

Analisis Ketahanan Pipa Baja Karbon Terhadap Propagasi Retak dalam Fluida Korosif

WINDI MUDRIADI

Akademi Teknik Industri Makassar
Komp. Andi Tonro Permai E1B/12A, Sungguminasa, 92114
faiz_daffa@yahoo.com

Abstrak

Sistem perpipaan banyak ditempatkan di bawah laut ataupun di bawah tanah, dimana keduanya merupakan lingkungan yang korosif yang mengakibatkan konstruksi ini risikan terhadap korosi. Retak korosi tegangan merupakan peristiwa pembentukan dan perambatan retak dalam logam yang terjadi secara simultan antara tegangan tarik yang bekerja pada material dengan lingkungan yang korosif. Wujud kerusakannya dapat berupa keretakan pada permukaan pipa hingga terjadi kegagalan katastrofik seperti kebocoran pipa dan pecah pipa. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis ketahanan pipa baja karbon yang mengalami korosi berdasarkan perubahan nilai faktor intensitas tegangan maksimum dengan adanya takik horisontal, (2) menganalisis pengaruh pembebangan dan fluida korosif (air laut dan air tanah) terhadap sifat-sifat mekanis pipa baja karbon, (3) menguji secara analisis statistik pengaruh waktu korosi dan takik horisontal terhadap perbedaan sifat-sifat mekanis pipa baja karbon untuk masing-masing fluida korosif.

Pengujian yang dilakukan adalah: tarik, lentur, ring-C dan aerasi. Media korosi adalah air laut dan air tanah, sedangkan waktu korosi adalah 2, 4, 6, 8 dan 10 minggu. Analisis selanjutnya adalah analisis varian yang menguji perbedaan nilai rata-rata dari sifat-sifat mekanis yang diperoleh.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketahanan pipa baja karbon mengalami penurunan berdasarkan nilai faktor intensitas tegangan maksimum (K_I maks), yaitu K_I maks pada air tanah maupun air laut yang lebih tinggi terdapat pada pipa tanpa takik dibanding pipa takik horisontal. Untuk nilai K_I maks pipa air tanah 10 minggu tanpa takik adalah $21,7424 \text{ MPa} \sqrt{m}$ dan pipa takik horisontal adalah $20,9827 \text{ MPa} \sqrt{m}$. Nilai kekuatan tarik maksimum (σ_m), dan elastisitas pipa (E) mengalami penurunan akibat pembebangan dan fluida korosif. Pada air laut 10 minggu untuk pipa tanpa takik, nilai σ_m adalah $340,8889 \text{ MPa}$, dan E adalah 66244 MPa . Analisis varian menunjukkan perbedaan nilai rata-rata sifat-sifat mekanis pipa baja karbon akibat pengaruh takik dan waktu korosi. Semakin lama waktu korosi maka sifat-sifat mekanis pipa akan semakin menurun dengan perbedaan yang signifikan pada level kepercayaan 95% untuk masing-masing fluida korosif.

Kata kunci : pipa baja karbon, waktu korosi, takik, faktor intensitas tegangan, analisis varian

Pendahuluan

Lebih dari 98% sistem perpipaan ditempatkan di bawah laut ataupun di bawah tanah (Roberge, 1999), dimana keduanya merupakan lingkungan yang korosif. Penempatan sistem perpipaan pada lingkungan yang korosif mengakibatkan konstruksi ini risikan terhadap serangan korosi. Dalam kegiatan eksplorasi dan produksi, penyebab utama korosi pada pipa terbagi atas dua, yaitu penyebab internal dan penyebab eksternal. Untuk penyebab internal, korosi disebabkan oleh kandungan Sulfur, H_2S , Merkuri, CO_2 dan kandungan garam yang semuanya berasal dari reservoir. Sedangkan penyebab eksternal, korosi terjadi akibat tingkat keasaman lingkungan (air laut, rawa dan tanah).

Korosi terjadi karena selama proses produksi pada material pipa dapat mengakibatkan ketidakseragaman

sifat bahan sehingga memudahkan terjadinya cacat atau retak (*crack*) pada material yang mengakibatkan kekuatannya akan menurun, meskipun bahan tersebut dirancang untuk mampu menahan beban, baik tarik, tekan, tekuk, puntir, atau beban kombinasi dari macam-macam jenis pembebangan di atas.

Peristiwa pembentukan dan perambatan retak dalam logam yang terjadi secara simultan antara tegangan tarik yang bekerja pada material tersebut dengan lingkungan yang korosif dikenal sebagai *stress corrosion cracking (SCC)* atau retak korosi tegangan. Tegangan biasanya bersifat internal yang disebabkan oleh bentukan dingin (*cold forming*) atau yang merupakan sisa hasil penggerjaan (*residual*) seperti pengrolan, pengelingan, pengelasan, dan lain-lain. Wujud kerusakan yang ditimbulkan oleh retak korosi tegangan dapat berupa keretakan pada permukaan luar maupun dalam pipa hingga terjadi kegagalan

katastrofik seperti kebocoran pipa, pecah pipa, dan ledakan.

Ekawati (2007) dalam thesisnya telah meneliti propagasi retak pipa distribusi bahan bakar minyak dalam lingkungan korosif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat-sifat mekanik pipa baja karbon rendah terhadap propagasi retak setelah spesimen pipa direndam selama 3 minggu, 6 minggu dan 9 minggu dalam fluida solar dan bensin. Tinjauan yang sama telah diteliti oleh Basongan (2007) dengan menggunakan fluida gas elpiji sebagai lingkungan korosif.

Berdasarkan uraian diatas perlu dilakukan penelitian mengenai ketahanan pipa baja karbon akibat perambatan retak korosi tegangan pada pipa baja karbon dalam fluida yang korosif.

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis ketahanan pipa baja karbon yang mengalami korosi berdasarkan perubahan nilai faktor intensitas tegangan maksimum dengan adanya takik horisontal.
2. Menganalisis pengaruh pembebahan dan fluida korosif (air laut dan air tanah) terhadap sifat-sifat mekanis pipa baja karbon.
3. Menguji secara analisis statistik pengaruh waktu korosi dan takik horisontal terhadap perbedaan sifat-sifat mekanis pipa baja karbon untuk masing-masing fluida korosif.

Batasan Masalah

1. Material bahan uji adalah pipa baja karbon rendah.
2. Dimensi benda uji adalah berdasarkan standar SII. 0318 – 80 Batang Uji No. 12 untuk uji tarik tabung dan pipa.
3. Spesimen uji terdiri dari dua jenis, yaitu spesimen tanpa takik (TT) dan spesimen takik horisontal (TH).
4. Media korosif adalah air laut dan air tanah.
5. Waktu kontak dengan media korosif selama 2 minggu, 4 minggu, 6 minggu, 8 minggu dan 10 minggu.
6. Pengujian yang dilakukan adalah uji korosi, uji tarik, uji lentur, uji ring C, dan pengujian airasi.

Metodologi Penelitian

Tempat Penelitian

Pembuatan spesimen uji dilaksanakan di Bengkel Proses Produksi Akademi Teknik Industri Makassar dan Workshop Mekanik STM Negeri Pembangunan. Pengujian tarik, lentur dan pengujian ring C dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik dan Pengujian Bahan Akademi Teknik Industri Makassar,

sedangkan pengujian airasi dilaksanakan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

Desain Spesimen Penelitian

Bahan yang akan dibentuk yaitu pipa baja karbon yang dipotong dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan pengujian, yaitu spesimen untuk uji tarik, uji lentur dan uji ring C seperti gambar 1. dibawah. Untuk masing-masing spesimen dibuat 2 macam spesimen yaitu spesimen tanpa takik dan spesimen dengan takik yang searah sumbu pipa (takik horisontal).



a. Spesimen uji tarik b. Spesimen uji lentur c. Spesimen uji ring C

Gambar 1. Bentuk Spesimen Uji

Pengujian Korosi

Untuk uji korosi, spesimen yang telah dibentuk dimasukkan ke dalam media korosif, yaitu air tanah dan air laut dengan perincian sebagai berikut : spesimen I selama 2 minggu, spesimen II selama 4 minggu, spesimen III selama 6 minggu, spesimen IV selama 8 minggu dan spesimen V selama 10 minggu. Sebelum direndam, permukaan spesimen dibersihkan terlebih dahulu dengan kertas ampelas kemudian ditimbang berat awalnya sebelum direndam. Setelah ditimbang, spesimen kemudian direndam ke dalam instalasi pengujian yang berisi media korosif.

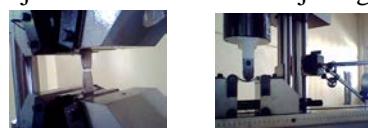
Setelah 2 minggu spesimen I diangkat kemudian dibersihkan dan dikeringkan, setelah itu ditimbang berat akhirnya dan dilakukan pemeriksaan visual dan pengujian mekanis untuk menghitung ketahanan pipa yang tersisa. Hal yang sama dillakukan pada spesimen II setelah waktu pengujian 4 minggu dan seterusnya untuk masing-masing media korosif.



Gambar 2. Instalasi Pengujian Korosi Air Tanah dan Air Laut

Pengujian Mekanis

Uji mekanis yang dilakukan yaitu uji kekuatan tarik, uji kekuatan lentur dan uji ring C.



a. Proses uji tarik b. Proses uji lentur c. Proses uji ring C

Gambar 3. Pengujian Mekanis

Teknik Analisis Data

Setelah spesimen mengalami korosi dan dilakukan pengujian melalui pengujian tarik, pengujian lentur dan pengujian ring C, maka data-data yang diperoleh kemudian diolah untuk mendapatkan nilai-nilai kekuatan tarik, elastisitas, beban maksimum dan faktor intensitas tegangan maksimum pipa baja karbon. Dari hasil perhitungan yang ada, data-data kemudian diplot ke dalam grafik untuk mengetahui pengaruh parameter-parameter yang berhubungan, yaitu waktu korosi dan posisi takik untuk masing-masing media korosif terhadap nilai-nilai tersebut di atas.

Analisis selanjutnya yaitu analisis statistik dengan menggunakan Analisis Varian Dua Jalan (Two-way ANOVA), untuk mengetahui apakah nilai-nilai yang diperoleh dapat dianggap sama atau berbeda ditinjau dari waktu korosi dan jenis takik untuk masing-masing media korosif.

Hasil dan Pembahasan

Faktor Intensitas Tegangan Maksimum (K_I maks)

Intensitas tegangan maksimum akan terjadi pada ujung sumbu takik yang dipengaruhi oleh tegangan keliling dan tekanan dalam. Besar nilai tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan dibawah dengan nilai C adalah faktor bentuk intensitas tegangan retak permukaan pipa bentuk eliptik. Nilai C tergantung pada nilai-nilai perbandingan a/c, a/t dan nilai C pada Tabel 1. Nilai ϕ dihasilkan dengan penyelesaian integral bentuk eliptik untuk nilai dari perbandingan a/c pada Tabel 2.

Tabel 1. Faktor Intensitas Tegangan C untuk retak permukaan eliptik menurut Raju dan Newman

		$K = C \sigma \sqrt{\pi a} / \Phi$			
a / c	φ	C			
		a / t			
0,2	0°	0.617	0.724	0.899	1.190
	45°	0.930	1.122	1.384	1.657
	90°	1.173	1.359	1.642	1.661
0,4	0°	0.767	0.896	1.090	1.818
	45°	0.998	1.075	1.247	1.874
	90°	1.133	1.225	1.370	1.447
0,6	0°	0.916	1.015	1.172	1.358
	45°	1.024	1.026	1.182	1.243
	90°	1.110	1.145	1.230	1.284
0,8	0°	1.174	1.229	1.355	1.464
	45°	1.067	1.104	1.181	1.193
	90°	1.049	1.062	1.107	1.112

Tabel 2. Penyelesaian Integral untuk rasio a/c

a/c	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Φ	1.000	1.016	1.051	1.097	1.151	1.211	1.277	1.345	1.418	1.493	1.571

Dengan nilai perbandingan a/c = 0,2 maka diperoleh nilai C = 1,359 dan $\Phi = 1,051$ sehingga intensitas tegangan maksimum :

$$K = \frac{1,359 P \left[1 + \frac{62}{3} \right] \sqrt{\pi 0,001}}{1,051}$$

$$K = 1,5699 P \sqrt{m}$$

Tekanan yang digunakan untuk pipa didasarkan pada kekuatan material pipa pada tegangan mulur (tegangan yielding), yaitu untuk pipa normal tanpa takik adalah $\sigma_y = 386,6667$ Mpa. Maka tekanan yang dapat diterima oleh pipa berdasarkan tegangan mulur yaitu :

$$P = \frac{\sigma_y \cdot t}{r}$$

$$P = \frac{386,6667 \times 3}{62}$$

$$P = 18,7097 \text{ MPa}$$

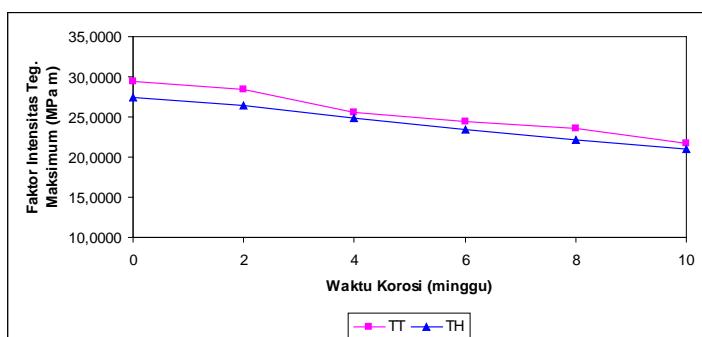
sehingga faktor intensitas tegangan maksimum adalah :

$$K_I \text{ maks} = 1,5699 P \sqrt{m}$$

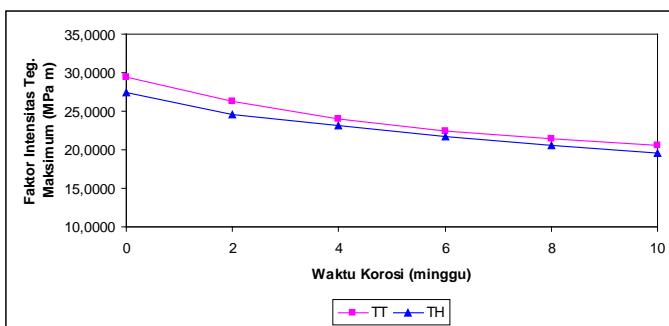
$$= 1,5699 \times 18,7097 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

$$= 29,3724 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

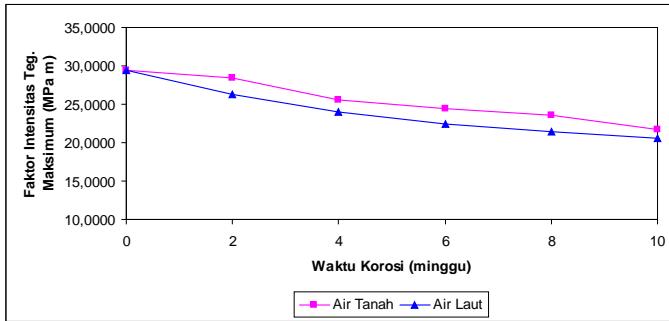
Untuk nilai faktor intensitas tegangan maksimum pipa air tanah 10 minggu tanpa takik adalah 21,7424 MPa \sqrt{m} dan pipa takik horisontal adalah 20,9827 MPa \sqrt{m} , sedangkan nilai faktor intensitas tegangan maksimum pipa air laut 10 minggu tanpa takik adalah 20,6282 MPa \sqrt{m} dan pipa takik horisontal adalah 19,6154 MPa \sqrt{m} .



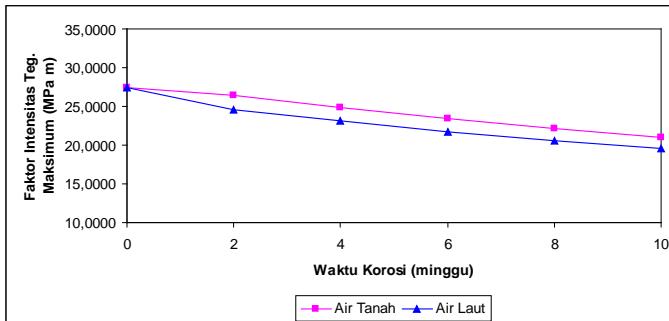
Gambar 4. Faktor Intensitas Tegangan Maksimum Pipa vs Waktu Korosi dengan Rendaman Air Tanah



Gambar 5. Faktor Intensitas Tegangan Maksimum Pipa vs Waktu Korosi dengan Rendaman Air Laut



Gambar 6. Faktor Intensitas Tegangan Maksimum Pipa Tanpa Takik vs Waktu Korosi dengan Rendaman Air Tanah dan air laut



Gambar 7. Faktor Intensitas Tegangan Maksimum Pipa Takik Horisontal vs Waktu Korosi dengan Rendaman Air Tanah dan Air Laut

Dari grafik menunjukkan nilai K_I maks mengalami penurunan baik dalam media korosif air tanah maupun air laut akan semakin berkurang seiring dengan semakin lamanya waktu korosi.

Spesimen yang direndam selama 2 minggu mempunyai nilai K_I maks yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang direndam selama 4 minggu dan seterusnya. Penurunan nilai intensitas tegangan pada spesimen TH lebih besar daripada spesimen TT. Hal ini disebabkan karena dengan adanya takik, maka tekanan akan terkonsentrasi pada sekitar takik sehingga retak akan menjalar dengan cepat.

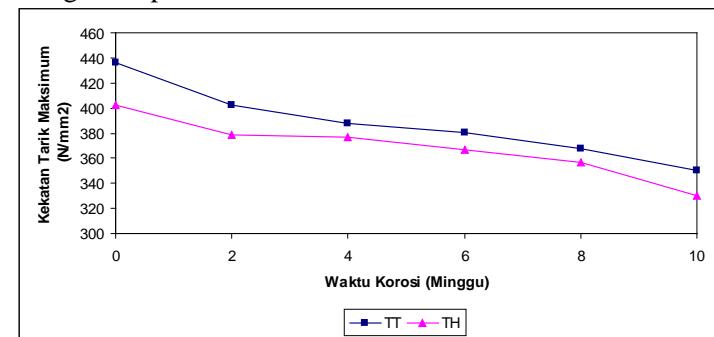
Sebagai bentuk diskontinuitas bahan, takik dapat menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan dan tekanan. Pada keadaan tanpa takik, tegangan dan tekanan yang bekerja akan terbagi merata pada penampang melintang spesimen. Dengan adanya takikan dan tekanan, tegangan yang bekerja menjadi

terkumpul dan berpusat pada daerah sekitar takik. Dengan demikian adanya takik dianggap sebagai tahap pemicuan (*initiation*) terjadinya kegagalan bahan. Tahap selanjutnya adalah penjalaran retak melalui cara mekanik ataupun pengaruh korosi.

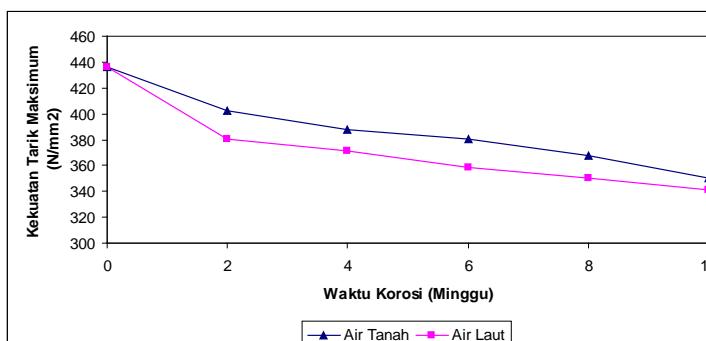
Berdasarkan Gambar 6 dan 7, nilai K_I maks untuk pipa air laut lebih rendah dibandingkan pipa air tanah. Hal ini disebabkan karena pengaruh unsur-unsur yang terkandung dalam air laut seperti klorida ataupun senyawa sulfat yang sangat korosif yang mempengaruhi komposisi dari logam sehingga menyebabkan logam mengalami perapuhan akibat absorpsi hidrogen ke dalam struktur logam.

Kekuatan Tarik Maksimum (σ_m)

Dari Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa waktu perendaman dalam fluida korosif berpengaruh terhadap memberikan pengaruh pada σ_m , dengan hasil yang diperoleh memperlihatkan semakin lama waktu korosi, maka nilai σ_m mengalami penurunan akan berkurang baik dalam fluida korosif air tanah dan maupun air laut, dan juga untuk material tanpa takik (TT) dan material takik horisontal (TH). Adanya takik pada material dapat dianggap sebagai fase pemicu terjadinya retak. Dengan semakin lamanya waktu perendaman maka akan terbentuk endapan sebagai suatu produk karat yang menutupi daerah sekitar takik. Akibatnya endapan tersebut menghalangi pertukaran oksigen dengan daerah sekitar takik sehingga takik akan terkorosi. Endapan pada daerah sekitar takik akan semakin luas dan dalam seiring dengan lamanya waktu perendaman. Jika material diberi tegangan tarik maka akan terjadi konsentrasi tegangan pada daerah sekitar takik yang menjadi pemicu terjadinya retak sehingga kekuatan tarik material akan mengalami penurunan.



Gambar 8. Kekuatan Tarik Maksimum Pipa vs Waktu Korosi dengan Rendaman Air Tanah



Gambar 9. Kekuatan Tarik Maksimum Pipa Tanpa Takik vs Waktu Korosi dengan Rendaman Air Tanah dan Air Laut

Elastisitas (E)

Gambar 10 menunjukkan nilai elastisitas mengalami penurunan baik dalam lingkungan korosif air tanah dan air laut dengan semakin lamanya waktu korosi. Dari grafik terlihat bahwa material yang yang memiliki elastisitas tertinggi adalah material memiliki elastisitas tertinggi adalah material TT kemudian TH. Hal ini membuktikan bahwa adanya cacat atau takik berperan dalam proses terjadinya kegagalan, karena takik menjadi pemicu pertumbuhan (propagasi) retak akibat pengaruh pembebangan, korosi (lingkungan) ataupun gabungan keduanya.

Gambar 11, nilai elastisitas untuk pipa dalam media air laut lebih rendah dibandingkan pipa dalam media air tanah. Nilai elastisitas yang lebih rendah pada pipa air laut disebabkan adanya unsur-unsur korosif yang sangat kuat seperti unsur klorida dan sulfat yang mempercepat korosi pada material. Unsur-unsur ini terserap kedalam material dan melemahkan ikatannya, khususnya pada ujung takik sehingga mengakibatkan penurunan nilai elastisitas.

Korosi dengan Rendaman Air Tanah dan Air Laut

Analisis Varian

Pada pembahasan ini akan ditinjau nilai-nilai kekuatan tarik maksimum yang diperoleh dari hasil penelitian, apakah nilai-nilai tersebut dapat dianggap sama (tidak ada perbedaan) ataukah berbeda satu sama lain ditinjau dari waktu korosi dan jenis takik. Hal yang sama juga dilakukan pada nilai-nilai faktor intensitas tegangan maksimum dan elastisitas untuk masing-masing fluida korosif. Oleh karena itu, dalam analisis statistik ini akan digunakan analisis varian dua arah. Dalam analisis varian (ANOVA) dua arah, penghitungan-penghitungan statistik dilakukan baik berdasarkan kolom maupun baris

Analisis Varian Elastisitas Pipa Air Laut

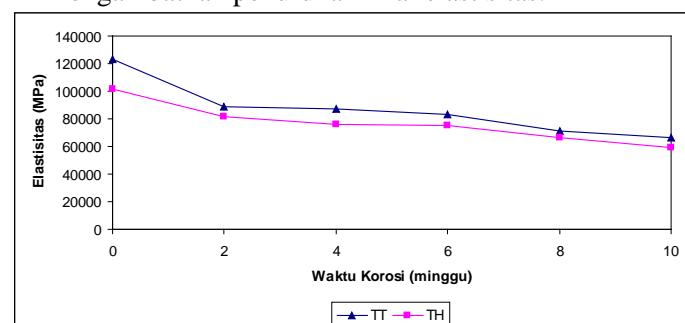
Untuk perhitungan elastisitas pipa pada air laut diperoleh data perhitungan pada Gambar 12. Hasil pengujian ANOVA dua arah untuk perhitungan elastisitas pipa air laut dapat dilihat pada Gambar 13. Dari hasil tersebut, maka kesimpulan yang bisa diambil adalah :

Rata-rata elastisitas untuk pipa tanpa takik adalah 86588,85 MPa dengan varians 3,99E+08 dan pipa takik horisontal adalah 76660,36 Mpa dengan varians 2,1E+08.

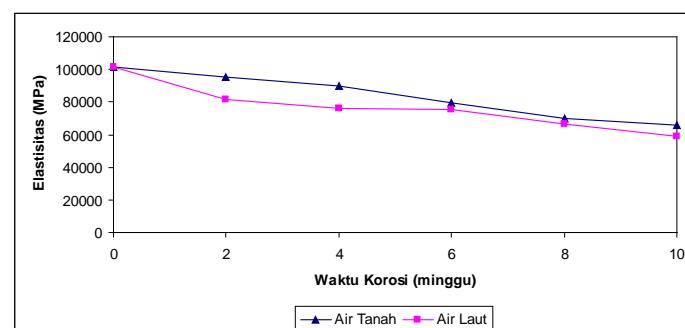
Rata-rata elastisitas untuk pipa dengan waktu korosi 0 minggu adalah 112125,9 dengan varians 24447013, 2 minggu adalah 85256,5 dengan varians 24447013, 4 minggu adalah 81645,95 dengan varians 62209915, 6 minggu adalah 79488,23 dengan varians 33423886, 8 minggu adalah 68505,2 dengan varians 10659082 dan 10 minggu adalah 62725,89 dengan varians 24760548.

Dari hasil perhitungan nilai F hitung untuk jenis takik (*rows*) diperoleh nilai F sebesar 15,91249 dengan nilai probabilitas (P) sebesar 0,010436 dan F kritis (F tabel) sebesar 6,607891. Dengan melihat hasil tersebut di mana nilai P lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ atau dengan membandingkan nilai F hitung (15,91249) yang lebih besar daripada F tabel (6,607891) dapat diambil kesimpulan untuk menolak H_0 . Kesimpulan yang diambil adalah bahwa elastisitas untuk setiap jenis takik adalah berbeda.

Dari hasil perhitungan F hitung untuk masing-masing waktu korosi (*columns*) diperoleh nilai F hitung sebesar 31,79783 dengan nilai P sebesar 0,000853 dan nilai F kritis atau F tabel sebesar 5,050329. Dengan hasil tersebut, dimana F hitung lebih besar dari F tabel ($31,79783 > 5,050329$) atau dengan melihat nilai P yang lebih kecil dari nilai α ($0,000853 < 0,05$), keputusan yang dapat diambil adalah menolak H_0 . Kesimpulannya adalah bahwa rata-rata elastisitas untuk masing-masing waktu korosi adalah berbeda.



Gambar 10. Elastisitas Pipa vs Waktu Korosi dengan Rendaman Air Laut



Gambar 11. Elastisitas Pipa Takik Horisontal vs Waktu

Pipa	Elastisitas					
	Normal	2 mg	4 mg	6 mg	8 mg	10 mg
Tanpa Takik	122923	88753	87223	83576	70814	66244
Takik Horisontal	101329	81760	76069	75400	66197	59207

Gambar 12. Elastisitas Pipa Rendaman Air Laut

Analisa Two-Factor

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Tanpa Takik	6	519533,1	86588,85	3,99E+08
Takik Horisontal	6	459962,2	76660,36	2,1E+08
Normal	2	224251,7	112125,9	2,33E+08
2 mg	2	170513	85256,5	24447013
4 mg	2	163291,9	81645,95	62209915
6 mg	2	158976,5	79488,23	33423886
8 mg	2	137010,4	68505,2	10659082
10 mg	2	125451,8	62725,89	24760548

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	2,96E+08	1	2,96E+08	15,91249	0,010436	6,607891
Columns	2,95E+09	5	5,91E+08	31,79783	0,000853	5,050329
Error	92922224	5	18584445			
Total	3,34E+09	11				

Gambar 13. Hasil ANOVA Elastisitas Pipa Rendaman Air Laut

Dari teori yang ada bahwa penurunan mutu logam, dalam hal ini korosi, sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan cacat yang terdapat pada material telah ditunjukkan pada hasil penelitian ini. Lamanya waktu korosi dan adanya takik sebagai pemicu terjadinya cacat pada pipa mempengaruhi ketahanan pipa baja karbon. Terlihat bahwa penurunan sifat-sifat mekanis pipa baja seiring dengan lamanya waktu korosi dan adanya takik horisontal pada pipa baja.

Selain itu dari semua hasil pengujian dengan analisis varian diperoleh kesimpulan yang sama, yaitu jika ditinjau dari jenis takik dan waktu korosi terdapat perbedaan untuk setiap nilai kekuatan tarik maksimum, faktor intensitas tegangan maksimum dan elastisitas untuk masing-masing fluida korosif. Artinya walaupun penurunan nilai-nilai dari sifat-sifat mekanis yang diperoleh dalam penelitian ini relatif sangat kecil, tetapi dari hasil analisis varian perbedaan tersebut dianggap cukup signifikan pada level kepercayaan 95%. Hal ini sekali lagi menunjukkan bahwa korosi yang terjadi pada pipa dipengaruhi oleh waktu korosi dan jenis takik.

Kesimpulan

1. Ketahanan pipa baja karbon mengalami penurunan berdasarkan nilai faktor intensitas tegangan maksimum pipa ($K_{t\max}$), yaitu nilai $K_{t\max}$ pada fluida air tanah maupun air laut yang lebih tinggi terdapat pada pipa tanpa takik dibanding pipa takik horisontal. Untuk nilai faktor intensitas tegangan maksimum pipa air tanah 10 minggu tanpa takik adalah $21,7424 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$ dan pipa takik horisontal adalah

$20,9827 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$, sedangkan nilai faktor intensitas tegangan maksimum pipa air laut 10 minggu tanpa takik adalah $20,6282 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$ dan pipa takik horisontal adalah $19,6154 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$.

2. Pembebanan dan fluida korosif memberikan pengaruh terhadap nilai kekuatan tarik maksimum, faktor intensitas tegangan maksimum dan elastisitas pipa baja karbon, yaitu penurunan nilai-nilai tersebut dalam fluida korosif. Dalam fluida air tanah 10 minggu untuk pipa tanpa takik, nilai kekuatan tarik maksimum adalah 350 MPa, faktor intensitas tegangan maksimum adalah $20,9827 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$, dan nilai elastisitas pipa adalah 72071 MPa. Dalam fluida air laut 10 minggu untuk pipa tanpa takik, nilai kekuatan tarik maksimum adalah 340,8889 MPa, faktor intensitas tegangan maksimum adalah $19,6154 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$, dan nilai elastisitas pipa adalah 66244 MPa.
3. Semakin lama waktu korosi maka sifat-sifat mekanis pipa baja karbon akan semakin menurun dengan perbedaan yang signifikan pada level kepercayaan 95% untuk masing-masing fluida korosif.

Nomenklatur

E	Elastisitas (Mpa)
K _t	Faktor intensitas tegangan ($\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$)
σ_m	Kekuatan tarik maksimum (MPa)
TH	Pipa takik horisontal
TT	Pipa tanpa takik

Referensi

- Basongan, Yosrihard. *Analisis Efek Gas Korosif terhadap Propagasi Retak Material Komposit Logam (Baja-Tembaga) untuk Bejana Tekan*. Thesis tidak diterbitkan. Makassar : Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin (2007).
- Callister, W.D. *Material Sience and Engineering*. New York (1994).
- Dieter, G. E. *Metalurgi Mekanik*. Edisi Ketiga. Jilid 2. Terjemahan oleh Sriati Djaprie. Jakarta : Erlangga (1986).
- Ekawati, Mahlina. *Analisis Kecepatan Propagasi Retak Pipa Distribusi Bahan Bakar Minyak Dalam Lingkungan Korosif*. Thesis tidak diterbitkan. Makassar : Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin (2007).
- Ewalds, H.L., Wanhill, R.J.H. *Fracture Mechanics*. Edward Arnold (Publishers) Ltd., London (1985).

Nybekken, J. W. Tanpa tahun. *Biologi Laut*. Edisi I.
Terjemahan oleh H. M. Eidmen. Jakarta : Gramedia.
(1988).

Raswari. *Perencanaan dan Penggambaran Sistem Perpipaan*. Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta
(1987).

R. Roberge, Pierre. *Pipeline Stress Corrosion Cracking*, (Online),
(<http://corrosion-doctors.org/Forms-SCC/scc-pipeline.htm>, diakses 24 Desember 2008) (1999).

Santosa, Purbayu Budi., Ashari. *Analisis Statistik dengan Microsoft Excel dan SPSS*. Andi Yogyakarta.
Yogyakarta (2005).

Suripin. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*.
Andi Yogyakarta. Yogyakarta (2004).

Van Vlack., Lawrence, H. *Ilmu Dan Teknologi Bahan*.
Terjemahan oleh Sriati Djaprie. Jakarta : Erlangga
(1991).

Widharto, Sri. *Karat dan Pencegahannya*, PT.
Pradnya Paramita. Jakarta (2001).