

Pengaruh Temperatur Sensitisasi dan Variasi Stress Terhadap Laju Korosi SS 409 pada Lingkungan Salt Spray

Faris Hizrian Maulana, dan Sulistijono

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ssulistijono@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Korosi intergranular merupakan permasalahan yang sering terjadi pada stainless steel. Hal ini dipicu karena adanya proses sensitisasi yang menyebabkan terbentuk presipitasi karbida pada batas butir yang menyebabkan berkurangnya kadar Cr pada butir yang berakibat stainless steel menjadi rentan terhadap korosi. Ferritic stainless steel 409 merupakan material yang biasa digunakan pada heat exchanger maupun exhaust pada kendaraan otomotif dimana sering mendapatkan temperatur yang tinggi. Jika terdapat internal stress yang merupakan hasil welding maupun cold working pada material tersebut dapat menyebabkan laju korosi menjadi lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan mempelajari laju korosi pada spesimen ferritic stainless steel tipe 409 yang telah mengalami proses sensitisasi serta mendapatkan tegangan aplikasi sebesar 20% dan 40% yield stress pada lingkungan salt spray. Hasil SEM menunjukkan adanya senyawa TiC yang merupakan presipitat karbida yang muncul pada spesimen dengan temperatur anil 550°C sampai 850°C yang menyebabkan laju korosi yang lebih tinggi dari spesimen lain. Pengujian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur sensitisasi dan semakin besar stress yang diberikan, laju korosi akan semakin meningkat.

Kata Kunci : Bent-Beam, Laju Korosi, Sensitisasi, SS 409.

I. PENDAHULUAN

Korosi adalah sebuah degradasi material yang terjadi akibat reaksi material tersebut terhadap lingkungannya [1]. Hal ini menyebabkan perlunya suatu material yang mampu bertahan dalam lingkungan korosi dengan baik agar dapat tahan terhadap korosi.

Ferritic stainless steel merupakan logam dengan keuletan tinggi dan resistansi korosi yang baik dikarenakan sifat lapisan oksida yang terbentuk pada paduan baja dan kromium yang mengandung lebih dari 12% kromium. Karena sifat tahan korosi yang tinggi, material ini banyak digunakan baik dalam konstruksi maupun otomotif seperti pipa, exhaust, heat exchanger, dan gas turbine exhaust silencers [2]-[3] yang merupakan bagian-bagian khusus yang mengalami kondisi operasi temperatur tinggi serta berada dalam lingkungan korosif.

Permasalahan akan terjadi bila pada material tersebut diaplikasikan beban statis atau terdapat internal stress dan berada dalam temperatur yang tinggi. Korosi retak tegang dapat terjadi pada paduan tersebut dikarenakan terjadinya intergranular cracking atau transgranular cracking ataupun keduanya. Hal ini disebabkan karena adanya temperatur tinggi

yang menyebabkan timbulnya presipitasi karbida, temperatur ini biasa disebut dengan temperatur sensitisasi. Presipitasi karbida ini menyebabkan berkurangnya kadar kromium pada batas butir sehingga rentan terhadap intergranular corrosion. Studi lain menyatakan bahwa semakin besar stress yang diberikan pada material akan mengakibatkan laju korosi yang terjadi akan semakin besar [4].

Sensitisasi merupakan proses berlangsungnya presipitasi unsur karbon dan membentuk senyawa karbon karbida di batas butir baja stainless steel pada temperatur tinggi. Pemanasan pada temperatur sensitisasi akan menyebabkan atom-atom C pada interstisi yang awalnya didalam grain atau butir akan bebas berdifusi dan cenderung menuju batas butir. Namun atom-atom Cr berbeda, pada posisi substitusi sangat susah untuk berdifusi bebas saat baja dioperasikan dalam temperatur tinggi. Atom-atom C di batas butir akan mengikat atom-atom Cr disekitarnya, akibatnya didaerah sekitar batas butir, kandungan Cr menjadi berkurang. Kandungan Cr didekat batas butir akan turun hingga kurang lebih 2%.

Berkurangnya kadar Cr didaerah batas butir akan mengakibatkan daerah ini mudah terserang korosi. Daerah ini mempunyai sifat anodik sedangkan grain sendiri memiliki sifat katodik [5]. Sehingga terjadi korosi pada batas butir jika stainless steel yang telah disensitisasi berada pada lingkungan korosif.

Pendinginan untuk mendapatkan karbida krom haruslah dengan metode pendinginan lambat atau moderat (pendinginan furnace atau udara), dikarenakan bila menggunakan metode pendinginan lambat karbida krom yang terlarut pada saat pemanasan akan mengalami pengerasan dan sempit bergerak menuju batas butir. Masih ada waktu untuk karbida krom bergerak ke batas butir. Sementara bila dengan menggunakan pendinginan yang cepat (air) karbida krom yang terlarut akibat pemanasan akan terperangkap dalam fasa yang masih cair [6].

Korosi tidak menyerang karbida yang terbentuk tersebut, melainkan menyerang daerah yang memiliki kadar krom yang lebih sedikit. Pada stainless steel yang memiliki kadar karbon 0,06-0,08% C, kelebihan karbon yang ada akan keluar saat mengalami sensitisasi yang mengakibatkan terbentuknya presipitasi karbida, karbon berdifusi menuju grain boundary pada temperatur sensitisasi dan menyerang krom disekitarnya untuk membentuk presipitasi [1].

II. METODE PENELITIAN

A. Preparasi Spesimen Uji Tarik

Preparasi spesimen uji tarik dilakukan dengan memotong spesimen sesuai standar ASTM E8. Uji tarik dilakukan dengan standar ASTM E8 untuk mengetahui kondisi aktual dari *tensile stress*, *yield stress* dan *strain* yang akan digunakan untuk mengetahui ukuran dari spesimen *holder*, sudut dari spesimen *holder* serta besar dari tegangan yang akan diaplikasikan yaitu 20% dan 40% *yield stress*.

B. Preparasi Spesimen Weight Loss

Spesimen dipotong dengan dimensi 100x20x1,2mm. Kemudian dimasukkan kedalam furnace dengan temperatur anil 350 C-850 C yang diholding selama 1 jam. Setelah itu spesimen dibersihkan dan dipasang pada spesimen *holder* dengan ukuran yang sesuai dengan ASTM G39 metode *two-point loaded bent-beam* sebelum dimasukkan kedalam *salt spray chamber* selama 30 hari.

C. Preparasi Spesimen SEM-EDX

Spesimen yang telah diberikan perlakuan panas dengan variasi temperatur dipotong dengan ukuran 1x1cm² untuk dilakukan pengujian SEM. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu grinding pesimen dengan kertas gosok 1000, 1500 dan 2000. Setelah itu melakukan polishing dengan metal polish menggunakan kain beludru sampai permukaan bersih dan mengkilat. Selanjutnya mengetsa spesimen dengan larutan HCl 2ml, HNO₃ 2ml, dan akuades 2ml selama 90 detik dan membersihkan permukaan dari sisa etsa.

D. Preparasi Larutan NaCl

Larutan yang digunakan pada percobaan ini adalah NaCl 5%. Untuk mendapatkan larutan tersebut dilakukan penambahan 50 gram NaCl serbuk kedalam 1000 gram air.

E. Pengujian Weight Loss

Pengujian *weight loss* dilakukan pada lingkungan *salt spray* selama 30 hari dengan interval pengambilan data setiap 10 hari. Setelah proses *exposure* ini dilakukan, spesimen dibersihkan dengan larutan HCl 1 M lalu dilakukan penimbangan berat akhir.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian tarik didapatkan data seperti tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian tarik

No	Yield Strength (MPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	193,86	390,897	39,6
2	181,73	369,688	42,5
3	166,00	351,026	44,00
Rata-Rata	180,53	370,537	42,03

Tabel diatas merupakan hasil pengujian tarik, hasil *yield strength* untuk spesimen 1, 2 dan 3 masing-masing adalah 193,86 MPa, 181,73 MPa dan 166 MPa dengan rata-rata 180,53.

Setelah didapatkan data tersebut, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai 20% dan 40% *yield stress*.

Tabel 2. Yield stress 20% dan 40%

% Yield Stress	Tegangan (MPa)	Regangan
20 %	36,106	0,008933
40 %	72,212	0,017867

Didapatkan nilai regangan yang digunakan untuk mencari nilai dari θ dan H sesuai dengan ASTM G39 yang menggunakan rumus

$$\epsilon = 4(2E - K) \left(\frac{k}{2} - \frac{2E-K}{12} \left(\frac{t}{H} \right) \right) \frac{t}{H} \tag{1}$$

$$\frac{L - H}{H} = \left[\frac{K}{2E - K} \right] - 1 \tag{2}$$

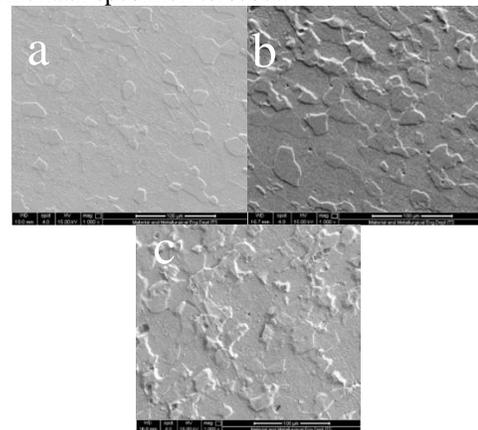
B. Hasil Pengujian SEM-EDX

Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk melihat dan menganalisa apakah telah terbentuk senyawa karbida pada spesimen uji ketika spesimen di anil dengan berbagai variasi temperatur. Pertama dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi yang ada didalam SS 409.

Tabel 3. Komposisi SS 409

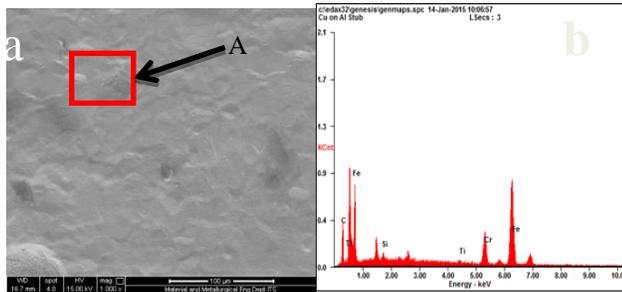
Unsur	Hasil EDX (%)
C	0,08
Mn	2,6
P	0,00
S	0,18
Si	0,65
Cr	12,73
Ni	1,88
N	0,52
Ti	0,7

Setelah itu dilakukan pengujian SEM-EDX pada spesimen untuk mengetahui apakah telah terbentuk karbida pada permukaan spesimen tersebut.



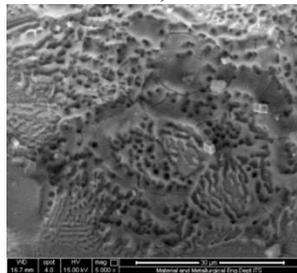
Gambar 1. Permukaan SS 409 pada perbesaran 1000 kali (a) tanpa perlakuan, (b) temperatur anil 350 C dan (c) 450 C

Gambar diatas merupakan hasil SEM permukaan SS 409, masih belum tampak adanya presipitat karbida pada permukaan spesimen tanpa perlakuan, dengan anil 350 C dan 450 C.



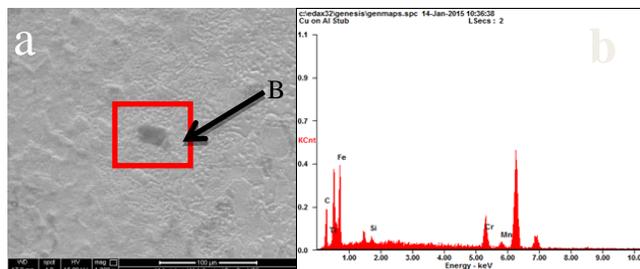
Gambar 2. (a) Permukaan SS 409 dengan anil 550 C pada perbesaran 1000 kali dan (b) Hasil pengujian EDX pada A.

Pada gambar diatas tampak muncul sebuah kumpulan titik berwarna hitam yang diduga merupakan presipitasi karbida, oleh karena itu dilakukan pengujian EDX pada daerah A untuk mengetahui kandungan dari daerah tersebut dan didapatkan hasil kadar C yang tinggi sebesar 16,85%, Cr sebesar 16,9%, dan Ti sebesar 1,3%.



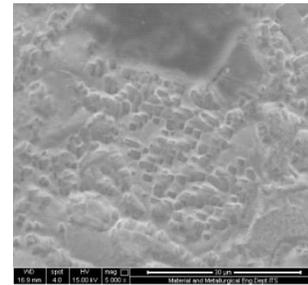
Gambar 3. Permukaan SS 409 dengan anil 550 C pada perbesaran 5000 kali

Gambar diatas merupakan perbesaran 5000 kali pada daerah A, terlihat adanya permukaan berwarna hitam yang menyebar pada permukaan. Merujuk pada [15-16] permukaan SS 409 yang mengalami solution treatment dan aging pada 500°C selama 10 jam, terdapat permukaan berwarna hitam yang sama seperti diatas, hasil EDX pada bercak hitam tersebut menunjukkan adanya komposisi unsur C, Cr dan Ti yang tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa bercak hitam tersebut adalah TiC atau *titanium carbide*. Jika dibandingkan dengan hasil EDX pada daerah A, dapat dikatakan bahwa pada SS 409 dengan temperatur anil sebesar 550°C terbentuk presipitasi karbida.



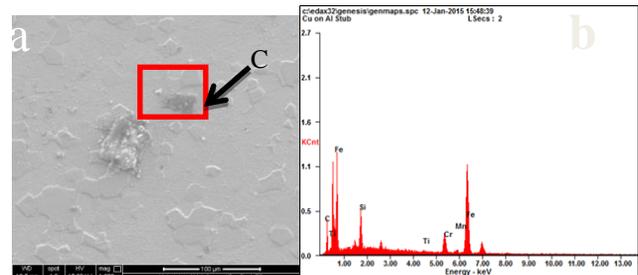
Gambar 4. (a) Permukaan SS 409 dengan anil 650 C pada perbesaran 1000 kali dan (b) Hasil pengujian EDX pada B

Pada gambar diatas terdapat kumpulan titik berwarna hitam yang diduga merupakan presipitasi karbida, hasil EDX pada daerah B menunjukkan bahwa kandungan dari C sebesar 15,13%, Cr sebesar 16,09% dan Ti sebesar 1,99%.



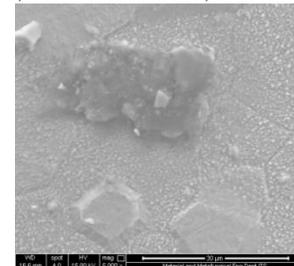
Gambar 6. Permukaan SS 409 dengan anil 650 C pada perbesaran 5000 kali

Gambar diatas merupakan perbesaran 5000 kali pada daerah B, terlihat adanya bercak-bercak hitam yang menyebar pada permukaan. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada SS 409 dengan temperatur anil 650 C terbentuk presipitasi karbida.



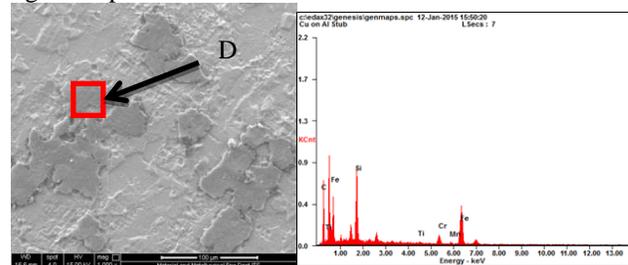
Gambar 5. (a) Permukaan SS 409 dengan anil 750 C pada perbesaran 1000 kali dan (b) Hasil pengujian EDX pada C

Pada gambar 5 tampak warna hitam yang diduga merupakan karbida, hasil EDX pada daerah C menunjukkan bahwa terdapat kandungan unsur C sebesar 13,86%, Cr sebesar 13,60%, dan Ti sebesar 1,81%.



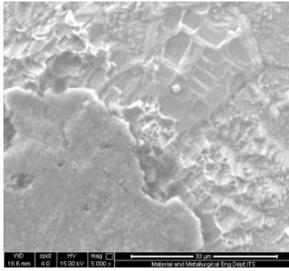
Gambar 7. Permukaan SS 409 dengan anil 750 C pada perbesaran 5000 kali

Gambar diatas merupakan perbesaran 5000 kali pada daerah C, terlihat adanya bercak hitam pada permukaan disertai grain dropout disekitarnya. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat presipitat karbida pada SS 409 dengan temperatur anil 750 C.



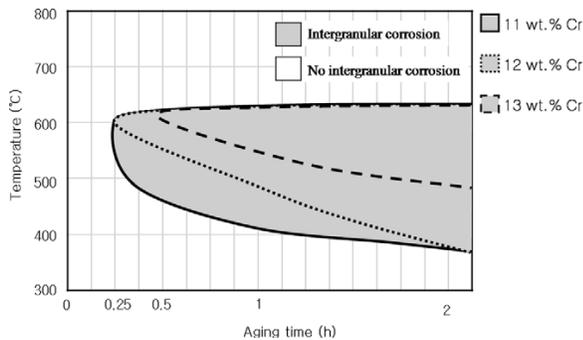
Gambar 8. (a) Permukaan SS 409 dengan anil 850 C pada perbesaran 1000 kali dan (b) Hasil pengujian EDX pada D

Pada gambar 8 terdapat daerah yang diduga merupakan karbida, hasil EDX pada daerah D menunjukkan adanya kandungan unsur C sebanyak 14,37%, Cr sebanyak 24,01% dan Ti sebanyak 4,47%.



Gambar 9. Permukaan SS 409 dengan anil 850 C pada perbesaran 5000 kali

Gambar 9 diatas merupakan perbesaran 5000 kali pada daerah D, terlihat bercak-bercak hitam berkumpul pada satu area serta terdapat grain drop out pada permukaan. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa terdapat presipitat karbida pada SS 409 dengan temperatur anil 850 C.



Gambar 10. Kurva waktu-temperatur-sensitisasi.

Gambar 10 merupakan kurva waktu-temperatur-sensitisasi untuk ferritic stainless steel, ferritic stainless steel tipe 409 dengan kandungan Cr 12% akan mengalami proses sensitisasi jika mengalami *heat treatment* pada temperatur 550 C keatas jika dilakukan dengan waktu *holding* 1 jam. Hal inilah yang menyebabkan tidak terjadi presipitasi karbida pada spesimen dengan temperatur anil 350 C-450 C.

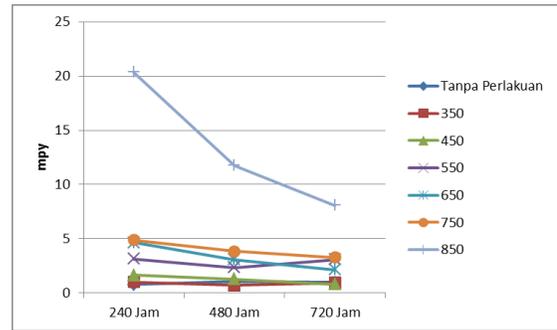
C. Hasil Pengujian Weight Loss

Pengujian weight loss dilakukan dengan menimbang berat spesimen yang sebelumnya spesimen telah dilakukan pengujian weight loss pada salt spray selama 30 hari atau 720 jam. Penimbangan berat dilakukan setiap 10 hari pengujian atau setiap 240 jam.

Tabel 4. Hasil pengujian *weight loss* pada 20% *yield stress* (mpy)

Temperatur Anil (°)	240 Jam	480 Jam	720 Jam
Tanpa Perlakuan	0,775236426	1,03000311	0,960093398
350	0,992717931	0,70353585	0,927468865
450	1,623176042	1,2611164	0,798743976
550	3,13726438	2,33731475	3,059752115
650	4,656078302	3,07380804	2,144507114
750	4,889019295	3,8379006	3,273437986
850	20,36236921	11,7384349	8,073841275

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa laju korosi pada SS 409 dengan 20% *yield stress* secara keseluruhan semakin tinggi seiring dengan kenaikan temperatur anil. Pada tabel tersebut terlihat bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada 240 jam pertama kecuali spesimen tanpa anil. Sedangkan setelahnya laju korosi cenderung turun. Peningkatan laju korosi terjadi mulai dari temperatur anil 550 C sampai 850 C dengan laju korosi tertinggi pada spesimen 240 jam pertama dengan temperatur anil 850 C yang memiliki laju korosi 20,36236921 mpy.



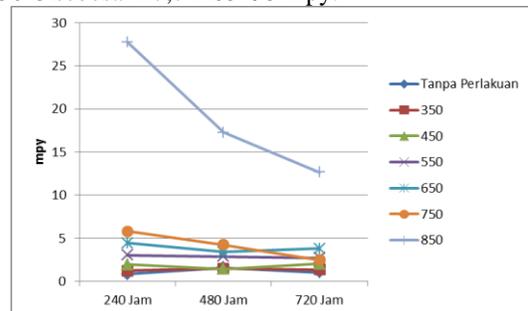
Gambar 11. Grafik pengurangan berat SS409 dengan 20% *yield stress* dalam mpy

Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pengujian, laju korosi cenderung akan turun.

Tabel 5. Hasil pengujian *weight loss* pada 40% *yield stress*

Temperatur Anil (°)	240 Jam	480 Jam	720 Jam
Tanpa Perlakuan	0,857559152	1,61491438	1,062627645
350	1,24283935	1,49202249	1,366809437
450	1,985435862	1,46111301	2,034844819
550	3,043402859	2,88320452	2,711242092
650	4,450918424	3,40926369	3,819534064
750	5,825809455	4,26083711	2,473612299
850	27,74483495	17,2676992	12,65676523

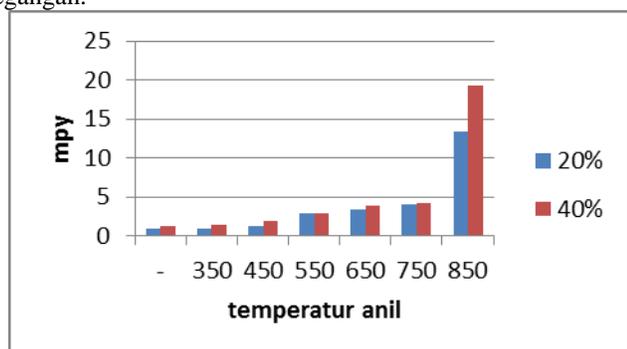
Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa laju korosi pada SS 409 dengan 40% *yield stress* secara keseluruhan semakin tinggi seiring dengan kenaikan temperatur anil dan. Pada tabel tersebut terlihat bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada 240 jam pertama kecuali spesimen tanpa anil dan spesimen dengan temperatur anil 350 C dan 450 C. Sedangkan setelahnya laju korosi cenderung turun. Peningkatan laju korosi mulai terjadi dari temperatur anil 550 C sampai 850 C dengan laju korosi tertinggi pada spesimen 240 jam pertama dengan temperatur anil 850 C sebesar 27,74483495 mpy.



Gambar 12. Grafik pengurangan berat SS409 dengan 40% *yield stress* dalam mpy

Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pengujian, laju korosi cenderung akan turun.

Setelah dilakukan pengujian weight loss, didapatkan data mengenai laju korosi. Berikut ini adalah data hasil perbandingan laju korosi dengan temperatur anil dan besar tegangan.



Gambar 13. Grafik perbandingan rata-rata laju korosi pada 20% dan 40% yield stress

Gambar 13 menunjukkan perbandingan laju korosi rata-rata spesimen dengan berbagai temperatur anil dan besar tegangan yang diaplikasikan. Jika diamati, terdapat peningkatan laju korosi disetiap kenaikan temperatur anil, laju korosi juga meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan aplikasi. Dari gambar tersebut dapat dikatakan bahwa semakin tinggi temperatur serta semakin tinggi tegangan aplikasi, laju korosi dari spesimen SS 409 semakin tinggi.

D. Pembahasan

Hasil pengambilan gambar permukaan dengan menggunakan SEM menunjukkan bahwa tidak terbentuk presipitasi karbida pada spesimen tanpa perlakuan, dan spesimen dengan temperatur anil 550°C, 650°C, 750°C dan 850°C. Mengacu pada [16], hal ini disebabkan karena untuk mendapatkan presipitasi karbida dalam hal ini *titanium carbide* (TiC), pemanasan spesimen haruslah lebih tinggi dari 550°C dengan holding 1 jam, jika tidak begitu maka tidak akan terbentuk karbida pada SS 409. Hasil pengujian EDX menyebutkan bahwa terdapat unsur Cr yang sangat tinggi pada daerah sekitar TiC bahkan kandungan atom Cr disini sangatlah tinggi melebihi kandungan atom Cr pada hasil pengujian komposisi SS 409 tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan karena pada saat proses anil, atom C yang ada pada *grain* berdifusi dan berkumpul ke *grain boundary*, akibatnya atom Cr dan Ti yang memiliki afinitas tinggi untuk berikatan dengan atom C ikut berdifusi menuju *grain boundary*. Hal ini disebabkan karena afinitas atom Ti untuk berikatan dengan atom C lebih tinggi daripada atom Cr, maka terbentuklah karbida TiC. Atom Cr yang awalnya telah berdifusi ke *grain boundary* tidak bisa berikatan dengan C sehingga terjadi penumpukan atom Cr pada *grain boundary*, hal ini menyebabkan berkurangnya kandungan atom Cr pada *grain* atau bisa disebut *Cr depleted zone*. Adanya *Cr depleted zone* ini menyebabkan SS 409 menjadi rentan terhadap korosi batas butir.

Hasil pengujian *weight loss* dengan metode *salt spray* menunjukkan terjadi laju korosi yang meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur anil khususnya temperatur 550 C-850 C, hal ini berhubungan dengan kemunculan TiC

pada spesimen tersebut. Adanya TiC menyebabkan terjadi korosi batas butir sehingga menyebabkan laju korosi spesimen tersebut sangat tinggi dibandingkan dengan laju korosi spesimen tanpa perlakuan dan temperatur anil 350 C dan 450 C. Pengaruh dari aplikasi tegangan juga terlihat dari hasil *weight loss salt spray* ini, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tegangan aplikasi maka semakin tinggi pula laju korosi yang dihasilkan. Laju korosi pada tiap spesimen pada 240 jam pertama sangat tinggi, hal ini dikarenakan spesimen masih dalam kondisi awal dimana seluruh permukaan spesimen mendapatkan kontak langsung dengan larutan NaCl yang disemprotkan pada *salt spray chamber*. Pada 240 jam kedua, terjadi penurunan dari laju korosi, hal ini dapat disebabkan karena produk korosi yang dihasilkan menutupi spesimen sehingga larutan NaCl yang disemprotkan tidak kontak dengan spesimen secara menyeluruh, hal lain yang menyebabkan turunnya laju korosi pada 240 jam kedua ini adalah ada lapisan pasif yang terbentuk dipermukaan spesimen yang berpotensi mengakibatkan kurang maksimalnya penetrasi dari larutan NaCl pada spesimen. Namun terdapat perbedaan pada spesimen tanpa perlakuan di semua spesimen *holder* dan spesimen dengan temperatur anil 350 C pada spesimen *holder* 40% *yield stress* karena laju korosi spesimen ini naik, hal tersebut dapat disebabkan karena masih adanya lapisan pasif yang melindungi spesimen dari kontak lingkungan *salt spray* pada 240 jam pertama dan mulai rusak diantara rentang 240 jam pertama dan 240 jam kedua, sehingga saat terjadi kerusakan lapisan pasif, permukaan spesimen yang awalnya terlindungi kini mulai mengalami korosi. Hal tersebut menyebabkan laju korosi pada 240 jam kedua untuk spesimen tersebut menjadi naik. Pada 240 jam ketiga terjadi hal yang sama seperti 240 jam kedua yaitu laju korosi yang turun, namun di beberapa spesimen terjadi kenaikan laju korosi pada spesimen temperatur anil 350 C dan 550 C di spesimen *holder* 20% *yield strength* serta spesimen temperatur anil 450 C dan 650 C di spesimen *holder* 40% *yield strength*. Hal ini dapat disebabkan karena terlepasnya produk korosi dari spesimen tersebut sehingga daerah yang awalnya tertutup produk korosi kini terekspos dan terserang larutan NaCl yang disemprotkan, sehingga laju korosi menjadi lebih tinggi dari hari sebelumnya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada rentang temperatur 550 C-850 C presipitat karbida terbentuk di permukaan SS 409.
2. Adanya presipitasi karbida menyebabkan laju korosi yang dihasilkan semakin tinggi. Terjadi peningkatan laju korosi yang tinggi pada spesimen dengan temperatur anil 550 C-850 C dibandingkan spesimen dengan temperatur lain dan spesimen tanpa perlakuan.
3. Semakin tinggi stress yang diberikan maka semakin tinggi pula laju korosi yang terjadi. Laju korosi tertinggi terjadi pada spesimen yang mendapat aplikasi tegangan 40% yield strength yaitu sebesar 27,74483495 mpy.

B. Saran

Adapun saran untuk penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Percobaan dilakukan dengan variasi temperatur yang berbeda serta metode pengujian *weight loss* yang berbeda agar dapat dibandingkan.
2. Menggunakan metode yang bervariasi untuk pengaplikasian tegangan.
3. Identifikasi karbida menggunakan alat yang lebih memadai (TEM) agar dapat memahami seberapa banyak karbida yang terbentuk serta persebarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fontana, Mars G. 1986. *Corrosion Engineering*. Ohio: Mc Graw Hill.
- [2] Kim *et al.* 2009. *Intergranular corrosion of Ti-stabilized 11 wt% Cr ferritic stainless steel for automotive exhaust systems*. *Corrosion Science* 51, 2716–2723.
- [3] Kim *et al.* 2009. *Intergranular segregation of Cr in Ti-stabilized low-Cr ferritic stainless steel*. *Scripta Materialia* 61, 1133–1136.
- [4] Mamlu, MH. 2001. *Penelitian sifat fisis dan mekanis pada besi beton yang mendapat beban tekan dan dikorosi*. Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Akprind Yogyakarta.
- [5] Saefudin. 2008. *Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Sensitasi Pada Baja Stainless Steel 304*. *Metallurgi* Vol 23, No.2. LIPI.
- [6] Soedarsono, Johny Wahyuadi. 2008. *Korosi dan Pencegahan*, Departemen Teknik Metalurgi dan Material UI.