

LAJU KOROSI BAJA OLEH *DESULFOMICROBIUM BACULATUM* DAN *DESULFOMONAS PIGRA*

(Corrosion Rate of Steel by *Desulfomicrobium Baculatum* and *Desulfomonas Pigra*)

Dwi Suhartanti

Program Studi Biologi FMIPA Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta
Jl. Prof. Soepomo Janturan Yogyakarta. Ph. (0274)381523,379418

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi baja produksi PT. Krakatau Steel oleh bakteri *Desulfomicrobium baculatum* dan *Desulfomonas pigra*. Metode penelitian eksperimental di laboratorium dilakukan dengan rancangan acak lengkap pola faktorial. Faktor pertama adalah baja (ST24, ST40 dan ST 52). Faktor kedua adalah media (HCl 0,1 M, 1 M; H₂SO₄ 0,1 M, H₂SO₄) dan faktor ketiga adalah jenis bakteri (*D.baculatum* dan *D.pigra*). Data dianalisis dengan sidik ragam, dan jika ada perbedaan diuji dengan jarak berganda Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi baja ST24, ST40 dan ST52 meningkat cepat dengan adanya bakteri *Desulfomicrobium baculatum* dan *Desulfomonas pigra*, khususnya dalam media yang mengandung H₂SO₄ 1M. Laju korosi baja ST24 dalam media yang mengandung H₂SO₄ 1M tanpa *Desulfomicrobium baculatum* dan *Desulfomonas pigra* meningkat dari 5,87mg/det menjadi 43,39 mg/det dalam media yang mengandung H₂SO₄ 1M dan *Desulfomicrobium baculatum* dan menjadi 33,39 m/det dalam media yang mengandung *Desulfomonas pigra*. Laju korosi baja ST40 dalam media yang mengandung H₂SO₄ 1M tanpa *Desulfomicrobium baculatum* dan *Desulfomonas pigra* bertambah dari 3,85mg/det menjadi 39,67 mg/det dalam media yang mengandung H₂SO₄ 1M dan *Desulfomicrobium baculatum* dan menjadi 29,67 m/det dalam media yang mengandung *Desulfomonas pigra*. Laju korosi baja ST52 dalam media yang mengandung H₂SO₄ 1M tanpa *Desulfomicrobium baculatum* dan *Desulfomonas pigra* adalah 2,97mg/det menjadi 37,32 mg/det dalam media yang mengandung H₂SO₄ 1M dan *Desulfomicrobium baculatum*. dan menjadi 27,32 m/det dalam media yang mengandung *Desulfomonas pigra*

Kata Kunci : laju korosi, baja, bakteri pereduksi sulfat, *Desulfomicrobium baculatum*

ABSTRACT

The purpose of this study was to find out the effect of sulfate reducer bacteria (*Desulfomicrobium baculatum* and *Desulfomonas pigra*) on corrosion rate of steel. The laboratory experimental method was employed by utilizing the randomized factorial design. The first factor was the steel (ST24, ST40 dan ST 52). The second factor was the media (HCl 0,1 M, 1 M; H₂SO₄ 0,1 M, H₂SO₄). Any differences in the results were tested by the Duncan Multiple Range Test. The results of the research indicated that the Corrosion rate of steel ST24, ST40 DAN ST 52 occurred rapidly on media containing *Desulfomicrobium baculatum* and *Desulfomonas pigra*, specially on media with the addition 1 M H₂SO₄. Corrosion rate of steel ST24 on media with addition 1 M H₂SO₄ without *Desulfomicrobium baculatum* and *Desulfomonas pigra* increased from 5,87mg/sec to be 43,39 mg/sec on media with addition 1 M H₂SO₄ containing *Desulfomicrobium baculatum* and 33,39mg/sec on media with addition 1 M H₂SO₄ containing *Desulfomonas pigra*. Corrosion rate of steel *Desulfomicrobium* ST40 on media with addition 1 M H₂SO₄

without *Desulfomicrobium baculatum* was from 3,85 mg/sec to be 39,67 mg/sec on media with addition 1 M H₂SO₄ containing *Desulfomicrobium baculatum* and 29,6739 mg/sec on media with addition 1 M H₂SO₄ containing *Desulfomonas pigra*. Corrosion rate of steel ST52 on media with the addition of 1 M H₂SO₄ is 2,97mg/sec to be 37,32 mg/sec on media with addition 1 M H₂SO₄ containing *Desulfomicrobium baculatum* and 27,32 mg/sec on media with addition 1 M H₂SO₄ containing *Desulfomonas pigra*

Keyword : corrosion rate, sulphate reducing bacteria, steel, *Desulfomonas pigra*, *Desulfomicrobium baculatum*

Makalah diterima 17 September 2005

1. PENDAHULUAN

Korosi dapat terjadi karena proses fisis, khemis maupun biologis. Korosi biologis pada umumnya disebabkan karena adanya mikrobia. Mikrobia dalam proses korosi dianggap sebagai penyebab tersendiri, yang dalam kerjanya dapat sendiri atau merupakan gabungan dari sejumlah mikroba yang berbeda (Rochati, 1995 ; Dexter, 1996 ; Stoecker , 1996 ; Supardi, 1997).

Mikroorganisme hadir pada kondisi aerob, maupun anaerob. Kondisi anaerob selalu hadir pada suatu lingkungan mikro, dibawah dari kondisi aerob. Kondisi pH dan tersedianya nutrisi juga merupakan faktor yang menentukan apakah suatu jenis mikroorganisme dapat berkembang di dalam tanah dan menyebabkan korosi (Bradford, 1992; Pohlman, 1996; Bagnall,1996; Bryson, 1996; Davison,1996; Lewandowski, and Hamilton, 2002).

Salah satu mikroba yang turut berperan dalam proses korosi mikrobiologis adalah bakteri pereduksi sulfat (SRB) yang hidup secara anaerob dan dapat tumbuh pada kisaran pH 2 sampai pH 9, tetapi optimalnya pada pH 7. Bakteri ini ditemukan hampir pada semua tanah, dan air, terutama yang banyak mengandung bahan organik (Dart, 1977; Bradford, 1992; Supardi, 1997). Dalam suasana anaerob, asam sulfat akan direduksi oleh bakteri pereduksi sulfat menghasilkan gas H₂S dan H₂O. H₂S yang dihasilkan akan bereaksi dengan besi membentuk FeS, Fe (OH)₂. Mikrobia yang lain yang berperan dalam korosi adalah bakteri yang hidup secara aerob, yang telah diketahui dengan baik dan merupakan suatu kenyataan, misalnya aktivitas *Thiobacillus* yang dapat menghasilkan

suatu lingkungan asam yang korosif. Dalam kondisi yang aerob bakteri ini akan mengoksidasi sulfur atau senyawa sulfur menjadi asam sulfat yang mempercepat korosi (Bradford, 1992; Pohlman, 1996; Bagnall, 1996; Bryson, 1996; Davison,1996; Supardi, 1997).

Bakteri memperoleh energi dari oksidasi Fe²⁺ menjadi Fe³⁺ yang terlihat pada endapan. Mereka sebagian terlihat dalam pipa (khas seperti gundukan 1/2 lingkaran) di atas lubang pada permukaan baja. Beberapa termasuk pengoksidasi besi mereka terdapat di lam sebagai lapisan protein yang panjang atau bentuk filamen. Filamen yang panjang

Bakteri pereduksi sulfat (SRB) , merupakan salah satu mikrobia yang turut berperan dalam proses korosi adalah bakteri pereduksi sulfat yang hidup secara anaerob. Bakteri ini ditemukan hampir pada semua tanah dan air, terutama yang banyak mengandung bahan organik. Bakteri pengoksidasi sulfur / sulfid termasuk golongan bakteri aerob yang memperoleh energi dari oksidasi sulfid atau elemen sulfur menghasilkan sulfat. Beberapa tipe bakteri aerob, dapat mengoksidasi sulfur menjadi asam sulfur, pada pH dibawah 1,0 (Bradford , 1992; Dexter, 1995 ; Dexter, 1996; Stoecker, 1996; Dart, 1997; Supardi, 1997 ; Tapper *et al*, 1998).

Desulfovibrio desulfuricans adalah salah satu jenis bakteri pereduksi sulfat yang sangat berperan dalam proses korosi. Bakteri ini termasuk gram negatif, fakultatif anaerob yang hidupnya tidak tergantung tersedianya zat organik, tapi cukup gas CO₂ yang dijadikan sebagai sumber karbon, tetapi jika ada zat organik peran bakteri ini dalam proses korosi meningkat. *Clostridium nigrificans*,

bersifat gram negatif dan termofil, juga berperan sebagai bakteri pereduksi sulfat. *Desulfomonas pigra* adalah salah satu jenis bakteri pereduksi yang telah berhasil di isolasi dari kawasan PLTP Kamojang Jawa Barat dan sangat korosif terhadap logam (Dexter, 1995; Dexter, 1996; Stoecker, 1996; Supardi, 1997 ; Suhartanti,2004).

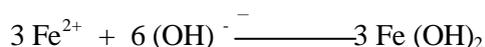
Menurut Dexter bakteri pereduksi sulfat yang sangat berperan dalam proses korosi pada besi dan baja yaitu dari genus *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* dan *Desulfomonas*, yang semuanya hidup secara anaerob. Peranan bakteri pereduksi sulfat adalah sebagai aseptor yang akan menghasilkan H₂S secara anaerob. Bakteri pereduksi sulfat diduga kuat dalam proses korosi logam termasuk baja. Bakteri ini ditemukan hampir pada semua tanah dan air, terutama yang banyak mengandung bahan organik (Dexter, 1996; Stoecker, 1996; Supardi,1997; Tapper *at al*, 1998). Dalam suasana anaerob, asam sulfat (H₂SO₄) akan direduksi oleh bakteri pereduksi sulfat menghasilkan gas H₂S dan H₂O.



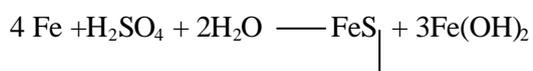
H₂S yang dihasilkan akan bereaksi dengan besi di anoda



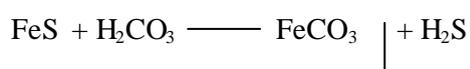
Sewaktu membentuk FeS, juga dibentuk Fe(OH)₂ sebagai hasil korosi, pada reaksi antara besi dengan ion hidroksil bebas.



Hasil akhir berupa



Jika di lingkungan tidak tersedia sulfida tetapi material lain misal karbon dioksida, maka akan terbentuk besi karbonat.



Reaksi ini didahului oleh reaksi antara CO₂ dan air membentuk asam karbonat.

Hidrogen sulfida yang terbentuk oleh mikrobia pada penguraian secara anaerob, oleh mikrobia lain disintesa menjadi bagian bahan organik atau berubah menjadi senyawa sulfida logam di alam (Dexter, 1996; Supardi, 1997).

Baja banyak digunakan untuk membuat paku, kawat las, ram kawat, beton bertulang, penyangga tangki - tangki, rak, pagar, pipa - pipa minyak, tangki-tangki air, pipa - pipa gas dan tangki gas. Baja seperti halnya besi bila berada dalam lingkungan yang korosif maka akan larut atau mengalami korosi (Rochati,1995; Korb, 1996; Supardi, 1997).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Hampir di semua tempat dan dalam berbagai kondisi dapat terjadi korosi karena mikrobia. Mikrobia yang paling berperan dalam proses korosi adalah bakteri pengubah sulfat. Produk korosinya adalah sulfida yang berwarna hitam. Bakteri penyebabnya adalah *Desulfovibrio desulfuricans* yang mempunyai enzim hidrogenase yang dapat melakukan depolarisasi pada daerah yang ada mikrobyanya. Jenis lain yang dapat membentuk enzim hidrogenase adalah bakteri-bakteri pembentuk metan, asam cuka, pereduksi asam nitrat dan perhidrol. Selain bakteri-bakteri tersebut ada bakteri yang penting pada terjadinya korosi yaitu bakteri-bakteri pembentuk oksida-oksida logam seperti bakteri pengoksidasi belerang, besi dan mangan. Selain dua kelompok bakteri diatas masih ada mikrobia yang menghasilkan produk-produk metabolisme yang dapat menyebabkan terjadinya korosi, misal Fungi yang sebagian besar menghasilkan asam yang menyebabkan korosi pada tembaga dalam lingkungan ada air. Ada bakteri yang tidak menyebabkan korosi tetapi menghasilkan O₂ yang pada akhirnya juga dapat menjadi penyebab terjadinya korosi karena akan terbentuk sel konsentrasi oksigen. Konstruksi baja yang ditempatkan di laut sebagai tiang pancang terjadi korosi yang disebabkan adanya mikrobia yang dapat membentuk sel konsentrasi oksigen. Kombinasi adanya mikrobia yang mempunyai enzim hidrogenase dengan mikrobia penghasil oksigen akan lebih berbahaya, karena keduanya akan saling mempengaruhi (sinergis) dan lebih tahan

terhadap desinfektas dan juga lebih tahan terhadap lingkungannya (Stoecker, 1996; Supardi, 1997).

Korosi yang terbesar yang disebabkan oleh bakteri yaitu korosi yang disebabkan oleh bakteri pereduksi sulfat. Bakteri ini hidup secara anaerobik dan sangat membutuhkan senyawa sulfat yang akan direduksi menjadi sulfida. Walaupun dalam kondisi yang kurang cocok bakteri ini masih mampu menyerang baja, genus *Desulfovibrio* dan subgenusnya *Vibrio*, sangat berperan dalam proses terjadinya korosi dan *Desulfovibrio desulfuricans* merupakan salah satu jenis yang sangat berperan dalam proses korosi. Bakteri ini termasuk gram negatif, dapat membentuk spora. *Clostridium nigrificans* merupakan bakteri pereduksi sulfat yang bukan vibrio, bersifat gram negatif, termofil dan membentuk spora (Supardi, 1997; Tapper *at al*, 1998).

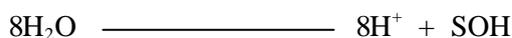
Desulfovibrio adalah bakteri yang hidup anaerob, untuk tumbuhnya memerlukan kelembaban, untuk makanannya diperlukan garan sulfat dan fosfat, dan bersifat fakultatif ototrof, sehingga untuk hidupnya tidak selalu memerlukan zat organik, tapi cukup ada gas CO₂ yang dijadikan sebagai sumber karbon, tetapi jika ada zat organik dapat tumbuh lebih baik dan tingkat korosifitasnya meningkat. *Desulfovibrio* dapat hidup dilingkungan yang aerob bekerjasama dengan bakteri yang aerob dan dapat menimbulkan korosi sumur. Bakteri ini optimal dapat berperan dalam proses korosi pada pH 7, tetapi pada pH tinggi masih aktif menyebabkan korosi (Stoecker, 1996; Supardi, 1997; Tapper *at al*, 1998).

Desulfomonas pigra merupakan bakteri gram negatif, bentuk batang, tidak membentuk endospora, dapat menghidrolisis gelatin, memfermentasi laktosa dan sukrosa dan menghasilkan asam dan gas, dapat mereduksi nitrat, sulfat, dapat mengoksidasi laktat dan asetat, tidak dapat mengoksidasi propionat (Holt, *et al*, 1994; Joulain *et al*, 2001 ; Suhartanti, 2004).

Mekanisme terjadinya korosi oleh adanya bakteri pertama kali di tulis oleh Kurh dan Vlugt (Supardi, 1997). Ada 4 (empat) hipotesa mengenai mekanisme korosi oleh bakteri :

1. Mikroba dapat mengeluarkan inhibitor mineral dari media fosfat dan nitrat. Fosfat dan Nitrat mempunyai sifat inhibitor pada aluminium tapi digunakan dalam metabolisme bakteri. Media yang tertinggal jadi korosi, juga dengan adanya sumber protein dapat menetralkan pengaruh dari inhibitor. Sebenarnya konsentrasi nitrat 12mMol sudah efektif untuk inhibitor, tetapi dilingkungan 0,2 – 0,8 mMol Nitrat sudah dapat menjadi inhibitor. Dengan adanya bakteri maka jumlah konsentrasi ini jadi tidak berfungsi.
2. Mikrobia dapat merubah hidrokarbonn menjadi produk yang cukup korosif dan walaupun telah diuraikan masih tetap dapat menyerang aluminium.
3. Akibat hidupnya mikrobia dapat menimbulkan sel konsentrasi oksigen hingga akan timbul elemen galvanik, di mana akan menimbulkan korosi sumur. Dalam sumur tadi di dapat bakteri *Desulfovibrio desulfuricans* dan akan menghasilkan senyawa sulfida. Tipe korosi ini analog dengan dengan korosi besi sampai terbentuk besi sulfida.
4. Mikrobia akan mengambil sumber elektron dari logam.

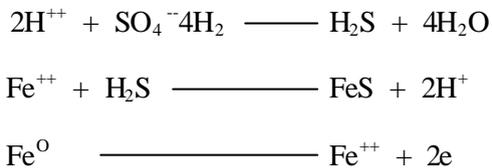
Untuk hidupnya mikroorganisme melakukan metabolisme secara langsung atau secara tidak langsung dengan logam sehingga reaksi akan menimbulkan korosi. Atau dapat pula hasil reaksinya membuat lingkungan yang korosif. Contoh mikroba reduktor sulfat anaerobik adalah *Desulfovibrio desulfuricans*.



Korosi oleh mikrobia biasanya terjadi pada pipa logam dalam tanah yang dibungkus oleh kain aspal yang terbuka dan jadi koloni tempat bakteri pereduksi sulfat. Bentuk korosinyapun sering seperti bekas lilitan kain pada pipa. Ada juga mikroba pengoksidasi belerang hingga dapat membentuk SO₂ yang dapat menimbulkan SO₃ dan H₂SO₄ yang dapat menimbulkan korosi yang berat pada logam dalam lingkungan yang aerob (Dexter,

1995; Rochati, 1995; Koger, 1996; Supardi, 1997; Tapper *et al*, 1998).

Semua korosi pada dasarnya merupakan proses elektrokimia, tetapi cara bakteri ini memulai pada proses korosi sangat khas. Pada mulanya penelitian korosi yang disebabkan oleh bakteri yang anaerob diadakan di Belanda, yaitu pada pipa-pipa yang terpendam. Baru kemudian di selidiki di Afrika selatan, Inggris, Australia, Jerman dan Uni Soviet. Banyak teori mekanisme korosi yang disebabkan oleh bakteri yang anaerob. Semua teori tersebut didasarkan pada lapisan molekul hydrogen hasil korosi pada permukaan logam, sehingga terjadi sel galvanik. Jika ada bakteri pereduksi sulfat, anoda pada sel galvanik berbentuk:



Dengan kehilangan hydrogen membentuk dari besi, anoda pada besi menjadi ;

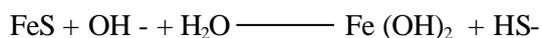


Elektron bebas yang terbentuk pindah ke katoda dan bereaksi dengan ion hydrogen membentuk gas hydrogen.

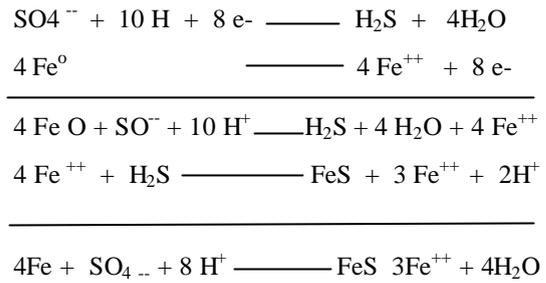


Ion ferro bebas kemudian bereaksi dengan hydrogen sulfid pada anoda membentuk ion hydrogen bebas dan ferro sulfid. Ion hydrogen bebas pindah ke katoda dan bereaksi dengan gugus hidroksil membentuk air (Koger, 1996; Supardi, 1997; Wallen, 1998; Grimm *et al*, 2002).

Kadang-kadang pada beberapa sistem tidak di jumpai adanya sulfida, tetapi material lain misal oksida (Sukamto, 1993). Jika sistem air berisi karbon dioksida, maka akan terbentuk besi karbonat.



Ferro sulfida terbentuk dengan adanya bakteri pereduksi sulfat. Perubahan ini dapat diikuti dalam larutan asam :



Besi karbon (baja) adalah besi yang mengandung karbon 1,7 %, sifat baja dari 0,05 % C dengan 1 % C mempunyai sifat yang sangat berbeda. Baja yang kadar karbonnya sangat rendah 0 % disebut Ferit, Baja yang mengandung karbon ± 2 % disebut sementit dan yang mengandung 0,8 % disebut perlit. Ferit hampir serupa besi murni atau hanya sedikit mengandung karbon. Karbon memberi sifat kuat dan keras. Ferit sifatnya lemah tapi plastis, hanya terbentuk pada temperatur rendah dan bersifat magnetik, Sementit adalah besi karbon yang dikenal sebagai besi karbida dengan rumus kimia Fe₃C, mengandung karbon 1,6 – 2,0 %, bersifat kuat dan keras serta bersifat magnetik, Perlit adalah baja yang merupakan campuran antara Ferit dan Sementit (α + Fe₃C), keras dan bersifat magnetik, Austenit, merupakan baja karbon yang tidak bersifat magnetik dan tahan karat (Korb, 1996; Koger, 1996).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST – 400 tanpa pelapisan, isolat bakteri *Desulfomicrobium baculatum*, media SRB cair, aquades steril, H₂SO₄ 0,1 N, H₂SO₄ 1 N, HCl 1 N, HCl 0,1 N., KOH, JKI, KCl, reagen α , α - dipiridil, larutan thiosianat, larutan buffer.

Alat-alat yang digunakan adalah botol – botol kultur, cawan petri, erlenmeyer, beker glass, pipet 10 ml, pipet 1 ml , tabung titrasi, kompor gas, bunsen, skapel, pipet, pH meter, aluminium foil, labu ukur, incubator, lampu spiritus, mikroskop, rak tabung reaksi, autoclave, incubator, oven, timbangan analit.

Peubah yang akan diamati pada penelitian ini, yaitu H₂S yang dihasilkan, laju

korosi, masing – masing pada hari ke 6, 8, 10, 12 dan 14 setelah perlakuan dan penambahan jumlah bakteri pada akhir perlakuan (hari ke 14).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di Laboratorium. Rancangan yang digunakan adalah Ral (Rancangan Acak Lengkap) dengan lima perlakuan dengan lima kali ulangan. Data yang diperoleh dianalisis Anova dan jika ada perbedaan dilanjutkan dengan Uji Duncan (Steel and Torrie, 1993).

4. PROSEDUR KERJA

Media perendaman dimasukkan dalam botol – botol kultur dan disteril, kemudian hasil isolasi dan identifikasi di inokulasikan kedalam botol – botol kultur. Lempeng baja dipotong-potong 1,5 x 3,0 Cm dengan tebal 4 mm, dihaluskan dengan gerinda, dan digosok amplas sampai permukaan halus dan mengkilap. Kemudian digosok lagi dengan carborundum sampai lebih halus dan mengkilap, lalu disimpan dalam inkubator dengan suhu lebih kurang 100° C. Hal ini dilakukan agar selama penyimpanan tidak berkarat sebelum digunakan. Sebelum digunakan lempeng baja di dinginkan sehingga keadaannya sampai suhu kamar, kemudian di timbang (Ulanovskii, 1981; Rochati, 1995). Lempeng baja yang telah dipersiapkan dimasukkan kedalam botol – botol kultur yang berisi media perendaman yang telah diinokulasikan bakteri

Desulfomicrobium baculatum. H₂S yang dihasilkan pada hari ke 6, 8, 10, 12 dan ke 14 dianalisa dengan metode titrasi. Jumlah bakteri pada akhir perlakuan dengan metode pengenceran. Berat sampel baja pada akhir perendaman ditimbang. Laju korosi sample - sampel baja setelah akhir perendaman dihitung.

5. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

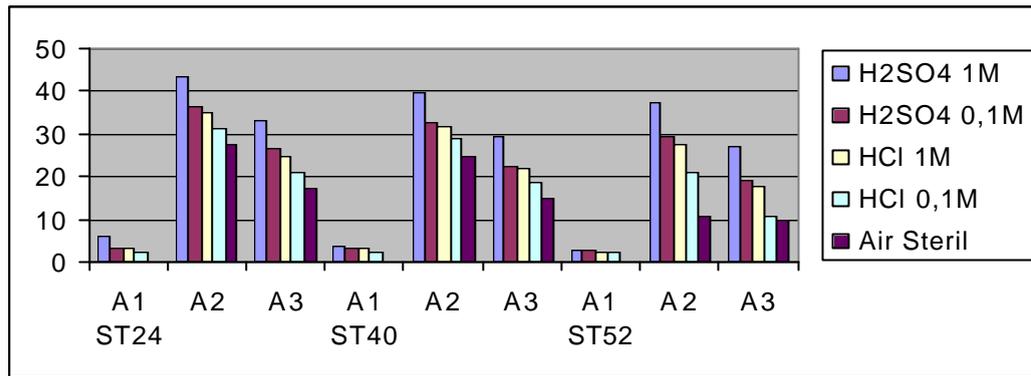
Dengan Sidik Ragam terlihat adanya perbedaan yang sangat nyata (P<0,01) antara laju korosi baja ST24, ST 40 dan ST 52 oleh *Desulfomicrobium baculatum* dan *Desulfomonas pigra* pada media yang berbeda. Berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan ada perbedaan sangat nyata (P<0.01) seperti terlihat pada Tabel 1.

Gambar 1 menunjukkan adanya peningkatan laju korosi pada baja ST 24, ST 40 dan ST 52 yang diakibatkan oleh bakteri *D. baculatum*. Seperti logam pada umumnya baja ST 24, ST 40 dan ST 52 mudah terkorosi oleh zat asam seperti H₂SO₄ dan HCl (Baboin, 1996; Bozec *et al*, 2001). Baja ST24 mempunyai tegangan tarik 24 kg/m, Baja ST 40 mempunyai tegangan tarik 40 kg/m dan ST 52 mempunyai tegangan tarik 52 kg/m. Baja ST 24 paling mudah mengalami korosi oleh HCl dan H₂SO₄ dibanding dengan ST40 dan ST52. Laju korosi Baja ST 24 dalam media H₂SO₄ 1M tanpa bakteri *D. baculatum*

Tabel 1. Uji Jarak Berganda Duncan terhadap Laju korosi baja ST24,ST40 dan ST52 oleh *Desulfomicrobium baculatum* dan *Desulfomonas pigra*

Baja	Perlakuan	Media				
		H ₂ SO ₄ 1M	H ₂ SO ₄ 0,1M	HCl 1M	HCl 0,1M	Air Steril
ST24	Tanpa bakteri	5,87c	3,22b	3,15b	2,54b	0,23a
	+ <i>D.baculatum</i>	43,39h	36,41g	34,88g	31,17g	27,35g
	+ <i>D.pigra</i>	33,39g	26,41g	24,88f	21,17f	17,35e
ST40	Tanpa bakteri	3,85b	3,08b	3,23b	2,22b	0,12a
	+ <i>D.baculatum</i>	39,67h	32,64f	31,87g	28,90f	24,89f
	+ <i>D.pigra</i>	29,67g	22,64f	21,87f	18,90d	14,89d
ST52	Tanpa bakteri	2,97b	2,65b	2,55b	2,19a	0,08a
	+ <i>D.baculatum</i>	37,32h	29,39g	27,61g	20,97f	10,88c
	+ <i>D.pigra</i>	27,32g	19,39f	17,61e	10,97c	9,88c

Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang sangat nyata (P< 0,01)



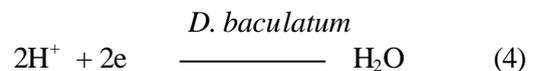
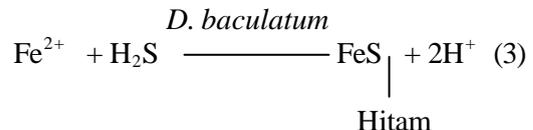
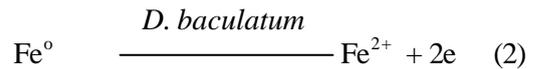
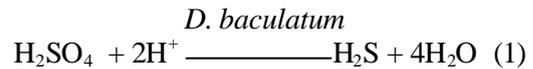
Gambar 1. Laju korosi baja ST24,ST40 dan ST52 oleh *D>baculatum* dan *D.pigra*

sebesar 5,87 mg/det. Laju korosi baja ST24 meningkat dalam media H₂SO₄ 1M yang mengandung bakteri *D. baculatum*, yaitu sebesar 43,39 mg/det, berarti mengalami kenaikan sebesar lebih dari 7 kali. Laju korosi Baja ST 40 dalam media H₂SO₄ 1M tanpa bakteri *D. baculatum* sebesar 3,85 mg/det. Laju korosi baja ST40 meningkat dalam media H₂SO₄ 1M yang mengandung bakteri *D. baculatum*, yaitu sebesar 39,67 mg/det, berarti mengalami kenaikan sebesar lebih dari 10 kali.. Laju korosi Baja ST 52 dalam media H₂SO₄ 1M tanpa bakteri *D. baculatum* sebesar 2,97 mg/det. Laju korosi baja ST52 meningkat dalam media H₂SO₄ 1M yang mengandung bakteri *D. baculatum*, yaitu sebesar 37,32 mg/det, berarti mengalami kenaikan sebesar lebih dari 12 kali.

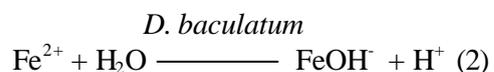
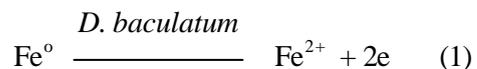
Baja merupakan besi yang mengandung karbon. Ion besi (Fe) digunakan oleh bakteri sebagai penyusun sitokrom, periplasma dan penyusun koenzim hidrogenase. Sitokrom merupakan suatu pigmen oksidasi reduksi selluler yang tersusun dari cincin porfirin dengan Fe sebagai intinya. Periplasma merupakan plasma sel bagian luar yang berhubungan dengan lingkungan, banyak tersusun oleh ion Fe. Enzim hidrogenase merupakan enzim yang berperan dalam reduksi besi maupun sulfat, berintikan ion Fe (Foprget *et al*, 2003). Menurut Forget, tiap molekul Fe-hidrogenase akan mengkonsumsi atau memproduksi ion H₂ sebanyak 700 molekul per detik pada suhu 30°C. Lebih lanjut Forget menyatakan bahwa pada *D. baculatum* setiap molekulnya hidrogenasenya mengandung 14 atom besi. Transport elektron dalam proses respirasi

yang dilakukan oleh *D. baculatum* berlangsung dalam sitokrom c yang mempunyai inti ion besi. *D. baculatum* dalam pertumbuhannya melakukan pembelahan biner yang memerlukan bahan-bahan termasuk Fe dan sulfur dua kali lipat banyaknya untuk disintesis menjadi bahan-bahan penyusun sel termasuk sitokrom, periplasma dan enzim hidrogenase (Ott, 2000; Foprget *et al*, 2003).

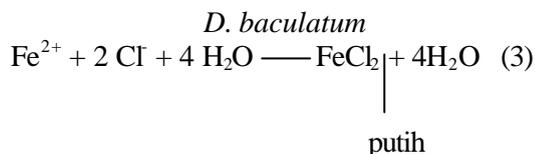
Korosi yang terjadi pada baja ST24, ST40 dan ST52 dalam media yang mengandung H₂SO₄ dan bakteri *D. baculatum* adalah seperti disajikan pada reaksi-reaksi berikut ini:



Baja akan terkorosi dalam media yang mengandung HCl dan bakteri *D. baculatum* melalui reaksi-reaksi berikut ini:



Sebagian Fe²⁺ bereaksi dengan Cl⁻ seperti disajikan pada reaksi 3 berikut :



DAFTAR PUSTAKA

- Baboin, R., 1996, *Galvanic Corrosion*. ASM Handbook. Formerly 9th ed, Metals Handbook. Vol. 13.,
- Bagnall, C., 1996, *Corrosion in Liquid Metals*. ASM Handbook, Formerly 9th ed, Metals Handbook. Vol.13.
- Bozec, N. L ; D Persson ; A, Nazarov ; and D. Thierry, 2001, *Investigation of Filiform Corrosion on Coated aluminum alloys by FTIR Microspectroscopy and Scanning Kelvin Probe*, Journal of The Electrochemical society, 149 (9), Swedish Corrosion Institute, Stockholm, Sweden, Pp. 403 – 408.
- Bradford, A. S, 1992, *Corrosion Control*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Bryson, H. J, 1996, *Corrosion of Carbon Steel*, ASM Handbook, Formerly 9th ed, Metals Handbook, Vol. 13.
- Dart, R. K., and R. J. Stretton, 1977, *Microbiological Aspect of Pollution Control*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Davison, M. R., 1996, *Corrosion of Stainless Steels*. ASM Handbook. Formerly 9th ed, Metals Handbook. Vol. 13.
- Dexter, C. S., 1995, *Localized Biological Corrosion*. College of Marine Studies University Of Delaware.
- Dexter, C. S, 1996, *General Biological Corrosion*, ASM Handbook, Formerly 9th ed, Metals Handbook, Vol. 13.
- Doelle, H. W., 1969, *Bacterial Metabolism*, Academic Press, New York and London
- Forget, N., Rousset, M., Monlet, Y. Guiarelli, B., Asco, M., Bertrand, P., Fonticilia, and J.C., Hatchikian, E.C., 2003, *Biochemistry (3Fe-4S) to (4Fe-5S) Cluster Conversion in desulfovibrio fructosovorans (NiFe) Hydrogenase by Site - directed Mutagenesis*, Proc. Nalt. Acadd. Sei., USA, pp.11625 - 11630
- Gerrassimenko, A., 1979, *A Protection of Structure from Microbiological Corrosion and Methods Determining The Resistance of Metals and Coating to Biodeterioration*, Protection Metals, Vol. 15, No. 4.
- Holt, J. G., N.R.Krieg., P.H.A. Sneath., J.T. Staley., and S.T. Williams, 1994, *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th ed., The William & Wilkins. Co, Inc., Baltimore.
- Korb, J. L, 1996, *Corrosion*, ASM Handbook. Formerly 9th ed, Metals Handbook, Vol. 13.
- Koger, W. J., 1996, *Molten – Salt Corrosion*, ASM Handbook. Formerly 9th ed, Metals Handbook, Vol. 13.
- Lewandowski, Z., R. Avci., M. Geiser., X. Shi., K. Broughton., and N. Yurt, 2002, *Biofouling and Corrosion of Steel in Natural Waters*, Journal Wat. Svi. Tech : Wat. Sup., Vol. 2. No. 4, Pp. 65-72
- Ott, N., 2000, *Permeable Reactive Barriers for Inorganic*, National network of enviromental Management Studies Fellow, U.S. enviromental Protection agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, Washington. DC. <http://www.clu-in.org>, pp. 1- 37
- Pohlman, L. S., 1996, *Atmospheric Corrosion*, ASM Handbook. Formerly 9th ed, Metals Handbook. Vol. 13.
- Postgate, J. R., 1965, *Recent Advances in the Study of Sulfat educing Bacteria*. Bacteriological reviev. Vol 29 No. 4.
- Rochati, D, 1995, *Pengembangan Desain Produk Pipa dan Pelat Baja Tahan Korosi dalam Lingkungan Gas*. Dep. Perindustrian. Balai besar penelitian dan Pengembangan Industri Bahan dan Barang teknik. Bandung.
- Suhartanti, D., 2004, *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pereduksi Sulfat dari Kawasan PLTP Kamojang Jawa Barat*, Prosiding Seminar Nasional dan hasil-Hasil Penelitian, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- _____, 2004, *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Anaerob dari Baja*

- yang Terkorosi di Kawasan PLTP Kamojang Jawa Barat, Proceeding Seminar MIPA IV, FMIPA, Institut Teknologi Bandung, Pp. 261-264
- Sukanto, 1993, *Corrosion control on Sea Water Cooler at Arum LNG Plant Lhoksemawe*, LIPI, Bandung.
- Supardi, R., 1997, *Korosi*, Penerbit Tarsito Bandung.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie, 1993, *Prinsip dan Prosedur Statistik*. Terjemah : Bambang Sumantri. Penerbit Gramedia. Jakarta.
- Tapper, R.C., Smith, J.R., Cooking,C., and Beech, I.B., 1998, *Atomic Force Microscopy Study of the Biocidal Effect of Super Oxidised Water Sterilox*, Journal Biofilm, Vol. 3., Online Journal-URL:// www.bdt.org.br/bioline/bf.
- Ullanovski, I. B. and A. V. Ledenev, 1981, *Influence of Sulfat Reducing Bacteria on Cathodic Protection of Steel*, Plenum Publishing Corporation.
- Wallen, B., 1998, *Corrosion of Stainless Steel in Seawater*, Journal. Acom. Avesta Sheffield, Avesta Sheffield Corrosion Management and Application Engineering A.B. Research & Development, Sweden, Vol. , pp.1-14

