

PENGARUH LUMPUR PT LAPINDO BRANTAS TERHADAP KOROSI PADA STRUKTUR BAJA

EFFECT OF PT LAPINDO BRANTAS MUD ON STEEL STRUCTURE CORROSION

Herman Pratikno

Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS, Surabaya

Telepon: +6014 934 1283/+6231-8289513

email: hermanp@oe.its.ac.id

Abstract

The natural gas mine owned by PT Lapindo Brantas failed to be operated. This has caused the hot mud to blow out from the exploration well in Porong, Sidoarjo, East Java. The mud contains corrosive substances, which can cause corrosion to the steel structure. This research was aimed to determine the corrosion rate and types of corrosion, which could be caused by the mud. The results were compared to those caused by the rice field mud. Railway steel ASTM A-607, water pipe JIS G3106, lighting pole ASTM A572 Gr 65, oil and gas pipe ASTM A53 steel materials were tested during this research. The corrosion tests were done according to ASTM G 48 at normal temperature for 72 hours. The results showed that the corrosion rate was about 4.53 times faster than the corrosion rate which was caused by the rice field mud. The most resistant steel structure was the gas pipe.

Keywords: corrosion test, steel structure, gas mud

1. PENDAHULUAN

Pengeboran gas alam oleh Lapindo Brantas Inc. mengalami kegagalan. Pengeboran tersebut dilakukan oleh PT. Medici Citra Nusa (PT. MCN) sebagai kontraktor utama (Kadir, 2007). Pada tanggal 29 Mei 2006 pukul 04.30 WIB [lumpur panas](#) menyembur dari sumur eksplorasi di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Pengeboran sumur tersebut mengalami *blow out* setelah memasuki hari ke-80 pengeboran.

Kandungan unsur-unsur kimia yang tergolong bahan beracun dan berbahaya (B3) dalam lumpur Lapindo perlu dicermati. Setelah dilakukan beberapa kali uji laboratorium, ditemukan selain suhu mencapai 38-56°C, lumpur tersebut mengandung senyawa kimia yang melampaui baku mutu lingkungan. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai BOD 3840 mg/L, COD 8000-24000 mg/L, permanganat

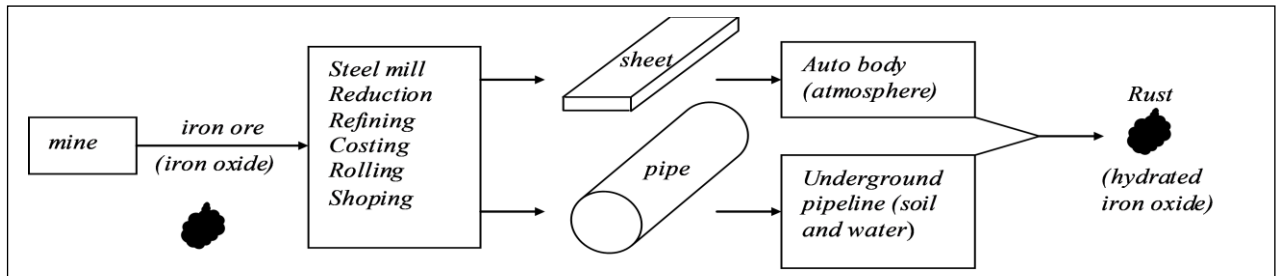
81,9 mg/L, mangan 0,806 mg/L, Pb 0,104 mg/L, selenium 0,0071 mg/L dan klorida 17400 mg/L. Selain itu adanya unsur kimia yang melebihi baku mutu lingkungan tersebut bersifat korosif sehingga menyebabkan terjadinya korosi pada struktur baja. Struktur baja tersebut seperti struktur jaringan pipa migas dan PDAM, gardu dan tiang listrik, dan lintasan rel kereta api. Jika korosi ini berlangsung terus menerus maka struktur baja akan rusak total. Pada penelitian ini akan dibahas besarnya laju korosi yang diakibatkan oleh lumpur Lapindo pada struktur baja. Selain itu juga ditampilkan foto struktur mikro struktur baja tersebut untuk mengetahui jenis korosi yang terjadi.

Korosi merupakan proses degradasi sifat material yang disebabkan adanya reaksi dengan lingkungannya. Korosi adalah suatu proses alamiah suatu material (biasanya logam) yang berusaha untuk kembali ke bentuk asalnya (bijih logam) melalui proses

elektrokimia. Hal itu sebagai akibat dari interaksi dengan lingkungan sekitarnya (Threthewey dan Chamberlain, 1991). Jika korosi terjadi pada besi dan baja disebut sebagai karat (*rust*). Apabila korosi terjadi pada non logam disebut pelapukan (Fontana, 1986). Proses terbentuknya *rust* disajikan pada Gambar 1.

Proses-Proses Korosi Pada Logam

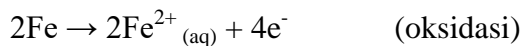
Korosi terjadi karena adanya hubungan antara logam dengan lingkungannya. Proses-proses yang terjadi pada korosi logam merupakan reaksi anoda, reaksi katoda, hantaran ion yang melalui elektrolit dan hantaran elektron (arus listrik) yang melalui logam (Chandler, 1985).



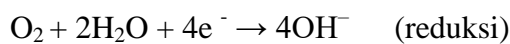
Gambar 1. Perubahan Metalurgi Pada Logam

Reaksi elektrokimia yang terjadi pada proses korosi, meliputi reaksi anodik dan katodik yaitu sebagai berikut:

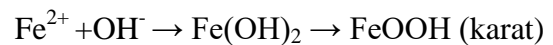
Reaksi anodik:



Reaksi katodik:

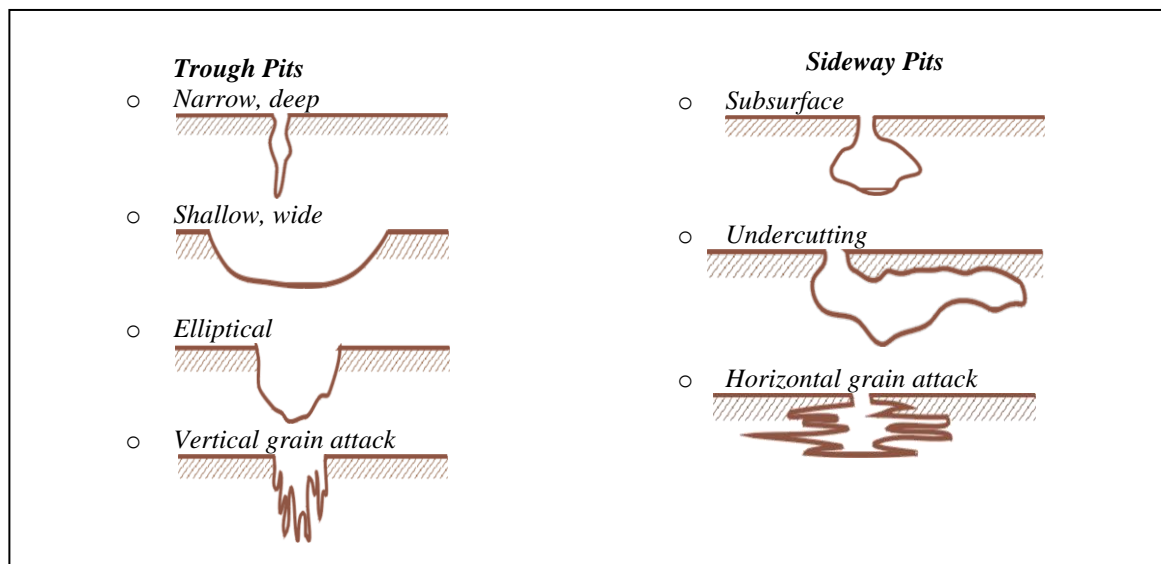


Dua produk Fe^{2+} dan OH^- akan bereaksi kembali membentuk *ferrous hydroxide* ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), yang sering disebut karat.



Jenis Korosi

Jenis korosi yang sering terjadi pada logam akibat lingkungan, yaitu korosi sumuran. Korosi sumuran (*pitting corrosion*) adalah korosi yang menyerang permukaan logam yang bersifat bebas. Di mana serangannya cenderung membentuk sumur dengan arah tegak lurus terhadap permukaan logam dan diameter permukaan jejak korosi jauh lebih pendek daripada alur penetrasian. Macam-macam korosi *pitting* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Macam-macam Korosi *Pitting* (Pratikno, 2006)

Laju Korosi

Terdapat berbagai cara dalam menentukan laju korosi, antara lain: *percent weight loss*, *milligrams per square centimeter per day*, dan *gram per square inch per hour*. Penggunaan *mils per year* sering digunakan untuk menentukan laju korosi. Milimeter per-year didapatkan dengan cara menghitung berat material yang hilang selama uji korosi, dengan formula sebagai berikut (ASTM G 48, 2002):

$$\frac{m}{A} \times \frac{1}{t} \times \frac{1}{d}$$

dengan:

- t = *time of exposure* (jam) = 72 jam
- A = area (cm²)
- W = berat yang hilang (g)
- d = *densitas* (gram/cm³) = 8 g/cm³

Untuk baja Cr-Ni, densitas = 7,9 g/cm³, baja Cr-Ni-Mo = 8 g/cm³.

Tes Korosi dan Kerusakan Akibat Korosi

Hasil dan *reliability* dari data yang didapatkan tergantung pada tingkat detail uji yang dilakukan. Ada dua faktor penting dalam tes korosi, yaitu uji korosi dan aplikasi dari hasil korosi. Tujuan dari tes korosi antara lain: (1) mengevaluasi dan memilih material untuk spesifikasi lingkungan atau untuk aplikasi yang telah ditentukan, (2) mengevaluasi terhadap material yang baru maupun lama untuk menentukan lingkungan di mana material tersebut dapat digunakan, (3) mengendalikan ketahanan korosi dari material terhadap sifat korosif dari lingkungan.

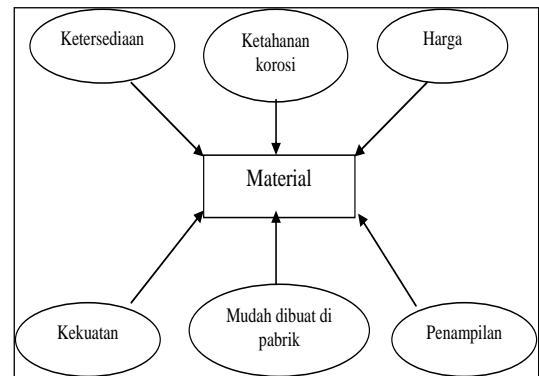
Dampak yang korosi antara lain meningkatnya jumlah biaya operasi dan *maintenance* yang dibutuhkan untuk proteksi perpipaan, dihentikannya proses produksi akibat kegagalan yang diakibatkan korosi yang tidak terduga, dan lain-lain.

Ketahanan Material Terhadap Korosi

Penelitian dilakukan dengan menggunakan material baja ASTM *steels* sesuai dengan *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) untuk aplikasi pada lingkungan

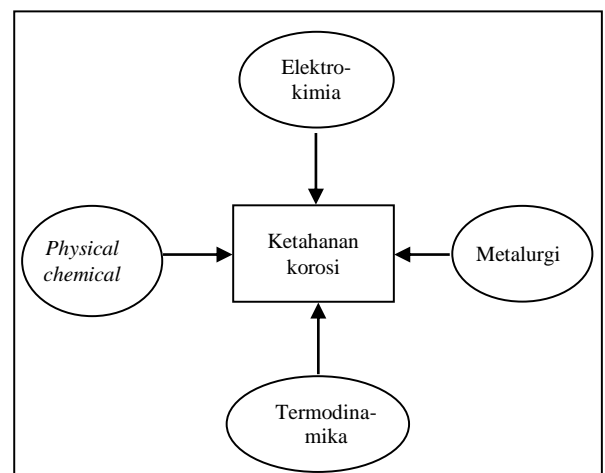
korosif. Material tersebut harus tahan tidak hanya pada korosi umum, tetapi juga terhadap korosi yang menyerang daerah lokal, antara lain korosi intergranular, korosi *pitting*, korosi internal, dan *stress corrosion cracking*.

Dalam konteks nyata pemilihan material tergantung dari banyak faktor, termasuk kelakuan dari korosi (Fontana, 1986). Gambar 3 menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi cara pemilihan material.



Gambar 3. Faktor Pemilihan Material

Termodinamika dan elektrokimia adalah faktor utama dalam pengendalian korosi. Perhitungan termodinamika mengindikasikan arah spontan dari reaksi. Selain itu, faktor metalurgi sering membawa dampak terhadap ketahanan korosi. Dalam berbagai kasus struktur metalurgi dapat dikendalikan untuk mengurangi serangan korosi. Gambar 4 menunjukkan faktor-faktor yang menyebabkan korosi pada metal.



Gambar4. Faktor Penyebab Ketahanan Korosi

Menurut Mitchell (2004) faktor-faktor yang dapat mengurangi ketahanan material terhadap korosi diantaranya, yaitu: (1) *low solid*, tingkat kepadatan material yang rendah, (2) *thermal stability*, penurunan suhu mengakibatkan material tidak dapat bertahan pada suhu lebih dari 80°C (176°F), (3) *thermoplasticity*, daerah yang terkena panas, (4) *chlorine*, kadar krom dalam setiap material mempengaruhi terjadinya korosi.

Pengendalian Korosi

Kerusakan yang diakibatkan oleh korosi memakan biaya lebih besar dibandingkan biaya untuk melakukan pengendalian korosi. Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan berbagai cara, tetapi yang paling penting adalah modifikasi rancangan, pemilihan material, pemberian lapisan pelindung, proteksi katodik atau anodik dan modifikasi Lingkungan. Metoda pengendalian senantiasa harus menjadi bagian dari konsep perancangan secara keseluruhan. Keefektifan metoda tersebut harus terus dipantau sepanjang umur struktur.

2. METODOLOGI

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah uji komposisi kimia material, untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia pada paduan material yang akan digunakan. Langkah selanjutnya yaitu mempersiapkan spesimen, lumpur Lapindo dan peralatan yang mendukung percobaan. Spesimen berupa potongan-potongan kecil berbentuk persegi ukuran 1x1 cm². Selanjutnya dilakukan uji korosi terhadap semua spesimen berdasarkan ASTM G 48 Metode A Tahun 2002. Pengujian korosi dilakukan selama 72 jam pada suhu kamar pada baja ASTM A-607 (rel kereta api), JIS G 3106 (saluran pipa air), ASTM A 572 Gr 65 (tiang listrik) dan ASTM A53 (saluran pipa minyak dan gas).

Setelah percobaan selesai, dilakukan analisis data hasil percobaan dan dihitung laju korosi yang terjadi pada keempat material baja

tersebut dan dibandingkan besarnya laju korosi yang terjadi akibat lumpur biasa (lumpur sawah) dan lumpur Lapindo. Selain itu juga dilakukan foto mikrostruktur untuk mengetahui jenis korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo.

Persiapan Percobaan

Alat dan Bahan

Peralatan yang dibutuhkan dalam percobaan adalah: (1) gergaji besi yang digunakan untuk memotong material, (2) mesin *grinder and polisher (Gripo)*, amplas (kertas gosok) dan kain bludru untuk menghaluskan spesimen, (3) gelas ukur dan wadah tempat pengujian lumpur, (4) timbangan analitik untuk mengetahui berat yang hilang saat pengujian korosi ditunjukkan pada Gambar 5.



a. *Grinder dan Polesh* b. Timbangan Analitik

Gambar 5. Peralatan Percobaan

Bahan yang dibutuhkan meliputi: (1) lumpur Lapindo dan lumpur sawah, (2) material uji, baja ASTM A-607 (rel kereta api), JIS G 3106 (saluran pipa air), ASTM A 572 Gr 65 (tiang listrik) dan ASTM A53 (saluran pipa migas), (3) resin dan *hardener* yang digunakan untuk membungkus material.

Pembuatan Spesimen Uji Korosi

Pembuatan spesimen uji korosi dilakukan di laboratorium Dinamika Struktur Teknik Kelautan ITS. Langkah-langkah pembuatan spesimen adalah sebagai berikut: (1) material baja dipotong-potong dengan ukuran 1 cm², (2) material yang sudah dipotong dan dibersihkan dengan digosok menggunakan amplas, (3) pembuatan spesimen uji korosi. Spesimen dibuat dengan mencampur resin dan *hardener* kemudian diaduk sampai homogen.

Potongan material yang sudah dibersihkan diletakkan ke dalam cetakan kemudian *hardener* dan resin dituangkan. Setelah kering, cetakan dilepaskan, (4) spesimen uji korosi dihaluskan sampai merata dengan amplas hingga *grade* 2000, dibersihkan dan dikeringkan dengan kain bludru, (5) spesimen siap untuk digunakan dalam uji laju korosi.



Gambar 6. Spesimen Uji Korosi

Pengujian Komposisi Larutan (Lumpur Lapindo dan Lumpur Sawah)

Pengujian komposisi larutan dilakukan untuk mengetahui kadar zat yang terkandung dalam larutan. Senyawa yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya korosi yaitu klorida dan sulfat. Dalam penelitian ini dilakukan uji klorida dan sulfat pada masing-masing larutan.

Tahapan-tahapan pengujian lumpur, yaitu: (1) gravimetri, (2) lumpur yang telah dihilangkan kadar airnya dan diabukan direaksikan dengan asam. Reaksi tersebut berfungsi untuk mengetahui kandungan klorida (Cl^-) didestruksi dengan asam nitrat. Sedangkan untuk mengetahui kandungan sulfat (SO_4^{2-}) didestruksi dengan asam klorida (HCl), (3) analisis klorida dilakukan dengan argentometri sedangkan analisis sulfat dilakukan dengan spektrofotometri.

Analisis klorida dengan argentometri adalah sebagai berikut: berat lumpur kering sebelum dilakukan pengujian klorida adalah 0,0589 g (lumpur Lapindo) dan 0,1376 g (lumpur sawah), lumpur kering tersebut dicampur dengan akuades sebanyak 25 mL kemudian direaksikan dengan indikator kalium kromat (K_2CrO_4) dan dititrasi dengan AgNO_3 , Untuk mereaksikan lumpur Lapindo kering (0,0589 gram) dibutuhkan AgNO_3 sebanyak 1,875 mL

dan untuk lumpur sawah (0,1376 g) dibutuhkan AgNO_3 sebanyak 0,625 mL.

Analisis sulfat dengan *spektrofotometri*, yaitu: berat lumpur kering setelah diabukan, sebelum dilakukan pengujian klorida adalah 0,1176 g (lumpur Lapindo) dan 0,1022 g (lumpur sawah). Lumpur kering tersebut diencerkan dengan akuades sebanyak 25 mL kemudian direaksikan dengan barium klorida (BaCl_2), sehingga menghasilkan barium sulfat (BaSO_4) yang berwarna putih dan didapatkan konsentrasi larutan barium sulfat sebesar 12,47 mg/L (lumpur Lapindo) dan 7,51 mg/L (lumpur sawah). Nilai absorbansi sulfat pada untuk lumpur Lapindo sebesar 0,088 dan lumpur sawah 0,041. Angka absorbansi kemudian dimasukkan pada kurva standar dengan panjang gelombang 420 nm, sehingga didapatkan kadar SO_4^{2-} 68,75 mg/L (lumpur Lapindo) dan 32,03 mg/L (lumpur sawah).

Pelaksanaan Percobaan

Pengujian korosi dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Langkah-langkah percobaan uji korosi ini yaitu: (1) mengukur larutan (lumpur Lapindo/lumpur sawah) sebanyak 600-1000 ml pada gelas ukur kemudian menuang dalam wadah untuk pengujian, (2) menimbang spesimen uji korosi sebelum pengujian sampai ketelitian 0,0001 g, (3) memasukkan spesimen uji ke dalam masing-masing larutan, (4) membiarkan pengujian berlangsung selama 72 jam pada suhu kamar, (5) mengambil spesimen uji, (6) membersihkan spesimen uji korosi dengan air dan alkohol hingga benar-benar bersih, kemudian dikeringkan, (7) menimbang spesimen uji korosi setelah pengujian pada timbangan elektrik untuk mengetahui berat spesimen yang telah berkurang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia Larutan

Dari pengujian larutan yang telah dilakukan, didapatkan data mengenai kadar klorida dan sulfat pada masing-masing larutan (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Kimia

Karakteristik Kimia	Lumpur Lapindo	Lumpur Sawah
Warna	Hitam pekat	Coklat
Kadar air (%)	41,20	61,20
Kadar klorida (%)	3,18	0,45
Kadar sulfat	1,46	0,78

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa besarnya kadar klorida dan sulfat pada lumpur Lapindo lebih besar dibandingkan dengan lumpur sawah. Banyaknya klorida pada lumpur Lapindo adalah 7,067 kali lebih besar, sedangkan kadar sulfatnya adalah 1,87 kali lebih besar dari lumpur sawah. Sesuai standar pengujian korosi pada ASTM maka dapat diketahui bahwa lumpur Lapindo lebih bersifat korosif daripada lumpur sawah.

Korosi pada Baja Rel Kereta Api (Baja ASTM A-607)

a. Laju Korosi Pada Baja Rel Kereta Api

Material baja yang digunakan pada aplikasi rel kereta api adalah baja jenis ASTM A-607. Komposisi kimia dari baja ASTM A-607 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia Baja Rel Kereta Api (Baja ASTM A-607)

Komposisi Kimia	Maksimum (%)
C	0,20
Mn	1,50
P	0,04
S	0,04
Si	0,40
Cb	0,05
V	-
Fe	Sisa

Baja jenis ASTM A-607 ini merupakan baja yang campurannya sangat rentan terhadap korosi lingkungan, tetapi tidak didesain untuk korosi di bawah tanah (terpendam). Untuk pembuatan struktur rel kereta api dititikberatkan pada tegangan yang sangat tinggi dan tahan terhadap beban gesekan yang tinggi.

Besarnya laju korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo disajikan berturut-turut pada Tabel 3. Sedangkan Gambar 7 menunjukkan laju korosi akibat lumpur Lapindo yang lebih besar dibandingkan lumpur sawah. Besarnya

laju korosi rata-rata akibat lumpur Lapindo berdasarkan ketiga percobaan di atas adalah 1,513 mm/tahun dan laju korosi akibat lumpur sawah adalah 1,03 mm/tahun. Hasil penelitian menunjukkan besarnya laju korosi akibat lumpur Lapindo pada struktur rel kereta api adalah 1,47 kali lebih cepat dibandingkan lumpur sawah.

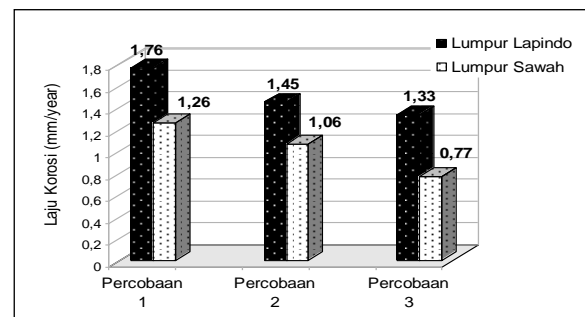
Tabel 3. Laju Korosi Pada Baja Rel Kereta Api

Material	A (cm ²)	W (g)	Laju korosi per tahun (mm/tahun)
Percobaan 1			
K1	1,180	0,010	1,261
K6	1,208	0,014	1,757
Percobaan 2			
K4	1,320	0,013	1,450
K5	1,125	0,008	1,062
Percobaan 3			
K2	1,208	0,011	1,333
K3	1,180	0,006	0,772

Keterangan:

K1, K3 dan K5 = material uji korosi pada lumpur sawah

K6, K2 dan K4 = material uji korosi pada lumpur Lapindo



Gambar 7. Kurva Laju Korosi Pada Rel Kereta Api

b. Struktur Mikro baja rel kereta api (baja ASTM A-607)

Struktur mikro dengan perbesaran 200 X pada baja untuk rel kereta api sebelum pengujian dan sesudah pengujian korosi berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 8, 9 dan 10.

Berdasarkan Gambar 10 bisa dilihat bahwa korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo lebih banyak dibandingkan dengan lumpur sawah. Jenis korosi yang terjadi adalah korosi *pitting*. Korosi pada lumpur Lapindo terlihat jelas (hitam dan berkelompok), sedangkan pada lumpur sawah korosinya kecil dan sedikit. Hal ini didasarkan Gambar 2 pada

landasan teori tentang jenis-jenis dan bentuk korosi *pitting*.



Gambar 8. Struktur Mikro Baja Rel Kereta Api Sebelum Pengujian Korosi



Gambar 9. Struktur Mikro Baja Rel Kereta Api Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Lapindo



Gambar 10. Struktur Mikro Baja Rel Kereta Api Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Sawah

Korosi pada Baja Pipa Air (Baja JIS G 3106)

a. Laju Korosi pada Baja Pipa Air

Material yang sering digunakan pada pipa air PDAM ini adalah material baja dengan standar JIS G 3106. Pembuatan pipa air tersebut tidak dititik beratkan pada tekanan yang besar. Pembuatannya harus efisien dan aman terhadap aliran di dalamnya. Pipa air dibuat

dengan cara pengelasan, sehingga ketahanannya terbatas pada suhu dan tekanan tertentu. Pada Tabel 4 disajikan komposisi kimia baja pipa PDAM (baja JIS G 3106).

Tabel 4. Komposisi Kimia Baja Pipa Air PDAM (Baja JIS G 3106)

Komposisi Kimia	Maksimum (%)
C	0,200
Mn	1,600
P	0,035
S	0,035
Si	0,550
Cb	-
V	-
Fe	Sisa

Besarnya laju korosi yang diakibatkan oleh lumpur Lapindo dibandingkan dengan lumpur sawah berdasarkan ASTM G-48 section III 2002. Densitas baja sebesar 8 g/cm³ dan lama pengujian 72 jam, dengan parameter luasan permukaan (A) dan perubahan berat (W) yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Laju Korosi Pada Baja Pipa Air PDAM

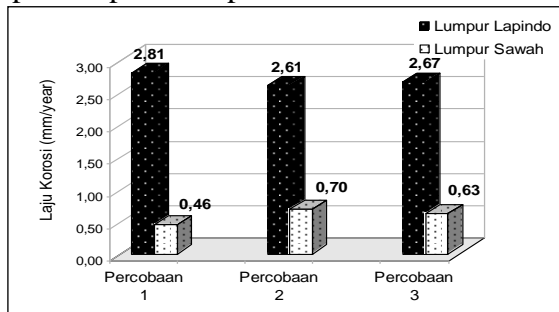
Material	A (cm ²)	W (gram)	Laju korosi per tahun (mm/tahun)
Percobaan 1			
A1	1,155	0,004	0,460
A6	1,155	0,021	2,810
Percobaan 2			
A4	1,100	0,019	2,609
A5	1	0,0046	0,699
Percobaan 3			
A2	1,155	0,020	2,669
A3	1,155	0,005	0,631

Keterangan:

A1, A3 dan A5 = material uji korosi pada lumpur sawah
 A6, A2 dan A4 = material uji korosi pada lumpur Lapindo

Laju korosi pada baja pipa air PDAM dapat digambarkan dalam diagram batang pada Gambar 11. Pada pipa air milik PDAM seperti pada Gambar 11, juga dapat diketahui bahwa besarnya laju korosi akibat lumpur Lapindo lebih besar daripada lumpur sawah. Besarnya laju korosi yang terjadi akibat Lumpur Lapindo berdasarkan ketiga percobaan diatas rata-ratanya adalah 2,697 mm/tahun dan laju korosi akibat lumpur sawah adalah 0,596 mm/tahun. Dari laju korosi di atas maka besarnya laju korosi akibat lumpur lapindo

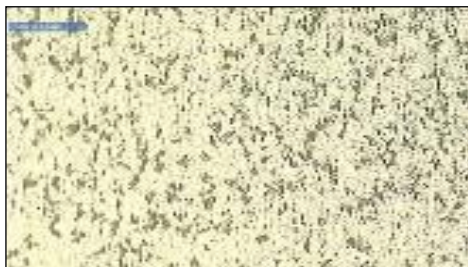
pada struktur pipa air adalah 4,53 kali lebih cepat daripada lumpur sawah.



Gambar 11. Kurva Perbandingan Laju Korosi Pada Baja Pipa Air

b. Struktur Mikro Baja Pipa air PDAM (JIS G 3106)

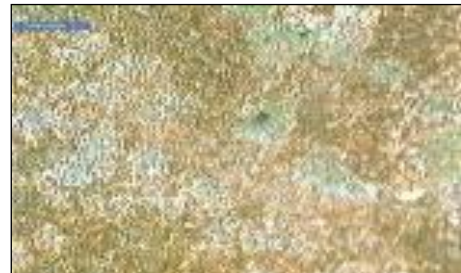
Gambar 12, 13 dan 14 menunjukkan struktur mikro pada baja untuk pipa air PDAM (JIS G 3106) dengan perbesaran 200 kali sebelum pengujian dan sesudah pengujian korosi. Dari Gambar 13 dan 14 dapat dijelaskan bahwa korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo lebih tinggi daripada lumpur sawah. Jenis korosi yang terjadi adalah korosi sumuran. Korosi pada lumpur Lapindo terlihat seperti titik hitam berkelompok, sedangkan pada lumpur sawah hanya terlihat kecil dan jumlahnya tidak sebanyak korosi akibat lumpur Lapindo. Hal ini didasarkan pada Gambar 2 tentang jenis-jenis dan bentuk korosi *pitting*.



Gambar 12. Struktur Mikro Baja Pipa Air Sebelum Pengujian Korosi



Gambar 13. Struktur Mikro Baja Pipa Air Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Lapindo



Gambar 14. Struktur Mikro Baja Pipa Air Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Sawah

Korosi Pada Tiang Listrik (ASTM A 572 Gr 65)

a. Laju Korosi Pada Tiang Listrik

Material yang digunakan pada pengujian terhadap tiang listrik adalah material baja dengan standar ASTM A 572 Gr 65. Pembuatannya juga hampir sama dengan pipa air, tetapi tidak didesain untuk bagian bawah tanah. Pembuatan pipa tiang listrik juga dilakukan dengan pengelasan. Tabel 6 menunjukkan komposisi kimia dari baja pada tiang listrik.

Tabel 6. Komposisi Kimia Baja Tiang Listrik (ASTM A 572 Gr 65)

Komposisi Kimia	Maksimum (%)
C	0,230
Mn	1,650
P	0,035
S	0,040
Si	0,400
Cb	0,050
V	0,150
Fe	Sisa

Besarnya laju korosi yang diakibatkan oleh lumpur Lapindo dibandingkan lumpur sawah pada tiang listrik dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Laju Korosi Pada Baja Tiang Listrik

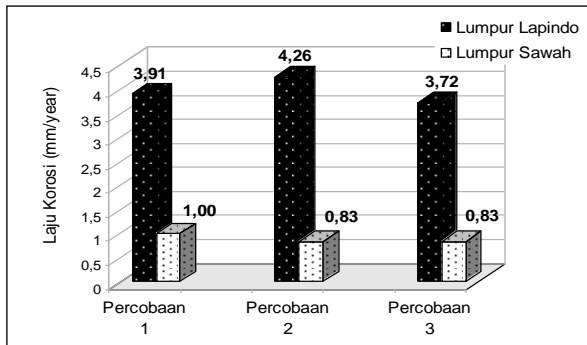
Material	A (cm ²)	W (g)	Laju korosi per tahun
Percobaan 1			
L6	1,350	0,009	1,001
L2	1,320	0,034	3,912
Percobaan 2			
L4	1,320	0,037	4,265
L5	1,350	0,007	0,833
Percobaan 3			

L1	1,183	0,029	3,725
L3	1,320	0,007	0,828

Keterangan:

L6, L5 dan L3 = material uji korosi pada lumpur sawah
 L2, L4 dan L1 = material uji korosi pada lumpur Lapindo

Laju korosi dihitung berdasarkan ASTM G-48 section III 2002, dengan densitas baja 8 gram/cm³ dan lama pengujian 72 jam dan parameter luasan permukaan (A) dan perubahan berat (W). Kurva batang laju korosi untuk baja tiang listrik ditampilkan pada Gambar 15.



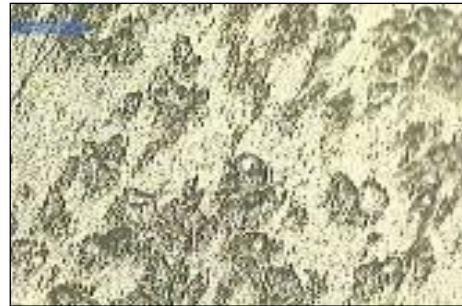
Gambar 15. Kurva Perbandingan Laju Korosi Pada Baja Tiang Listrik

Dari Gambar 15 dapat diketahui bahwa besarnya laju korosi antara lumpur Lapindo dan lumpur sawah sangat besar perbedaannya. Besarnya laju korosi rata-rata yang terjadi akibat lumpur Lapindo berdasarkan ketiga percobaan yang dilakukan adalah 3,967 mm/tahun dan laju korosi akibat lumpur sawah sebesar 0,883 mm/tahun. Dari laju korosi tersebut ditunjukkan bahwa besarnya laju korosi akibat lumpur Lapindo pada struktur pipa air adalah 4,493 kali lebih cepat daripada lumpur sawah.

b. Strukur Mikro Baja Tiang Listrik (ASTM A 572 Gr 65)

Gambar struktur mikro pada baja untuk baja tiang listrik dengan perbesaran 200 X (ASTM A 572 Gr 65) sebelum pengujian dan sesudah pengujian korosi berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 16, 17 dan 18. Gambar 16, 17, dan 18 menunjukkan bahwa korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo lebih banyak daripada lumpur sawah. Jenis korosi yang terjadi adalah korosi sumuran (*pitting*

corrosion). Korosi pada lumpur Lapindo terlihat seperti titik hitam dan besar, sedangkan pada lumpur sawah korosinya tidak sebanyak korosi akibat lumpur Lapindo.



Gambar 16. Struktur Mikro Baja Tiang Listrik Sebelum Pengujian Korosi



Gambar 17. Struktur Mikro Baja Tiang Listrik Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Lapindo



Gambar 18. Struktur Mikro Baja Tiang Listrik Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Sawah

Korosi Pada Baja Pipa Gas (Baja ASTM A53)

a. Laju Korosi Pada Baja pipa Gas

Baja ASTM A53 berwarna hitam dan cocok untuk dijadikan saluran pipa gas. Selain itu pipa baja jenis ini sangat cocok digunakan untuk *coiling, bending, flanging* dan manfaat

lain. Selain itu juga baik digunakan pada pengelasan *hot dipped galvanis*. Pipa jenis baja ini dibentuk tanpa sambungan (*seamless*) dengan suhu dan tekanan Tinggi, sehingga sangat cocok untuk kondisi fluida hidrokarbon. Komposisi kimia dari baja ASTM A53 seperti pada Tabel 8..

Tabel 8. Komposisi Kimia Baja Pipa Minyak dan Gas (Baja ASTM A 53)

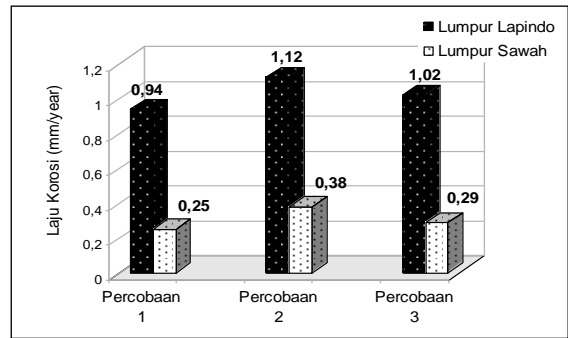
Komposisi Kimia	Maksimum (%)
C	0,220
Mn	0,250
P	0,005
S	0,045
Si	-
Cb	-
V	-
Fe	Sisa

Besarnya laju korosi yang diakibatkan oleh lumpur Lapindo dibandingkan lumpur sawah pada pipa migas berdasarkan ASTM G-48 section III 2002 ditampilkan pada Tabel 9. Kondisi pengujian pengujian tersebut dilakukan pada densitas baja 8 g/cm³, lama pengujian 72 jam, serta parameter luasan permukaan (A) dan perubahan berat (W).

Tabel 9. Laju Korosi Pada Baja ASTM A53

Material	A(cm2)	W(g)	Laju korosi per tahun (mm/tahun)
Percobaan 1			
G1	1,440	0,009	0,939
G2	1,380	0,002	0,253
Percobaan 2			
G5	1,155	0,009	1,118
G6	1,208	0,003	0,377
Percobaan 3			
G3	1,323	0,009	1,022
G4	1,323	0,003	0,287

Hasil plot data laju korosi menghasilkan kurva pada Gambar 19. Dari data laju korosi pada Gambar 19 dapat diketahui bahwa besarnya laju korosi pada lumpur Lapindo dan lumpur sawah sangat berbeda.



Gambar 19. Kurva Perbandingan Laju Korosi Pada Baja ASTM A53

Rata-rata laju korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo berdasarkan ketiga percobaan di atas adalah 1,027 mm/tahun dan laju korosi akibat lumpur sawah adalah 0,883 mm/tahun. Dari laju korosi tersebut, dapat diketahui besarnya laju korosi akibat lumpur Lapindo pada struktur pipa air adalah 0,303 kali lebih cepat dibandingkan laju korosi oleh lumpur sawah.

b. Struktur Mikro Baja Pipa Minyak dan Gas (ASTM A53)

Struktur mikro pada baja pipa migas (ASTM A53) dengan perbesaran 200 kali sebelum pengujian ditunjukkan pada Gambar 20. Hasil setelah pengujian korosi disajikan pada Gambar 21 dan 22.



Gambar 20. Struktur Mikro Baja Pipa Migas Sebelum Pengujian Korosi



Gambar 21. Struktur Mikro Baja Pipa Minyak dan Gas Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Lapindo



Gambar 22. Struktur Mikro Baja Pipa Minyak dan Gas Setelah Pengujian Korosi Pada Lumpur Sawah

Gambar 21 dan 22 tentang struktur mikro pada pipa migas menunjukkan bahwa korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo lebih tinggi apabila dibandingkan dengan lumpur sawah. Jenis korosi yang terjadi adalah korosi sumuran. Korosi pada lumpur Lapindo terlihat seperti titik hitam tetapi jumlahnya juga tidak terlalu banyak pada material baja ini. Sedangkan korosi yang terjadi akibat lumpur sawah tergolong lebih kecil.

Penanggulangan Korosi

Setelah melakukan analisis data hasil laju korosi pada keempat material di atas, didapatkan bahwa laju korosi akibat lumpur Lapindo lebih besar dibandingkan dengan korosi akibat lumpur sawah. Laju korosi akibat lumpur Lapindo terbesar terjadi pada material baja tiang listrik (ASTM A572 Gr 65), sedangkan korosi terkecil terjadi pada material pipa migas (ASTM A53). Akan tetapi jika korosi terjadi pada struktur meskipun sekecil apapun pasti dapat mengganggu kinerja pada struktur tersebut. Oleh sebab itu dibutuhkan solusi untuk menanggulangi terjadinya korosi akibat lumpur Lapindo. Beberapa solusi yang bisa dijadikan pertimbangan penanggulangan korosi akibat lumpur Lapindo pada tiap struktur adalah sebagai berikut:

1. *Penanggulangan Korosi Akibat Lumpur Lapindo Pada Struktur Rel Kereta*

Laju korosi pada rel kereta api akibat pengaruh lumpur Lapindo adalah 1,513

mm/tahun. Korosi yang terjadi pada struktur tersebut dapat ditanggulangi dengan cara modifikasi kondisi lingkungan, yaitu dengan meninggikan rel kereta api agar tidak terendam lumpur. Hal ini dikarenakan jika rel terendam lumpur maka tidak akan dapat dilalui kereta api. Dengan demikian, selain mengurangi laju korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo, rel tersebut juga sudah aman untuk dilalui kembali oleh kereta api.

2. *Penanggulangan Korosi Akibat Lumpur Lapindo Pada Struktur Pipa Air*

Laju korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo pada pipa air adalah 2,697 mm/tahun. Untuk mengurangi laju korosi tersebut, perlu dilakukan suatu cara proteksi katodik, yaitu dengan lapis lindung. Seperti halnya pelapisan pipa untuk struktur pipa bawah tanah dan pada lumpur mengalir, maka dapat digunakan pelapisan termoplastik dan elastomer.

Bahan yang cocok untuk pipa air adalah nilon. Selain tidak mudah pecah, nilon juga tahan pada suhu 120°C dan kekuatannya dengan baja sangat kuat. Pemasangan nilon dapat dilakukan dengan cara pencelupan atau penyemprotan dengan tebal 5-10 mm.

3. *Penanggulangan Korosi Akibat Lumpur Lapindo Pada Tiang Listrik*

Laju korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo pada tiang listrik adalah 3,967 mm/tahun. Untuk mengurangi terjadinya korosi, maka dilakukan suatu cara proteksi katodik, yaitu dengan lapis lindung. Tiang listrik tidak didesain di bawah tanah seperti halnya pipa air, maka proteksi katodik yang cocok adalah dengan pelapisan cat. Komposisi cat yang harus digunakan hendaknya memenuhi zat-zat sebagai berikut: (1) wahana berupa zat cair yang membuat cat mempunyai fluiditas, dan bila mengering atau menguap meninggalkan selaput padat, (2) pigmen tersuspensi dengan wahana. Pigmen mengendalikan

laju korosi, atau laju difusi reaktan pada selaput kering, (3) aditif yang mempercepat proses pengeringan atau memungkinkan lapisan cat kering lebih aman terhadap lingkungan kerja. Jika ada salah satu unsur yang tidak terpenuhi maka hasil pengecatan tidak akan maksimal.

4. Penanggulangan Korosi Akibat Lumpur Lapindo Pada Pipa Minyak dan Gas

Laju korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo pada pipa migas adalah 1,027 mm/tahun. Untuk mengurangi terjadinya korosi tersebut, dilakukan cara proteksi katodik yaitu dengan lapis lindung. Karena suhu yang sangat tinggi maka digunakan lapisan *polytetrafluoroetilena* (PTFE). Bahan ini mahal tetapi memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap korosi. Bahan ini juga tahan terhadap temperatur (hingga 250°C), sehingga sangat cocok untuk pipa migas.

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) laju korosi pada struktur baja akibat lumpur Lapindo lebih besar dibanding laju korosi akibat lumpur sawah, (2) besarnya laju korosi akibat lumpur Lapindo hingga 4,53 kali lebih cepat dibandingkan dengan lumpur sawah pada struktur pipa air, (3) struktur baja yang paling banyak terkorosi akibat lumpur lapindo adalah baja pada tiang listrik sebesar 3,967 mm/tahun, (4) jenis korosi yang terjadi akibat lumpur Lapindo ini adalah korosi sumuran, (5) untuk penanggulangan korosi perlu dilakukan dengan proteksi katodik dan didasarkan pada faktor keamanan serta kinerja dari struktur tersebut.

Beberapa saran guna perbaikan hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Untuk

memperoleh hasil laju korosi yang akurat maka dibutuhkan perhitungan laju korosi dengan metoda yang berbeda pada penelitian selanjutnya, kemudian membandingkan hasil tersebut, (2) Masih dibutuhkan studi lebih lanjut untuk membuktikan cara penanggulangan korosi akibat lumpur Lapindo ini pada penelitian selanjutnya guna memperoleh hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. Section III. 2002. Metal Test Methods and Analytical Procedures. 3(2). ASTM International.
- Chandler, K.A. (1985). Marine and Offshore Corrosion. Butterworth dan Co Publishers Ltd, London.
- Fontana, M.G. (1986). Corrosion Engineering. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kadir, A. (2007). Keprihatinan Dibalik “Kemenangan” Lapindo. Indonesia. Indonesia: Pengamat Independen Perminyakan Indonesia. Buletin Migas
- Mitchell, M.J. (2004). Progress in Offshore Coating. Butterworth dan Co Publishers Ltd, London.
- Pratikno, H., (2006). Pengaruh Salinitas terhadap Kinerja Beberapa *Sacrificial Anode* Pada Proteksi Katodik di Lingkungan Laut. *Jurnal Purifikasi*. 7(1). 31-36.
- Threthewey, K.R. dan Chamberlin, J., (1991). Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa. PT Gramedia, Jakarta.