7.86	113.1137	192	0.002771	
3		0.0066	7.86	110.9604	192	0.003453	
4	16	0.011	7.86	130.6952	386	0.002430	0.002960
5		0.0138	7.86	117.8854	386	0.003380	
6		0.0146	7.86	137.2988	386	0.003070	
7	24	0.0172	7.86	123.0663	576	0.002704	0.002875
8		0.0198	7.86	129.8838	576	0.002950	
9		0.018	7.86	117.171	576	0.002972	
10	32	0.02	7.86	118.0197	768	0.002459	0.002406
11		0.0207	7.86	112.3879	768	0.002673	
12		0.0189	7.86	131.4363	768	0.002087	
13	40	0.0241	7.86	133.19	960	0.002101	0.002233
14		0.0237	7.86	116.1805	960	0.002368	
15		0.0228	7.86	118.7648	960	0.002229	

C.3 Laju korosi pada spesimen dengan *holding time* 40 menit

Nomor Sample	Hari	Kehilangan Berat (gr)	Densitas (gr/cm ³)	Luas Total (cm ²)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata-Rata (mmpy)
1		0.0063	7.86	119.2325	192	0.003067	
2	8	0.0072	7.86	114.137	192	0.003662	0.002944
3		0.0041	7.86	113.1598	192	0.002103	
4		0.0089	7.86	129.5645	386	0.001983	
5	16	0.0121	7.86	123.8091	386	0.002822	0.002556
6		0.0112	7.86	113.0154	386	0.002861	
7		0.0146	7.86	125.7002	576	0.002247	
8	24	0.0133	7.86	122.4814	576	0.002101	0.002179
9		0.0136	7.86	120.3134	576	0.002187	
10		0.0177	7.86	118.6696	768	0.002164	
11	32	0.0164	7.86	111.4404	768	0.002136	0.002049
12		0.0142	7.86	111.6377	768	0.001846	
13		0.0204	7.86	119.8215	960	0.001977	
14	40	0.0203	7.86	119.3251	960	0.001975	0.001910
15		0.0179	7.86	116.8004	960	0.001779	

C.4 Laju korosi pada spesimen dengan *holding time* 60 menit

Nomor Sample	Hari	Kehilangan Berat (gr)	Densitas (gr/cm ³)	Luas Total (cm ²)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata-Rata (mmpy)
1		0.0078	7.86	114.1151	192	0.003968	
2	8	0.0052	7.86	135.1298	192	0.002234	0.002656
3		0.0038	7.86	124.9483	192	0.001765	
4		0.0091	7.86	120.9888	386	0.002172	
5	16	0.0084	7.86	117.5992	386	0.002062	0.002229
6		0.0102	7.86	120.0959	386	0.002452	
7		0.0121	7.86	112.2879	576	0.002085	
8	24	0.0117	7.86	136.8225	576	0.001655	0.001986
9		0.0139	7.86	121.2311	576	0.002219	
10		0.0148	7.86	122.5929	768	0.001752	
11	32	0.0186	7.86	121.2468	768	0.002226	0.001870
12		0.0131	7.86	116.4239	768	0.001633	
13		0.0213	7.86	118.6621	960	0.002084	
14	40	0.0197	7.86	124.3253	960	0.001840	0.001642
15		0.0104	7.86	120.334	960	0.001003	

C.5 Laju korosi pada spesimen dengan *holding time* 80 menit

Nomor Sample	Hari	Kehilangan Berat (gr)	Densitas (gr/cm ³)	Luas Total (cm ²)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata-Rata (mmpy)
1	8	0.0046	7.86	106.7901	192	0.002500	0.002449
2		0.0048	7.86	141.1726	192	0.001974	
3		0.0057	7.86	115.1712	192	0.002873	
4	16	0.0074	7.86	119.0298	386	0.001795	0.001627
5		0.0089	7.86	140.318	386	0.001831	
6		0.0053	7.86	121.9154	386	0.001255	
7	24	0.0096	7.86	118.7357	576	0.001564	0.001507
8		0.0107	7.86	116.5607	576	0.001776	
9		0.0078	7.86	127.8369	576	0.001181	
10	32	0.0132	7.86	120.1676	768	0.001594	0.001428
11		0.0127	7.86	133.2724	768	0.001383	
12		0.0108	7.86	119.7842	768	0.001308	
13	40	0.0148	7.86	141.1726	960	0.001217	0.001264
14		0.0121	7.86	121.1261	960	0.001160	
15		0.0147	7.86	120.5259	960	0.001416	

A.6 Laju korosi pada spesimen dengan *holding time* 100 menit

Nomor Sample	Hari	Kehilangan Berat (gr)	Densitas (gr/cm ³)	Luas Total (cm ²)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mmpy)	Laju Korosi Rata-Rata (mmpy)
1	8	0.0038	7.86	120.0503	192	0.001837	0.001951
2		0.0055	7.86	123.8791	192	0.002577	
3		0.0032	7.86	129.223	192	0.001437	
4	16	0.0083	7.86	112.6763	386	0.002127	0.001793
5		0.0076	7.86	122.0743	386	0.001798	
6		0.0061	7.86	121.0795	386	0.001455	
7	24	0.0084	7.86	110.203	576	0.001475	0.001606
8		0.0136	7.86	114.4392	576	0.002299	
9		0.0069	7.86	127.8279	576	0.001044	
10	32	0.0094	7.86	122.2073	768	0.001116	0.001339
11		0.0139	7.86	117.3374	768	0.001719	
12		0.0101	7.86	124.0929	768	0.001181	
13	40	0.0103	7.86	115.2235	960	0.001038	0.001267
14		0.011	7.86	120.8126	960	0.001057	
15		0.0178	7.86	121.1395	960	0.001706	

LAMPIRAN D. Alat Penelitian



Mesin Gergaji Otomatis



Gerinda Tangan



*Furnace Payun Tech
Scale*



Timbangan Digital Pioneer Exelent



Gelas 16 oz



Benang



Mikroskop Metalurgi Olympus



Stik Es Krim



Mesin Grinding



Jangka Sorong



LAMPIRAN E. Bahan Penelitian



Spesimen Sebelum Dipotong



Spesimen Setelah Dipotong



Sampel Lumpur



Alkohol 96%



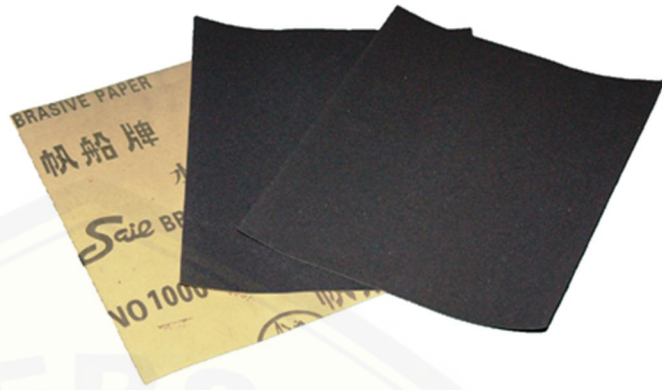
Aquades



Resin dan Katalis



Kertas Amplas




Autosol



HCL

LAMPIRAN F. Sertifikat Pipa Baja Karbon Rendah A53


PT. STEEL PIPE INDUSTRY OF INDONESIA, Tbk
 Head Office : Jl. Kalibuntah 189-191 Surabaya 60173 - Indonesia, Phone (031)5320921,5316921,5320320,5353290 Fax : (031)8310712,5320290
 Factory Unit I : Jl. Rungkut Industri I No.28-32 Surabaya 60293 - Indonesia, Phone (031)8434865,8439503 Fax : (031)8431348,8420723
 Factory Unit II : Jl. Rungkut Industri II No.10 Surabaya 60293 - Indonesia, Phone (031)8439555,8439666
 Factory Unit III : Desa Waregunung, Kec.Karangpilang PO BOX 1984 Surabaya - Indonesia, Phone(031)7661362,7661646 Fax : (031)7661610

NO.FORM : QAS/S-LI.III/001
 REVISI : 0

MILL TEST CERTIFICATE
 No. 03930/SP-III/XII/2013

Order & Address: RANGKA RAYA
 JL. PEGIRIAN NO.24 RT.000 RW.000 SIDODADI - SIMOKERTO
 SURABAYA
 Order No. : 0377/XII/13
 Modify : ERW STEEL PIPE
 Specification : BLACK STEEL PIPE TO ASTM A53 GR.B

Date : 23.12.2015
 Ex.SPPB No. : 06943.13.W
 L/C No. & Date :
 Packing List No.&Date :
 Issuing Bank :

Page 1 of 1

MILL WORK NO.	Ordered Sizes			DELIVERED QUANTITIES		DESCRIPTION OF TEST					
	Diameter Inch	Thickness mm	Length mm	PCS	Net Weight Kg/Pc	Surface & Dimension	Hydrostatic Test 1520 PSI	Flattening Test 2/3D,1/3D	Bend Test	Coating Average	
30076762	6	SCH-40	6.000,0	18	-	GOOD	GOOD	GOOD	-	-	

MILL WORK NO.	HEAT NO.	TENSILE TEST				CHEMICAL ANALYSIS, %								REMARKS
		Yield Strength N/mm ²	Tensile Strength N/mm ²	Elongation %	Min	C	Mn	P	S	CU	NI	CR	MO	
30076762	I2U70	Min: 205 314	Min: 330 411	Min: 39,8	39,8	0,07 0,07	1,27 1,27	0,05 0,05	0,007 0,007	0,053 0,053	0,023 0,023	0,017 0,017	0,015 0,015	0,008 0,008

I HEREBY CERTIFY THAT THE PIPES DESCRIBED HERE IN HAVE BEEN
 TESTED IN ACCORDANCE WITH ABOVE SPECIFICATIONS AND
 WITH THE REQUIREMENTS CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER.

Signature as appropriate

