

ANALISIS DAMPAK BASE SEDIMENT & WATER TERHADAP LAJU KOROSI INTERNAL PIPELINE API 5L Gr B

ANALYSIS OF BASE SEDIMENT & WATER EFFECT ON INTERNAL CORROSION RATE OF PIPELINE API 5L Gr B

M. Iqbal Pangindoman¹, Ahmad Zikri², Selastia Yulianti³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Kimia Industri,
Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang
e-mail : iqbalpangindoman21@gmail.com

ABSTRACT

Base Sediment & Water (BS&W) is indicated high has to be as a corrosion factor in the pipeline. Corrosion is the damage or degradation of metals due to oxidation-reduction reactions between a metal and various substances in its environment which produce unnecessary compounds. Corrosion can be influenced by several factors, such as NaCl content, BS&W composition, dissolved gas content, pH, flow rate and temperature. The composition of BS&W can have an impact on the corrosion rate of the API 5L Gr B steel pipe. The purpose of analysis is to determine remaining life of API 5L Gr B pipe. The method used in analysis refers to ASTM G1 1991. The higher BS&W content in crude oil equal to the higher corrosion rate. The higher the corrosion rate can reduce the remaining life of API 5L Gr B pipe.

Keywords : Pipeline, BS&W, Corrosion Rate

1. PENDAHULUAN

Minyak Bumi

Minyak bumi atau "*crude oil*" adalah senyawaan hidrokarbon dan non-hidrokarbon yang terdapat di dalam bumi. Minyak bumi berwarna coklat kehitaman sampai hitam, dalam bentuk cair dan terdapat gas-gas yang melarut di dalamnya, dengan berat jenis berkisar antara 0,8000 – 1,0000. Unsur kimia penyusun minyak bumi adalah :

1. unsur mayor adalah karbon dan hidrogen (disebut unsur hidrokarbon), dan
2. unsur minor adalah sulfur, nitrogen, oksigen, halogen dan logam (disebut unsur non-hidrokarbon)

Crude oil yang baru keluar dari sumur eksplorasi mengandung bermacam-macam zat kimia yang berbeda baik dalam bentuk gas, cair maupun padatan. Lebih dari separoh (50-98%) dari zat-zat tersebut adalah merupakan hidrokarbon. Senyawa utama yang terkandung di dalam minyak bumi adalah alifatik, alisiklik dan aromatik. Minyak bumi ditemukan bersama-sama dengan gas alam. Minyak bumi yang telah dipisahkan dari gas alam disebut juga *crude oil*. *Crude oil* dapat dibedakan atas:

- a. *Crude oil* ringan (*light crude oil*), mengandung kadar logam dan belerang rendah, berwarna terang dan bersifat encer (viskositas rendah).
- b. *Crude oil* berat (*heavy crude oil*), mengandung kadar logam dan belerang tinggi, memiliki viskositas tinggi sehingga harus dipanaskan agar

meleleh. *Crude oil* merupakan campuran yang kompleks dengan komponen utama alkana dan sebagian kecil alkena, alkuna, siklo-alkana, aromatik, dan senyawa anorganik. *Crude oil* mengandung sekitar 50–98 % senyawa hidrokarbon dan sisanya merupakan senyawa non-hidrokarbon (sulfur, nitrogen, oksigen, dan beberapa logam berat seperti V, Ni dan Cu). (Hadi, 2013)

Pipa Penyalur

Pipa penyalur merupakan pipa minyak atau gas bumi yang meliputi pipa transmisi gas, pipa transmisi minyak dan pipa alir sumur. Pipa transmisi minyak merupakan pipa untuk menyalurkan minyak dari stasiun pengumpul ke tempat pengolahan, dan dari tempat pengolahan ke depot, dan dari depot ke depot atau depot ke pelabuhan dan atau sebaliknya.

Secara garis besar fungsi dari pipa penyalur minyak bumi adalah mengalirkan minyak bumi ke konsumen. Untuk menjamin sistem pipa penyalur minyak bumi beroperasi dengan baik dan aman, maka harus memperhatikan ketentuan yang berlaku, memiliki sistem integritas, serta adanya program kerja yang terpadu dan terencana, meliputi kegiatan pengoperasian, pemeriksaan, pemeliharaan dan *control* korosi. Salah satu spesifikasi pipa penyalur minyak yang umum digunakan industri oil and gas adalah tipe API 5L Gr. B. (Bp migas, 2007)

Base Sediment & Water

Base Sediment & Water (BS&W) adalah spesifikasi teknis dari pengotor tertentu dalam *crude oil*. Ketika diekstraksi dari *reservoir* minyak, *crude oil* akan mengandung sejumlah air dan padatan tersuspensi dari formasi *reservoir*. Materi partikulat dikenal sebagai sedimen atau lumpur. Kandungan air dapat sangat bervariasi dari satu sumur ke sumur lainnya, dan mungkin ada dalam jumlah besar untuk sumur yang lebih tua, atau jika ekstraksi minyak ditingkatkan dengan menggunakan teknologi injeksi air. Sebagian besar air dan sedimen biasanya dipisahkan di lapangan untuk meminimalkan jumlah yang perlu diangkut lebih lanjut. Kandungan residu dari pengotor yang tidak diinginkan ini diukur sebagai BS&W. Kilang minyak dapat membeli *crude oil* dengan spesifikasi BS&W tertentu atau sebagai alternatif mungkin memiliki unit proses dehidrasi dan penghilangan garam *crude oil* awal yang mengurangi BS&W hingga batas yang dapat diterima, atau kombinasinya.

Pengukuran kandungan BS&W di dalam *crude oil* dapat dilakukan dengan menggunakan metode seperti API MPMS Chapter 10.2 dan ASTM D4007. Adapun metode pengukurannya yaitu dengan menggunakan *chemical demulsifier* yang bertujuan untuk memisahkan *crude oil* dan BS&W serta dilakukan pemutaran dengan menggunakan peralatan *centrifuge*. (Arviansyah, 2017)

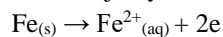
Korosi

Menurut Roberge, korosi adalah peristiwa rusaknya logam karena reaksi rusaknya logam karena reaksi dengan lingkungannya. Sedangkan menurut Gunaltun, korosi adalah fenomena elektrokimia dan hanya menyerang logam. Ada pula definisi lain yang mengatakan bahwa korosi merupakan rusaknya logam karena adanya zat penyebab korosi.

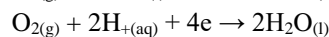
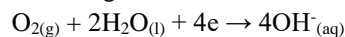
Pada dasarnya peristiwa korosi adalah reaksi elektrokimia. Secara alami pada permukaan logam di lapisi oleh suatu lapisan film oksida (FeO.OH). Pasivitas dari lapisan film ini akan rusak karena adanya pengaruh dari lingkungan, misalnya adanya penurunan pH atau alkalinitas dari lingkungan atau pun serangan dari ion-ion klorida.

Pada proses korosi terjadi reaksi antara ion-ion dan juga antar *electron*. Korosi atau perkaratan sangat lazim terjadi pada besi. Besi merupakan logam yang mudah berkarat. Karat besi merupakan zat yang dihasilkan pada peristiwa korosi, yaitu berupa zat padat berwarna coklat kemerahan yang bersifat rapuh serta berpori. Bila dibiarkan, lama kelamaan besi akan habis menjadi karat. Dampak dari peristiwa korosi bersifat sangat merugikan. Contoh nyata adalah keroposnya jembatan,

bodi mobil, ataupun berbagai konstruksi dari besi lainnya. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Karat logam umumnya berupa oksida atau karbonat. Rumus kimia karat besi adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, suatu zat padat yang berwarna coklat-merah. Pada korosi besi, bagian tertentu dari besi berlaku sebagai anoda, selanjutnya besi mengalami oksidasi.

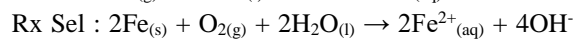
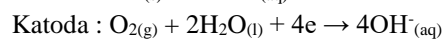
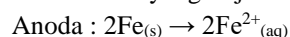


Elektron yang dibebaskan di anoda mengalir ke bagian lain dari besi yang berlaku sebagai katoda, dimana oksigen tereduksi.



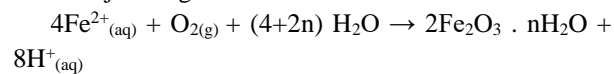
Ion besi (II) yang terbentuk pada anoda selanjutnya teroksidasi membentuk ion besi (III) yang kemudian membentuk senyawa oksida terhidrasi, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, yaitu karat besi.

Maka reaksi yang terjadi :



(aq)

Ion Fe^{2+} tersebut kemudian mengalami oksidasi lebih lanjut dengan reaksi :



(Roberge, 2000)

Korosi Hubungan Laju Korosi dengan Base Sediment & Water (BS&W)

Pengaruh BS&W terhadap laju korosi pipa telah dilakukan penelitian terhadap pipa *Carbon Steel X52* dan *A53*. Kandungan BS&W menjadi faktor yang sangat berpengaruh pada korosi yang terjadi pada pipa, semakin tinggi kandungan BS&W, maka semakin tinggi laju korosi yang diakibatkan baik pada pipa *X52* maupun pada pipa *A53* (Avriansyah, 2017).

Minyak mentah mempunyai pengaruh terhadap laju korosi pipa baja karbon dan pipa galvanis. Dalam keadaan tercampur dengan air kecepatan korosinya akan semakin meningkat. Tingkat kekorosifan minyak bumi dipengaruhi oleh jenis dan komposisi minyak mentah (Hadi, 2013).

Pengujian kandungan BS&W dilakukan menggunakan alat sentrifugal sesuai dengan Standart ASTM D96 (*Water and Sediment in Crude Oil by Centrifuge Method*). Setelah dilakukan sentrifugal selama kurang lebih 15 menit maka akan terpisah antara BS&W dengan *crude oil*. Terpisahnya BS&W dengan *crude oil* disebabkan karena perbedaan massa jenis antara keduanya. Kandungan tersebut dikonversikan ke dalam presentase sebagai berikut :

$$\% \text{ BS\&W} = \frac{\text{VolumeBS} \wedge W}{\text{VolumeCrudeoil yang diuji}} \times 100$$

%

(ASTM D96, 2007)

Selanjutnya, penghitungan laju korosi ini menggunakan metode *weight loss* ASTM G1 (*Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens*) sehingga dilakukan perhitungan melalui rumus terhadap berat yang hilang akibat korosi. Penghitungan laju korosi dapat dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K.W}{D.A.t}$$

(ASTM G1, 1991)

Dimana :

K = Konstanta (*mmpy* à 8,76 x 10⁴)

W = Kehilangan Berat (gr)

D = Densitas (gr/cm³)

A = Luas Permukaan (cm²)

T = Waktu (Jam)

2. METODE

Dalam hal ini sumber data yang diperoleh diambil dari data primer dan sekunder. Data primer adalah data-data yang didapat melalui pengamatan langsung pada saat penelitian dan data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber kedua atau sumber sekunder dari data yang kita butuhkan. Dalam hal ini data sekunder adalah data-data yang didapat melalui kajian pustaka yang mendukung studi kasus ini.

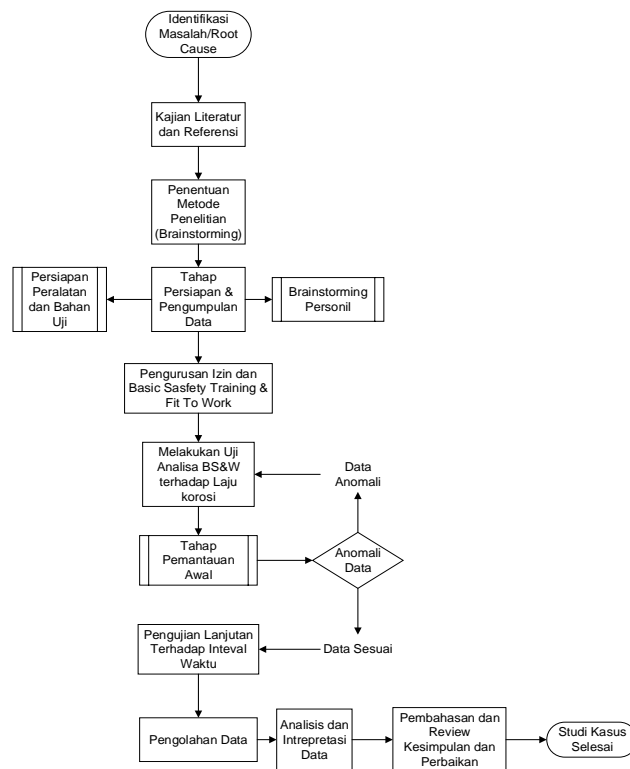


Diagram 1. Metode Penelitian

Data sekunder dan studi literatur dikumpulkan sebagai pendukung dalam penyelesaian studi kasus ini. Metode ini berdasarkan pengumpulan data teknis dan operasional dari industri. Sedangkan studi pustaka yaitu dengan mencari informasi berupa pengumpulan data mengenai standar pengujian. Informasi tersebut dapat diperoleh dari website resmi, jurnal, manual dan standard, dan buku-buku yang berhubungan dengan studi kasus antara lain sebagai berikut :

- a. Spesifikasi pipa penyalur dan kualitas *crude oil*
- b. Kondisi opsional penyaluran *crude oil*
- c. Studi literatur mengenai pengaruh BS&W terhadap pipa penyalur.
- d. Studi literatur mengenai Laju Korosi.

Analisis yang digunakan pada studi kasus ini yaitu analisis deskriptif dan interpretasi. Analisis deskriptif yakni menghubungkan-hubungkan antara data yang satu dengan data yang lainnya, kemudian menarik pembahasan dari data-data tersebut sehingga diperoleh gambaran secara utuh studi kasus yang dilakukan secara mendalam. Sedangkan analisis interpretasi yaitu dengan menyajikan data-data kondisi operasi dan hasil uji kualitas ke dalam bentuk diagram atau grafik, kemudian menentukan hubungan serta kondisi optimum yang dicapai.

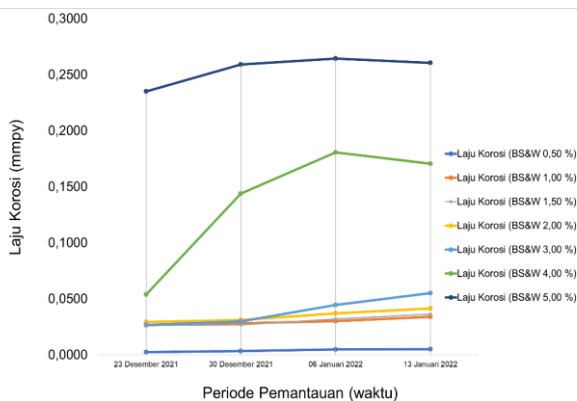
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi kasus ini dilakukan di salah satu lokasi *pipeline onshore* Tempino – Sei. Gerong PT Pertamina Gas selama +/- 2 bulan. Terdapat 3 tahapan kegiatan yang telah dilakukan yaitu persiapan, eksekusi dan evaluasi. Pada tahapan persiapan, dilakukan penyusunan rencana eksekusi dan persiapan SDM, peralatan dan bahan-bahan. Sedangkan kegiatan utama dilaksanakan pada tahapan eksekusi, pada tahapan ini dilakukan pengambilan data secara langsung dan menganalisis permasalahan yang terjadi pada saat kegiatan berlangsung. Sedangkan tahapan evaluasi dilakukan analisis dan perhitungan dari data-data yang telah diperoleh.

Penghitungan laju korosi berdasarkan kehilangan berat (*weight loss method*) dilakukan menurut standard ASTM G1. Dilakukan terhadap variasi BS&W 0,50 %; 0,10 %; 0,15 %; 2,00 %; 3,00 %; 4,00 % dan 5,00% terhadap spesimen pipa API 5L Gr B. Spesimen pipa API 5L Gr B diletakkan ke masing – masing *beaker glass* yang telah berisi kandungan variasi BS&W. Selanjutnya dilakukan pengamatan selama 28 hari untuk melihat laju korosi dari spesimen pipa tersebut.

Hasil pengujian yang didapatkan berdasarkan perhitungan tersebut selanjutnya dituangkan ke dalam grafik 1 dan 2.

Dari grafik 1 dapat dilihat bahwa hubungan antara *loss weight* terhadap nilai % BS&W. Untuk nilai *loss weight* terhadap 0,50 % BS&W didapati bahwa terdapat kenaikan *loss weight* dari mulai 0,0008 gram sampai dengan 0,0067 gram. Untuk nilai kandungan 1,00 % BS&W, terdapat kenaikan *loss weight* dari waktu ke waktu dengan rentang 0,0087 gram sampai dengan 0,0446 gram.

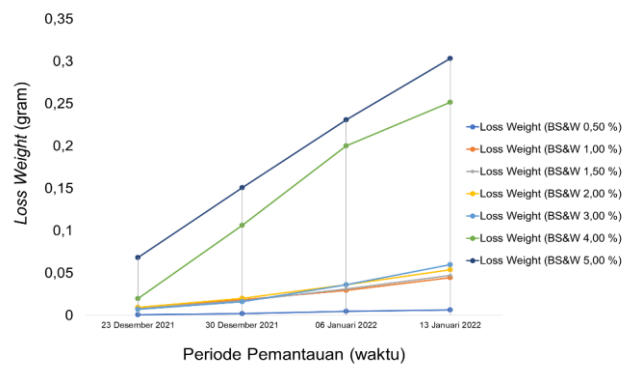


Grafik 1. Loss Weight Terhadap BS&W

Untuk hubungan *loss weight* dengan 1,50 %, 2,00 % and 3,00 % BS&W menunjukkan adanya kenaikan antara waktu ke waktu. Namun nilai *loss weight*

terhadap masing – masing % BS&W relatif cukup dekat yaitu terhadap nilai 1,50 % BS&W didapati rentang 0,0086 – 0,0475 gram, terhadap nilai 2,00 % BS&W didapati rentang 0,0096 – 0,0539 gram dan terhadap 3,00 % BS&W didapati rentang 0,0073 – 0,0599 gram.

Kenaikan *loss weight* yang cukup signifikan didapati pada nilai 4,00 % dan 5,00 % BS&W. Untuk nilai 4,00 % BS&W didapati *loss weight* dalam range 0,0199 – 0,2519 gram dan untuk nilai 5,00 % BS&W didapati *loss weight* dalam range 0,0685 – 0,3035 gram.



Grafik 2. Laju Korosi Terhadap BS&W

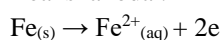
Dari grafik 2, dapat dilihat bahwa hubungan antara laju korosi terhadap nilai % BS&W untuk pengujian BS&W 0,50 % terhadap spesimen pipa API 5L Gr B, didapati rentang laju korosi 0,0025 *mm/yr* sampai dengan 0,0052 *mm/yr*. Hal ini menunjukkan untuk BS&W 0,50 % tingkat laju korosi tidak terlalu signifikan terhadap spesimen pipa API 5L Gr. B. Selain itu, terjadi kenaikan laju korosi terhadap waktu yaitu sebesar 0,000675 *mm/yr* per pekan. Untuk pengujian BS&W 1,00 % terhadap spesimen pipa API 5L Gr B, didapati rentang laju korosi 0,0266 *mm/yr* sampai dengan 0,0341 *mm/yr*. Adanya perbedaan nilai laju korosi antara BS&W 0,50 % dengan 1,00 %. Hal ini menunjukkan untuk BS&W 1,00 % menunjukkan tingkat laju korosi mengalami kenaikan yang cukup signifikan terhadap spesimen pipa API 5L Gr. B. Rata-rata kenaikan laju korosi per pekan adalah sebesar 0,00187 *mm/yr*. Pengujian BS&W 1,50 % terhadap spesimen pipa API 5L Gr B, didapati rentang laju korosi 0,0264 *mm/yr* sampai dengan 0,0365 *mm/yr*. Tidak adanya perbedaan nilai laju korosi yang tinggi antara BS&W 1,00 % dengan 1,50 % terhadap spesimen pipa API 5L Gr B. Rata-rata kenaikan laju korosi per 7 hari adalah sebesar 0,00251 *mm/yr*. Untuk pengujian BS&W 2,00 % terhadap spesimen pipa API 5L Gr B, didapati rentang laju korosi 0,0295 *mm/yr* sampai dengan 0,0414 *mm/yr*. Adanya kenaikan

laju korosi terhadap perlakuan BS&W 1,50 % dengan BS&W 2,00 %. Rata – rata kenaikan laju korosi BS&W 2,00 % per pekan adalah sebesar 0,00297 *mmpy*. Selisih rata – rata kenaikan laju korosi per pekan antara BS&W 1,50 % dengan BSW 2,00 % adalah sebesar 0,00046 *mmpy*.

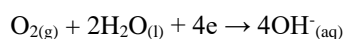
Untuk pengujian BS&W 3,00 % terhadap specimen pipa API 5L Gr B, didapati rentang lajumkorosi 0,0269 *mmpy* sampai dengan 0,0552 *mmpy*. Rata – rata kenaikan laju korosi BS&W 3,00 % per pekan adalah sebesar 0,00707 *mmpy*. Pengujian BS&W 4,00 % terhadap specimen pipa API 5L Gr B, didapati rentang laju korosi 0,0539 *mmpy* sampai dengan 0,1705 *mmpy*. Rata – rata kenaikan laju korosi BS&W 4,00 % per pekan adalah sebesar 0,02915 *mmpy*. Pada pekan ke 4, terdapat penurunan dibandingkan pekan ke 3 dengan selisih 0,0103 *mmpy*. Untuk pekan ke 3 laju korosi sebesar 0,1808 *mmpy* dan pekan ke 4 sebesar 0,1705 *mmpy*. Hal ini dapat disebabkan adanya kesalahan acak dan sistematis pada pengujian tersebut. Pengujian BS&W 5,00 % terhadap specimen pipa API 5L Gr B, didapati rentang laju korosi 0,2352 *mmpy* sampai dengan 0,2605 *mmpy*. Rata – rata kenaikan laju korosi BS&W 5,00 % per pekan adalah sebesar 0,00633 *mmpy*.

Berdasarkan hasil tersebut, semakin tingginya persen BS&W sejalan dengan laju korosi semakin meningkat per waktu. Pembentukan produk korosi ada tiga tahap reaksi pembentukan korosi pada logam. Tahap pertama logam besi (Fe) akan bereaksi dengan oksigen atau air untuk membentuk besi (II) Hidroksida. Pada tahap kedua Besi (II) Hidroksida bereaksi dengan atom oksigen ataupun air yang lebih banyak untuk membentuk Besi (III) Hidroksida yang tidak larut. Pada tahap akhir Besi (III) Hidroksida akan melepas molekul air dikarenakan Besi (III) Hidroksida merupakan padatan basah sehingga berubah menjadi produk korosi yaitu Besi (III) Oksida atau $2Fe_2O_3$

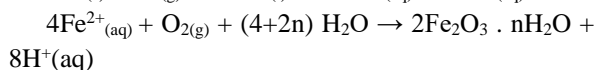
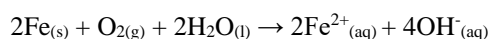
Reaksi anoda :



Reaksi Katoda :



Reaksi Pembentukan Produk Korosi :



Penambahan laju korosi yang tidak linier dapat disebabkan karena komposisi pipeline API 5L Gr B yang memiliki standar kandungan Chromium (Cr) sebesar 0,50 %. Hal ini dapat menyebabkan pipeline API 5L Gr B memiliki ketahanan korosi yang baik.

Selain itu, faktor yang media pengkorosi tersebut yakni *crude oil*. Campuran *crude oil* dengan BS&W bukanlah merupakan campuran sejati akan tetapi merupakan dispersi kasar (suspensi) dan juga emulsi.

Pengamatan fisik juga dilakukan untuk mengetahui sebaran korosi secara visual terhadap specimen pipa API 5L Gr B. Berikut dibawah ini merupakan pengamatan makro terhadap specimen terhadap variabel BS&W.



Gambar 1. Pengamatan Makro

Hasil pengamatan makro pipa API 5L Gr. B terhadap media *crude oil* dengan kandungan BS&W masing – masing 0.50 %; 0,10 %; 1,50%; 2,00 %, 3,00 %; 4,00 % dan 5,00 %. Secara keseluruhan dari masing – masing variabel BS&W yang diamati terhadap specimen pipa API 5L Gr. B menghasilkan korosi. Korosi terlihat menutupi hampir semua permukaan logam yang berkontak langsung dengan media *crude oil*. Terdapat produk korosi yang berwarna coklat dan hitam pada permukaan logam yang disebabkan interaksi antara *crude oil* dengan logam. Perbedaan tersebut dapat diakibatkan adanya dua produk korosi yang berbeda hasil interaksi antara logam Besi (Fe) pada pipa dengan lingkungan *crude oil*. Produk korosi yang berwarna coklat adalah Besi Oksida yang merupakan produk korosi atau pengendapan yang disebabkan oleh oksigen dan juga residu yang berwarna hitam adalah Besi Sulfida (FeS) yang merupakan produk korosi.

Korosi menyerang hampir ke semua permukaan logam dan tidak terkonsentrasi pada titik tertentu sehingga korosi ini disebut korosi merata atau *uniform corrosion*. Korosi merata (*uniform corrosion*) yaitu korosi yang terjadi pada permukaan logam yang berbentuk pengikisan permukaan logam secara merata sehingga ketebalan logam berkurang sebagai akibat permukaan terkonversi oleh produk karat.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kandungan *basic sediment and water* (BS&W) di dalam *crude oil* menjadi faktor yang sangat berpengaruh pada korosi yang terjadi pada pipa, semakin tinggi kandungan BS&W maka semakin tinggi laju korosi pada pipa API 5L Gr. B.

Korosi yang terjadi pada pipa API 5L Gr. B merupakan korosi merata (uniform corrosion) karena korosi menyerang hampir ke semua permukaan tanpa terfokus pada titik titik tertentu. Semakin tinggi nilai laju korosi maka semakin tinggi pula potensi penurunan kehandalan pipa API 5L Gr. B

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, Thomas O. and Alan P. Roberts. 1982. Production Operation Vol. 2 Oil & Gas Consultants International. Tulsa.
- Arviansyah, Naufan. 2017. Pengaruh Base Sediment And Water Terhadap Laju Korosi Pipa X52 dan A53 Pada Media Oil Sludge. Jember : UJ.
- ASTM D 4007. 2007. Standard Method for Water and Sediment in Crude Oil by the Centrifuge Method. Guide to ASTM Test Methods: 2nd Edition.
- ASTM G1. 1999. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens.
- Bpmigas. 2007. Pedoman Tata Kerja Pengopersian dan Pemeliharaan Pipa Penyalur Minyak dan Gas Bumi. Jakarta.
- Hadi, Syafrul. 2013. Pengaruh Lingkungan Minyak Mentah Terhadap Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galanis. Padang : ITP.
- Halimatuddahlianna. 2003. Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi : Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Herbert. H. Uhlig. 1971. Corrosion and Corrosion Control, Second Edition. Massachusetts Institute of Technology.
- IPS Engineering Standard. 1997. Chemical Control of Corrosive Environment. Iran.
- Pierre R. Roberge. 2000. Handbook of Corrosion Engineering. McGraw-Hill. Library of Congress. USA.
- Raswari. 2010. Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan. UI. Jakarta
- Widharto, S. 2004. Karat dan Pencegahannya, Pradnya Paramita. Cetakan ke-3. Jakarta.