

STUDI PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI STAINLESS STEEL TIPE SS 304 DAN SS 201 MENGGUNAKAN METODE U-BEND TEST SECARA SIKLIK DENGAN VARIASI SUHU DAN PH

Sumarji¹

ABSTRACT

There are many failures in a structure that is caused by the damage of the metal that support them. One of the problem which can cause the damage of the metal is corrosion. With its action, corrosion can make a metal become thin, and in some cases can make a crack and fracture. Some factors are determine how fast the process is occured in corrosion process, for examples are the oxygen concentration, degree of acidity, and temperature. The purpose of this research is to know how is the role of that factors in corrosion process. This research is implemented in three condision of temperatures (30⁰ C, 50⁰ C, 70⁰ C), variation of HCl's pH (0, 1, 2), and cycle environments condition. That will be combined and will be tested for about 7 days. After this execution, material will be measured for the decrease of the weight to give the value of corrosion rate. From this experiment, the rate of corrosion rises by increasing temperature and the decreasing pH condition. In all condition of this experiment, the SS 304 Stainless Steel has the better resistant to the corrosion in HCl environment. The highest corrosion rate of cycle condition is 36.119,4 mpy for SS 201 Stainless Steel, and 515,5 mpy for SS 304 Stainless Steel. Form the micro photographs of corrosion happened on SS 201 Stainless Steel is pitting corrosion and SS 304 Stainless Steel is uniform corrosion.

Keywords: Stainless Steel, Cycle and Corrosion

PENDAHULUAN

Logam merupakan jenis material yang banyak digunakan dalam kehidupan manusia. Hal ini dikarenakan logam memiliki sifat mudah dibentuk, serta memiliki sifat-sifat fisis yang bagus dan mudah diatur sesuai dengan kebutuhan yang meliputi kekuatan, keuletan, dan kekerasannya. Akan tetapi satu kelemahan yang sering dialami oleh material logam ini ialah terjadinya korosi yang dapat mengakibatkan berkurangnya umur material tersebut (Johny W. S., 2004).

Korosi ini dapat disebabkan oleh material itu sendiri maupun faktor-faktor dari lingkungan. Faktor dari material itu sendiri meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, unsur-unsur penyusup yang ada dalam bahan, dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, serta keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif. Bahan-bahan korosif terdiri atas asam, basa serta garam, baik dalam bentuk senyawa an-organik maupun organik (Mukhlis A., 2000).

Lingkungan yang beragam merupakan salah satu faktor yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan suatu produk yang menggunakan logam sebagai bahannya. Perencanaan produk yang akan digunakan pada lingkungan asam akan berbeda dengan perencanaan produk untuk lingkungan basa. Selain tingkat keasaman lingkungan yang perlu dipertimbangkan, ada beberapa hal yang bisa berpengaruh terhadap proses terjadinya korosi, yaitu temperatur lingkungan dan jumlah oksigen yang tersedia dalam lingkungan.

Dengan beragamnya faktor-faktor yang mempengaruhi proses korosi tersebut, akan berpengaruh pada perencanaan produk, misalnya pada pemilihan bahan. Berbagai jenis material banyak tersedia dengan komposisi masing-masing sehingga memungkinkan bagi perencanaan untuk memilih bahan yang cocok dengan kondisi lingkungannya.

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Dengan adanya berbagai faktor yang berpengaruh di atas, maka penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh perbedaan komposisi terhadap laju korosi pada lingkungan yang memiliki tingkat keasaman dan kandungan oksigen yang berbeda.

TINJAUAN PUSTAKA

Stainless Steel

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasar beratnya. *Stainless steel* memiliki sifat tidak mudah terkorosi sebagaimana logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dari baja biasa dari kandungan kromnya. Baja karbon akan terkorosi ketika diekspos pada udara yang lembab. Besi oksida yang terbentuk bersifat aktif dan akan mempercepat korosi dengan adanya pembentukan oksida besi yang lebih banyak lagi. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut.

Untuk memperoleh ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi biasanya dilakukan dengan menambahkan krom sebanyak 13 hingga 26 persen. Lapisan pasif *chromium(III) oxide* (Cr_2O_3) yang terbentuk merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mengganggu penampilan dari *stainless steel* itu sendiri. Dari sifatnya yang tahan terhadap air dan udara ini, *stainless steel* tidak memerlukan suatu perlindungan logam yang khusus karena lapisan pasif tipis ini akan cepat terbentuk kembali ketika mengalami suatu goresan. Peristiwa ini biasa disebut dengan pasivasi, yang dapat dijumpai pula pada logam lain misalnya aluminium dan titanium.

Ada berbagai macam jenis dari *stainless steel*. Ketika nikel ditambahkan sebagai campuran, maka *stainless steel* akan berkurang kegetasannya pada suhu rendah. Apabila diinginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, maka dibutuhkan penambahan karbon. Sejumlah unsur mangan juga telah digunakan sebagai campuran dalam *stainless steel*. *Stainless steel* juga dapat dibedakan berdasarkan struktur kristalnya menjadi: *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *precipitation-hardening stainless steel*, dan *duplex stainless steel*

Stainless Steel Tipe 304

Baja paduan SS 304 merupakan jenis baja tahan karat *austenitic stainless steel* yang memiliki komposisi 0.042%C, 1.19%Mn, 0.034%P, 0.006%S, 0.049%Si, 18.24%Cr, 8.15%Ni, dan sisanya Fe. Beberapa sifat mekanik yang dimiliki baja karbon tipe 304 ini antara lain: kekuatan tarik 646 Mpa, *yield strength* 270 Mpa, *elongation* 50%, kekerasan 82 HR_B.

Stainless steel tipe 304 merupakan jenis baja tahan karat yang serbaguna dan paling banyak digunakan. Komposisi kimia, kekuatan mekanik, kemampuan las dan ketahanan korosinya sangat baik dengan harga yang relative terjangkau. *Stainless steel* tipe 304 ini banyak digunakan dalam dunia industri maupun skala kecil. Penggunaannya antara lain untuk: tanki dan *container* untuk berbagai macam cairan dan padatan, peralatan pertambangan, kimia, makanan, dan industri farmasi.

Stainless Steel Tipe SS 201

Baja paduan SS 201 merupakan jenis baja tahan karat *austenitic stainless steel* yang memiliki komposisi 0.15%C, 13.5%Mn, 0.03%P, 0.03%S, 0.15%Si, 13.00%Cr, 1.02%Ni, dan sisanya Fe. Beberapa sifat mekanik yang dimiliki baja karbon tipe 304 ini antara lain: kekuatan tarik 580 Mpa, *yield strength* 198 Mpa, *elongation* 50%, kekerasan 87HR_B.

Korosi

Korosi merupakan degradasi dari suatu material akibat interaksi dengan lingkungan melalui proses elektrokimia. Pada saat suatu logam di ekspos ke lingkungannya, maka akan terjadi interaksi diantara keduanya (Rochim S., 2005). Timbulnya korosi ini akan sangat merugikan karena dapat menimbulkan kerusakan, penurunan penampilan, ongkos *maintenance*

membesar, kontaminasi produk, serta keamanan berkurang. Korosi yang biasa terjadi di lapangan memiliki berbagai macam jenis antara lain: *galvanic, uniform, crevice, pitting, intergranular, selective leaching, erosion corrosion, stress corrosion cracking*. Faktor-faktor yang harus ada dalam korosi antara lain: anoda, katoda, konduktor, dan elektrolit (Fontana, M.G. 1987).

Korosi di Lingkungan Air

Semua reaksi korosi di lingkungan air dapat dianggap tidak berbeda dengan contoh sel korosi basah sederhana. Bahkan meskipun sel itu merupakan bagian dari permukaan logam yang sama, anoda dan katoda biasanya dapat dibedakan. Kita dapat menduga bahwa besilah yang akan menjadi anoda ketika diperbandingkan dengan ion-ion hidrogen (Chamberlain, 1998). Persamaan-persamaan untuk reaksi itu adalah:

- Ketika besi terlarut

$$\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^- \quad (1)$$
- Ketika gas hidrogen terbentuk

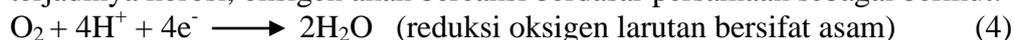
$$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 \quad (2)$$
- Reaksi keseluruhan

$$\text{Fe} + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2(\text{gas}) \quad (3)$$

Aerasi dan Pengaruh Oksigen terhadap Korosi

Aerasi merupakan penyusupan oksigen ke dalam air. Oksigen ini didapat dari udara yang berdifusi ke dalam air. Dengan adanya oksigen terlarut dalam air akan meningkatkan laju korosi pada logam, karena oksigen digunakan dalam proses reaksi katodik. Akan tetapi kandungan oksigen di dalam air ini akan merugikan bagi logam yang terdapat di dalamnya karena dapat menimbulkan korosi.

Oksigen adalah salah satu penyebab utama terjadinya korosi, karena di dalam proses terjadinya korosi, oksigen akan bereaksi berdasar persamaan sebagai berikut:



atau



Dengan demikian, semakin banyak kandungan oksigen yang terdapat dalam lingkungan terjadinya korosi, semakin cepat pula korosi yang akan terjadi.

Pengaruh Derajat Deformasi terhadap Korosi

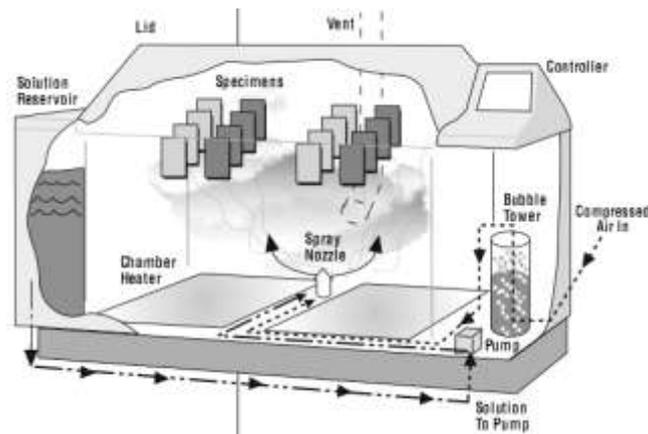
Akibat pengerjaan dingin suatu benda akan mengalami deformasi, dan akan timbul *stress cell*. *Stress cell* terjadi karena ada bagian yang mengalami tegangan yang berbeda dengan bagian yang lainnya. Bagian yang mengalami tegangan yang lebih besar akan menjadi anode dan akan terkorosi lebih hebat. Seperti contoh yaitu batang logam yang ditekuk dan sebuah paku. Pada batang logam yang ditekuk, korosi lebih cepat terjadi pada daerah tekukannya karena telah mengalami deformasi berupa tegangan. Sedangkan pada paku, daerah yang lebih cepat terkorosi adalah pada kepala dan ujungnya (Suriadi, dkk., 2007).

Uji Siklik

Uji siklik merupakan percobaan yang menirukan kondisi lingkungan yang bervariasi. Alasan dilakukannya hal ini diperoleh dari observasi bahwa kebanyakan korosi terjadi selama transisi dari keadaan basah ke keadaan kering, dan sebaliknya, sehingga tidak selamanya material tersebut berada dalam kondisi basah terus atau kering terus.

Salah satu contoh uji siklik ialah dengan pengkabutan (Gambar 1). Spesimen yang diuji dikondisikan dalam kabut larutan elektrolit hasil penyemprotan dengan *sprayer* untuk jangka

waktu tertentu kemudian dikondisikan dalam lingkungan kering untuk jangka waktu tertentu, dan begitu seterusnya dilakukan secara berulang-ulang.



Gambar 1. Uji korosi siklik dengan pengkabutan (Q-Panel lab products. 1994)

U-Bend Test

Material yang akan diujikan dengan *U-Bend Test* pada umumnya berbentuk lembaran segiempat yang ditekuk hingga 180° sehingga membentuk lekukan dengan radius tertentu dan dijepit secara konstan selama uji korosi berlangsung. Tekukan dengan radius kurang dari atau lebih dari 180° juga kadang diperlukan.

Spesimen *U-Bend Test* bisa mengalami regangan elastis maupun plastis. Pada beberapa kasus, (misalnya lembaran yang sangat tipis) sangat mungkin untuk dilakukan uji dengan metode *U-Bend Test*, dan hanya akan mengalami regangan elastis.

Spesimen *U-Bend Test* dibentuk menjadi bentuk U dan tidak boleh sampai terjadi keretakan saat melakukan penekukan. Spesimen yang akan digunakan lebih mudah untuk dibuat apabila bentuknya berupa lembaran, tapi bisa juga dibuat dengan pemesinan material yang berupa plat atau hasil *casting*.

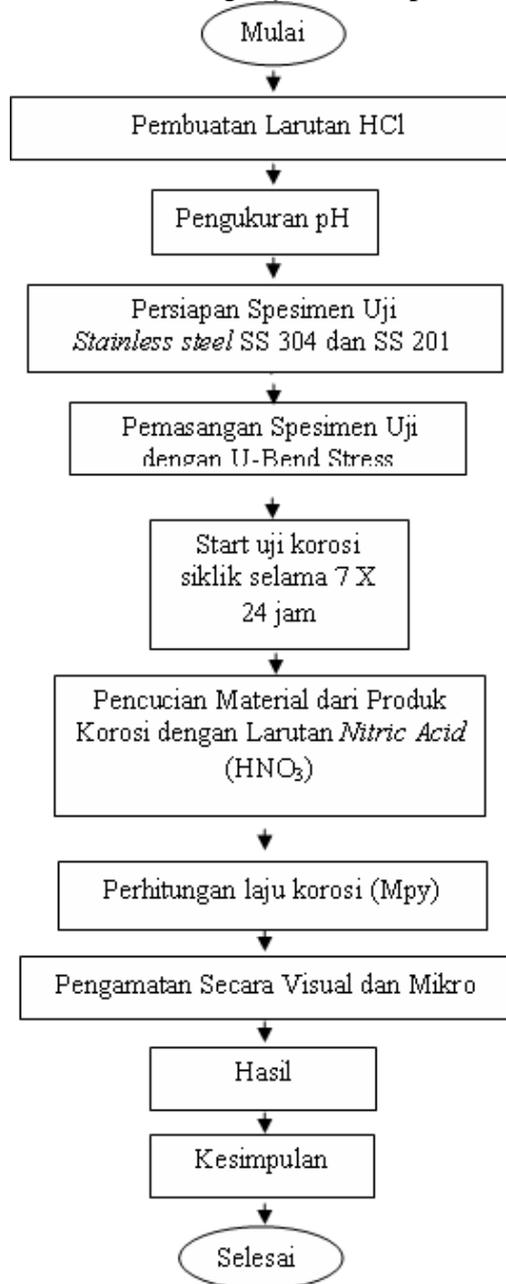
Adanya penekukan ini akan menimbulkan tegangan pada bagian tekukan sehingga pengujian ini dapat digunakan untuk mendeteksi adanya *Stress Corrosion Cracking* (Huang, Yanliang, 2001). Kondisi tegangan yang terjadi pada penekukan spesimen *U-Bend Test* biasanya tidak diketahui, sehingga pengujian dengan *U-Bend Test* tidak bisa dilakukan untuk berbagai macam variasi tegangan yang akan digunakan untuk mendeteksi adanya *Stress Corrosion Cracking* (SCC). Keuntungan dari pengujian dengan metode *U-Bend Test* ini ialah pembuatan dan penggunaannya yang ekonomis (Roberge, Pierre R., 2008).

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan April – Mei 2010.

Bahan penelitian adalah *Stainless steel* tipe SS 304 dan SS 201, Larutan HCl, air, *Nitric Acid* (HNO_3), dan Tembaga Sulfat (CuSO_4). Peralatan yang digunakan adalah Alat uji siklik dengan metode *U-Bend Stress*, *Thermometer*, *Thermo Control*, *Heater*, Timbangan, pH meter, Gelas ukur, pipet volum, Mikroskop.

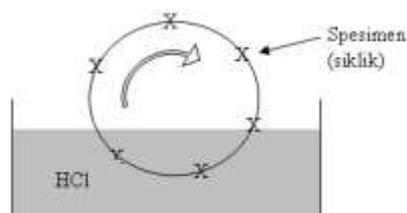
Alur penelitian ini akan dilakukan sesuai dengan *flowchart* pada Gambar 2 di bawah:



Gambar 2 *Flow chart* penelitian

Dalam penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen mengacu pada metode *U-Bend Stress* berdasarkan ASTM G30 – 94.
2. Pengujian spesimen pada alat uji korosi siklik dengan pemasangan spesimen seperti pada gambar 3.



Gambar 3 Skema uji korosi siklik

Penelitian ini dilakukan dengan menempatkan spesimen pada alat uji korosi siklik yang berputar, yang mengakibatkan spesimen akan berada pada lingkungan elektrolit dan udara secara bergantian. Proses pengkorosian dilakukan selama 7 x 24 jam dengan memvariasikan suhu sebesar 30, 50, 70 °C pada masing-masing tingkat pH larutan HCl yang berbeda yaitu 0, 1, dan 2.

3. Pencucian Spesimen. Setelah spesimen tersebut terpasang pada alat uji korosi selama 7 x 24 jam, maka selanjutnya dilakukan pencucian spesimen dari produk korotan dengan larutan 100 mL nitric acid yang dicampur air sampai dengan 1 liter, kemudian dipanaskan pada suhu 600 C selama 20 menit.
4. Penghitungan Laju Korosi. Setelah spesimen dicuci, selanjutnya dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat logam yang hilang yang akan digunakan untuk menghitung laju korosi dengan rumus:

$$mpy = \frac{3,45 \times 10^6 \times W}{A.T.D} \quad (6)$$

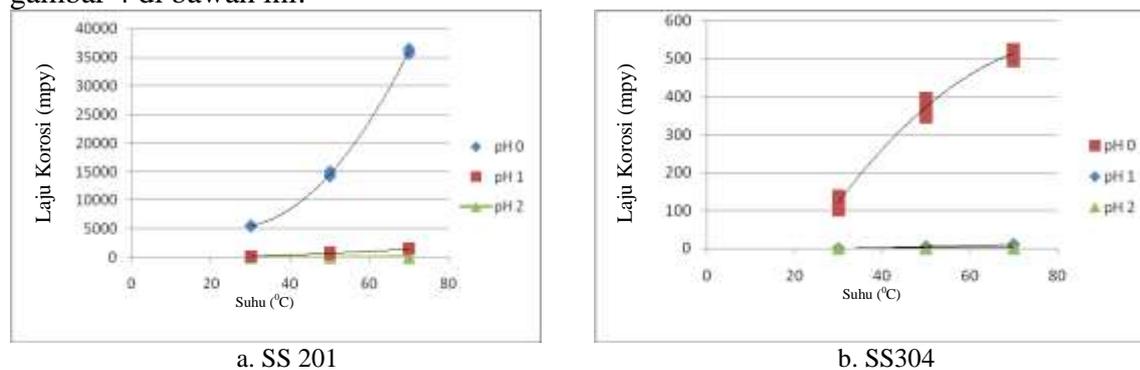
Keterangan : mpy = laju korosi (mils/year) , W= berat yang hilang (g),
A= luas (cm²), T = waktu (jam), D= density (g/cm³)

5. Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik yang telah dimonting, diamplas, dipoles dan dietsa sesuai dengan standar ASTM E3-01 (Standart Test Method for Preparation of Metallographic Specimens).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Korosi Siklik

Hasil pengujian korosi pada material SS 201 dan SS 304 ditunjukkan dalam grafik pada gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Perbandingan laju korosi baja SS 201 dan 304 pada uji korosi siklik dengan variasi PH dan suhu

Dari grafik di atas, jelas terlihat bahwa dengan adanya kenaikan suhu larutan, maka laju korosi yang terjadi semakin tinggi. Demikian pula dengan adanya kenaikan tingkat keasaman (pH semakin berkurang), korosi yang terjadi semakin besar. Laju korosi tertinggi terjadi pada suhu 70 °C dan pH 0 untuk material SS 201 laju korosi sebesar 36119,41 mpy dan material SS 304 sebesar 515,292 mpy. Secara keseluruhan, berdasarkan nilai rata-rata laju korosi kedua material di atas, material SS 304 memiliki tingkat laju korosi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tingkat laju korosi dari material SS 201. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan komposisi dari masing-masing material. Material SS 304 memiliki kadar Cr dan Ni lebih tinggi dari SS 201. Unsur Cr berperan mencegah korosi pada *stainless steel* dengan membentuk lapisan pasif Kromium(III) Oksida (Cr₂O₃) ketika bertemu oksigen. Unsur Ni juga berperan untuk meningkatkan ketahanan material terhadap laju korosi retak tegang.

Semakin tinggi derajat keasaman maka akan meningkatkan konsentrasi ion – ion dalam larutan HCl yaitu ion H⁺ dan ion Cl⁻. Ion H⁺ berfungsi sebagai reduktor dan ion Cl⁻ berfungsi

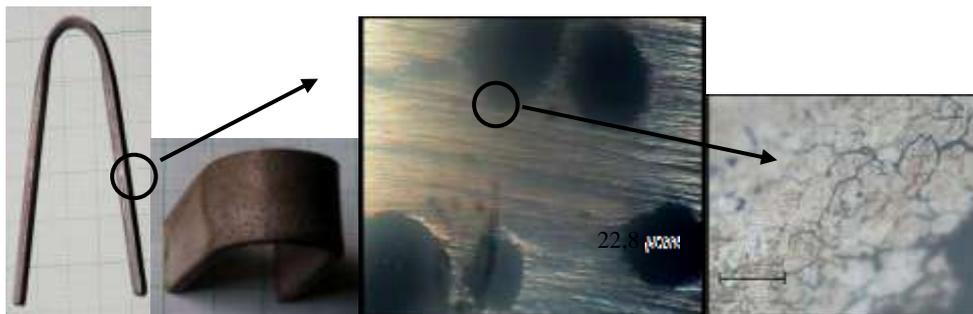
sebagai perusak lapisan pasif (Cr_2O_3) dan ikatan logam, sehingga semakin banyak ion-ion tersebut reaksi korosi akan berjalan semakin cepat.

Suhu akan meningkatkan energi dalam suatu sistem sehingga akan mempengaruhi besarnya laju korosi yang terjadi. Hal ini dikarenakan, semakin tinggi suhu yang dimiliki, partikel yang menyusun unsur baik itu dari larutan maupun dari logamnya bergerak semakin cepat. Dengan adanya gerakan yang lebih cepat ini, kemungkinan bertemunya ion dari larutan dan ion dari logam untuk bereaksi semakin cepat pula. Dengan demikian, laju reaksi yang terjadi juga semakin cepat.

Efek aerasi akan mempercepat laju korosi, dimana oksigen disekitar permukaan specimen akan terbawa pada saat specimen tercelup ke dalam larutan. Semakin banyak oksigen yang terlarut dalam larutan HCl maka akan meningkatkan terjadinya reaksi katodik.

Hasil Pengamatan Makro dan Mikro

Hasil pengamatan makro dan mikro material SS 201 setelah dilakukan pengujian korosi seperti gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5. Korosi *pitting* material ss 201 yang ditandai adanya lubang yang terbentuk pada material.

Dari Gambar 5 di atas, terlihat adanya bekas adanya korosi berupa lubang-lubang yang dinamakan korosi sumuran atau *pitting*. Korosi ini menyebar di daerah lengkungan. Hal ini dipicu oleh adanya perbedaan tegangan antara bagian lengkungan dengan bagian lurus. Pada bagian lengkungan, tegangan yang tersisa akibat proses deformasi menyebabkan unsur-unsur yang terdapat pada bagian lengkungan mengalami kondisi yang kurang stabil dan menjadi lebih sensitif, sehingga atom-atomnya akan mudah untuk melepaskan electron. Korosi dimulai dari rusaknya lapisan pasif yang terbentuk, sehingga mengakibatkan elektron pada unsur Fe mampu menembus keluar dan mengakibatkan unsur Fe berubah menjadi ion Fe^{2+} .

Dari Gambar 5 di atas, terlihat bahwa serangan korosi di dalam korosi *pitting* itu sendiri dimulai dari batas butir. Hal ini dikarenakan pada batas butir terdapat energi yang lebih tinggi dari daerah di sekitar batas butir akibat adanya gaya ikatan antar butir. Energi yang lebih tinggi ini menyebabkan unsur Fe lebih mudah untuk melepas elektronnya dan akan berubah menjadi ion. Proses yang terjadi selanjutnya sama seperti yang terjadi pada korosi *pitting* di atas.

Untuk material SS 304 yang berada pada lingkungan HCl memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari pada SS 201. Secara makro dan mikro bentuk korosi material SS 304 dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini:



Gambar 6. Hasil korosi material ss 304 pada ph 1 dan suhu 50⁰ c selama 171 jam. sudah timbul produk korosi pada permukaannya.

Dari Gambar 6 di atas, material SS 304 sudah mulai terkorosi dengan terlihatnya bekas produk korosi yang terdapat pada permukaannya. Dengan demikian, lapisan pasif pada material SS 304 sudah mengalami kerusakan dan korosi terlihat secara merata di permukaan dan pada batas butir.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian uji korosi *u band test* secara siklik pada material SS 201 dan SS 304 ini antara lain:

- Material SS 304 memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibanding dengan material SS 201.
- Laju korosi tertinggi pada material SS 201 terjadi pada suhu 70⁰ C dan pH 0 dengan laju korosi sebesar 36119,41 mpy
- Laju korosi tertinggi pada material SS 304 terjadi pada suhu 70⁰ C dan pH 0 dengan laju korosi sebesar 515,5292 mpy
- Beberapa macam korosi terjadi pada material *stainless steel* SS 201 dalam penelitian ini, antara lain: korosi sumuran (*pitting*) dan korosi merata.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. E 407-70 *Standart Methods for Microetching Metals and Alloys*. ASTM Internasional, Annual Book of ASTM Standart, USA, 1986.
- Annual Book Of ASTM Standart. 1984. *Wear And Erosion: Metal Corrosion. Volume 03.02*. New York: ASTM International
- Chamberlain, John. 1998. *Korosi*. Jakarta: Gamedia Pustaka Utama.
- Fontana, M.G. 1987. *Corrosion Engineering*. 3rd ed, McGraw-Hill, New York.
- Huang, Yanliang. 2001. *Stress Corrosion Cracking of AISI 321 Stainless Steel in Acidic Chloride Solution*. Chinese Academy of Sciences.
- Johny WS. *Korosi*. 2004. Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
- Mukhlis. 2000. www.elektroindonesia.com.
- Q-Panel Lab Products. 1994. *Introduction to Cyclic Corrosion Testing*. USA.
- Roberge, Pierre R., 2008. *Corrosion Engineering Principles and Practice*
- Suriadi, IGA Kade dan IK Suarsana. 2007. *Prediksi Laju Korosi dengan Perubahan Besar Derajat Deformasi Plastis dan Media Pengkorosi pada Material Baja Karbon*. Universitas Udayana, Bali.
- Suratman, Rochim. 2005. *Teknologi Perlindungan Logam*.