

Prediksi Laju Erosi Baja API 5L pada Pipa Siku Minyak dan Gas Menggunakan *Computational Fluid Dynamics*

Hendy Roesma Wardhana^{1*}, Atik Setyani², Sudaryanto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. Babarsari 2, Tambakbayan, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281

*Email: hendy.roesma@upnyk.ac.id
(+62 813-2950-0546)

Abstract

A large amount of oil and gas production needs to be followed by optimal pipeline maintenance. Most cases of pipe leaks are sudden in nature that able to cause losses over a long period of time. The gas consisting of sand particles able to increase erosion rate, especially at the pipe elbows. Cases of pipe leaks able to be prevented through routine inspections based on accurate erosion rate predictions. This study aims to predict the erosion rate of elbow piping systems using computational fluid simulations. The pipe material used is API 5L x60 and x70 steel. The simulation environment is arranged in such a way as to the reality on the oil and gas field. Methane gas containing sand particles with a hardness of 1100 HV is applied to this simulation. The simulation results prove that there is a relationship between the erosion rate, pipe hardness, and impact angle.

Keywords: Erosion Rate Predictions, Elbow Pipe, and Hardness Pipe

Abstrak

Besarnya produksi minyak dan gas perlu diikuti dengan perawatan perpipaan yang optimal. Kebanyakan kasus kebocoran pipa bersifat secara mendadak sehingga mampu membuat kerugian dalam kurun waktu yang cukup lama. Kandungan gas yang terdiri dari partikel pasir dapat menstimulus laju erosi khususnya pada bagian siku pipa. Kasus kebocoran pipa dapat dicegah melalui inspeksi rutin yang berlandaskan prediksi laju erosi yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi laju erosi sistem perpipaan siku menggunakan simulasi *computational fluid dynamics*. Material pipa yang digunakan adalah baja API 5L x60 dan x70. Lingkungan simulasi diatur sedemikian rupa dengan kenyataan di lapangan. Gas metana dengan kandungan partikel pasir dengan kekerasan 1100 HV diterapkan pada simulasi ini. Hasil simulasi membuktikan bahwa terdapat hubungan antara laju erosi, kekerasan pipa, dan sudut impact.

Kata kunci: Prediksi Laju Erosi, Pipa Siku, dan Kekerasan Pipa

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara produsen gas terbesar di dunia dengan total produksi sejumlah 75 milyar m³ (Lestari dkk., 2019). Produksi gas yang tinggi perlu diikuti oleh perawatan sistem perpipaan yang optimal. Kebocoran sistem perpipaan merupakan ancaman besar pada industri minyak dan gas karena adanya kandungan partikel pasir di dalam gas. Berdasarkan studi analisis kegagalan pipa, kebocoran pada sistem perpipaan

diakibatkan karena adanya gesekan antara dinding pipa dengan partikel pasir yang terbawa oleh cairan gas di dalam pipa pada jangka waktu yang lama (Abduljabbar dkk., 2022). Lebih tingginya nilai kekerasan pasir dibanding nilai kekerasan pipa menyebabkan dinding pipa mudah terkelupas sehingga terjadi kebocoran. Pembahasan mengenai laju erosi pada perpipaan masih menjadi topik yang relevan dibicarakan karena kasus tersebut masih sering terjadi. Sebuah

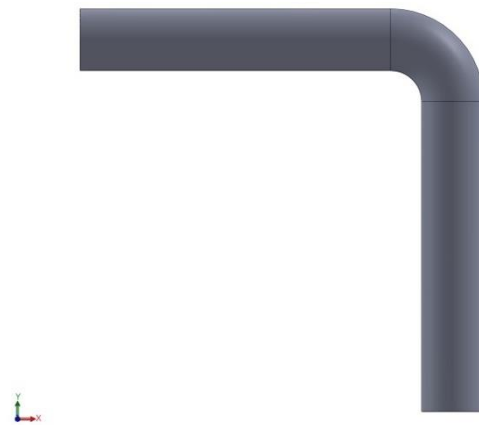
penelitian yang membahas tentang prediksi laju erosi pada sistem perpipaan dilakukan untuk menanggulangi kasus erosi pipa agar kebocoran dapat ditentukan sebelum waktunya.

Berdasarkan studi perpipaan yang dilakukan oleh Mohtadi-Bonab, melaporkan bahwa penggunaan pipa migas sering menggunakan spesifikasi material API 5L x60 dan x70 (Mohtadi-Bonab dkk., 2013). Material tersebut dipilih karena memiliki ketahanan korosi yang cukup baik terhadap zat yang digunakan dalam produksi minyak dan gas. Namun demikian, pipa material tersebut masih perlu diinvestigasi lebih lanjut mengenai ketahanan erosinya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhao mengenai pipa API 5L x60 dan x70, menjelaskan bahwa erosi pada perpipaan biasanya terjadi pada bagian siku pipa *elbow* sehingga pada bagian tersebut rawan terjadi kebocoran. Penelitian itu juga diperkuat dengan analisis kegagalan pipa, yang menjelaskan bahwa pipa pada bagian siku akan mengalami benturan dengan membentuk sudut 90° , sehingga mengakibatkan penggerusan yang semakin lama menjadi semakin dalam (Zhao dkk., 2022). Berdasarkan beberapa penelitian mengenai fenomena erosi pada sistem perpipaan minyak dan gas dengan material API 5L x60 dan x70, maka masih diperlukan investigasi terhadap laju erosi pada sistem perpipaan tersebut (Karimi dkk., 2017). Prediksi laju erosi dapat menjadi lebih akurat dengan menggunakan pendekatan matematis agar dapat digunakan sebagai rujukan yang terukur.

Keterbaharuan penelitian ini adalah melakukan prediksi laju erosi material API 5L x60 dan x70 pada industri minyak dan gas dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan dengan menggunakan prinsip dasar persamaan erosi Oka pada pipa 90° dengan menyesuaikan lingkungan gas metana dan kandungan pasir di dalamnya. Penelitian ini berguna bagi industri minyak dan gas dalam menentukan laju erosi pipa untuk dijadikan dasar pertimbangan dalam perlakuan pipa sehingga kebocoran dapat dicegah tepat pada waktunya.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini, desain pipa dibuat dengan membentuk siku sebesar 90° , untuk memperkuat analisis laju erosi pada pipa *elbow*, desain pipa yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

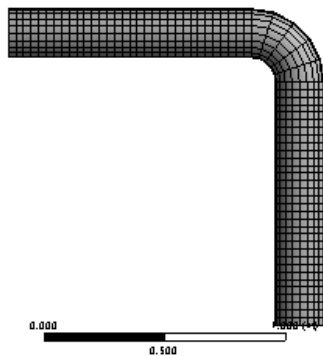


Gambar 1 Desain pipa *elbow*

Ukuran komponen pipa pada kedua variasi material yaitu API 5L x60 dan x70, menggunakan desain pipa yang sama. Diameter pipa dibentuk dengan ukuran 20 cm, sedangkan panjang pipa

sebelum dan sesudah melewati *elbow* dirancang dengan panjang masing-masing sebesar 100 cm.

Meshing yang digunakan pada penelitian ini berkisar pada ukuran 0,30208 m². Bentuk *meshing* diatur dengan bentuk persegi seperti yang tertera pada Gambar 2.



Gambar 2 *Meshing* pipa

Besar kecilnya ukuran *meshing* menentukan tingkat kebenaran dari sebuah simulasi, semakin kecil ukuran *meshing* maka hasil analisis gambar dan angka menjadi lebih akurat. Namun demikian, apabila ukuran *meshing* lebih

kecil dibanding ukuran partikel simulasi maka simulasi dapat mengalami *error*.

Simulasi pada penelitian ini dibuat dengan menyerupai fenomena asli di dalam sistem perpipaan minyak dan gas. Lingkungan simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

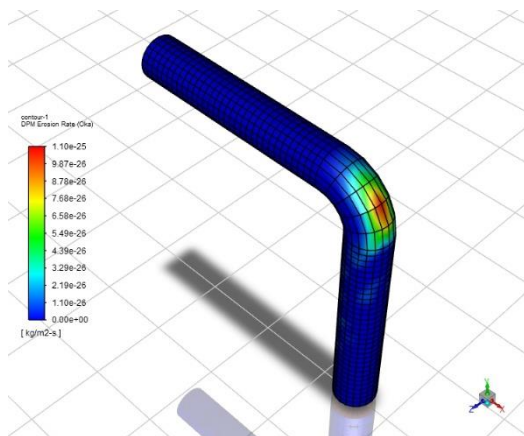
Kondisi simulasi erosi pada pipa material API 5L x60 dan x70 diatur dengan kondisi lingkungan yang sama. Simulasi perpipaan menggunakan gas metana sebagai gas pembawa partikel erosif dengan kecepatan aliran sebesar 3,62 m/s (Parsi dkk., 2014). Partikel erosif disimulasikan menggunakan pasir pengotor dengan densitas sebesar 2650 kg/m³ dan memiliki kekerasan sebesar 1100 HV (Ali, 2013). Pengaturan kekerasan material API 5L x60 dan x70 disesuaikan dengan sebuah studi perpipaan yang membahas tentang fenomena *cracking* akibat adanya unsur hidrogen (Mohtadi-Bonab dkk., 2013).

Tabel 1 Pengaturan kondisi simulasi

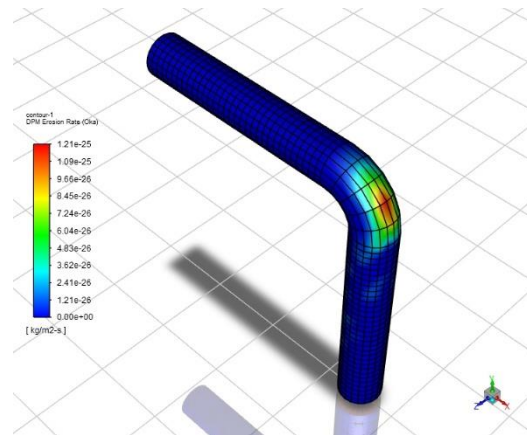
Aspek Pengaturan	Keterangan
Viskositas	<i>k-epsilon (2 eqn)</i>
Interaksi Fasa	<i>Intercation with continuous phase</i>
Diameter Partikel	0,0002 m
Kecepatan Aliran	3,62 m/s
Total Laju Aliran	1 x 10 ⁻² kg/s
Densitas Gas Metana	0,6679 kg/m ³
Viskositas Gas Metana	1,087 x 10 ⁻⁵ kg/ms
Densitas Baja API 5L	8.030 kg/m ³
Densitas Pasir Pengotor	2.650 kg/m ³
Kekerasan API 5L X60	190 HV atau 1,863 GPa
Kekerasan API 5L X70	225 HV atau 2,207 GPa
Persamaan	<i>Oka Erosion</i>

Hasil dan Pembahasan

Laju erosi dibahas dengan memperhatikan sifat material seperti kekerasan. Hubungan antara sifat material dan laju erosi didalami dengan menggunakan persamaan simulasi. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam simulasi laju erosi adalah kekerasan pipa, kecepatan aliran gas, diameter partikel, luas permukaan objek, dan sudut impact partikel. Khusus sudut impact partikel, setiap material memiliki respon erosi yang berbeda ketika dikenai partikel erosif. Pada penelitian ini, sudut impact dibuat sama yaitu 90° pada kedua material baja API 5L. Hasil percobaan simulasi erosi perpipaan menggunakan *computational fluid dynamics* pada pipa baja API 5L x60 dan x70 masing-masing ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Kontur erosi pada pipa baja API 5L X60



Gambar 4 Kontur erosi pada pipa baja API 5L X70

Berdasarkan data yang tertera pada Gambar 3 dan 4, setiap variasi lapisan memiliki persebaran kontur warna yang relatif sama. Namun, pipa baja API 5L x70 menunjukkan kontur warna merah yang lebih luas dibanding baja API 5L x60. Semua pusat kontur warna berada di siku perpipaan, Hal tersebut menandakan bahwa fenomena erosi pada pipa baja API 5L x70 lebih mudah terjadi dibanding pada pipa baja API 5L x60 dan bersifat mengikis di permukaan. Kedua pipa memiliki persebaran kontur warna yang berbeda, yang dipengaruhi oleh nilai erosi yang didapatkan dari program simulasi. Nilai maksimum laju erosi pada pipa *elbow* material baja API 5L x60 dan API 5L x70 masing-masing bernilai $1,10 \times 10^{-25} \text{ kg/m}^2\text{s}$ dan $1,21 \times 10^{-25} \text{ kg/m}^2\text{s}$.

Lokasi dan laju erosi utamanya dipengaruhi oleh gerakan aliran yang terbentuk di dalam pipa. Pada studi yang dilakukan oleh Liu yang membahas tentang bentuk aliran di dalam pipa *elbow*, menjelaskan bahwa pada bagian siku pipa aliran akan cenderung berputar dan mengalami gaya sentrifugal sehingga kecepatan aliran di bagian

dinding pipa *elbow* meningkat secara signifikan. Fenomena tersebut bersifat konsisten sehingga dinding siku mengalami kerusakan mekanis dan laju erosi yang lebih besar seiring dengan penambahan kecepatan aliran gas (Liu dkk., 2017). Mekanisme erosi pada sudut 90° berjalan secara bertahap dari bagian terluar kemudian masuk ke bagian dalam lapisan. Fenomena tersebut dipengaruhi oleh faktor ketangguhan retak (Ding dkk., 2018). Apabila ditinjau berdasarkan penelitian mengenai hubungan antara kekerasan material dengan ketangguhan retak, material yang memiliki kekerasan tinggi cenderung memiliki ketangguhan retak yang rendah sehingga penjalaran retak dapat bergerak secara cepat (Niihara dkk., 1982). Berdasarkan teori tersebut, material yang memiliki permukaan yang keras akan lebih cepat mengalami abrasi pada pipa *elbow* karena membentuk sudut 90°.

Kesimpulan

Simulasi erosi pada pipa baja API 5L x60 dan x70 menggunakan metode *computational fluid dynamics* telah berhasil dilakukan. Pipa baja disimulasikan dalam bentuk *elbow* sehingga membentuk sudut impak partikel erosi sebesar 90°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pipa baja API 5L x70 lebih mudah mengalami erosi meskipun nilai kekerasannya lebih tinggi dibanding pipa baja API 5L x60. Kontur erosi juga menunjukkan bahwa pipa baja API 5L x70 mengalami perluasan erosi yang lebih besar dibanding pipa baja API 5L x60.

Daftar Pustaka

- Abduljabbar, A., Mohyaldinn, M. E., Younis, O., Alghurabi, A., & Alakbari, F. S. (2022). Erosion of sand screens by solid particles: a review of experimental investigations. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 1-17.
- Ali, A. A.-H. (2013). An Investigation to the Abrasive Wear in Pipes Used for Oil Industry. *Journal of Engineering*, 19(11).
- Ding, X., Cheng, X.-D., Shi, J., Li, C., Yuan, C.-Q., & Ding, Z.-X. (2018). Influence of WC size and HVOF process on erosion wear performance of WC-10Co4Cr coatings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96(5), 1615-1624.
- Karimi, S., Shirazi, S. A., & McLaury, B. S. (2017). Predicting fine particle erosion utilizing computational fluid dynamics. *Wear*, 376, 1130-1137.
- Lestari, S. N., & Diandra, N. (2019). Perlindungan Pengguna Gas Bumi Atas Kebocoran Pipa Penyalur Milik PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk. *Diponegoro Private Law Review*, 4(1).
- Liu, J., BaKeDaShi, W., Li, Z., Xu, Y., Ji, W., Zhang, C., . . . Zhang, R. (2017). Effect of flow velocity on erosion–corrosion of 90-degree horizontal elbow. *Wear*, 376, 516-525.
- Mohtadi-Bonab, M., Szpunar, J., & Razavi-Tousi, S. (2013). A comparative study of hydrogen induced cracking behavior in API 5L X60 and X70 pipeline steels. *Engineering Failure Analysis*, 33, 163-175.

- Niihara, K., Morena, R., & Hasselman, D. (1982). Evaluation of K_{Ic} of brittle solids by the indentation method with low crack-to-indent ratios. *Journal of materials science letters*, 1(1), 13-16.
- Parsi, M., Najmi, K., Najafifard, F., Hassani, S., McLaury, B. S., & Shirazi, S. A. (2014). A comprehensive review of solid particle erosion modeling for oil and gas wells and pipelines applications. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 21, 850-873.
- Zhao, X., Cao, X., Xie, Z., Cao, H., Wu, C., & Bian, J. (2022). Numerical study on the particle erosion of elbows mounted in series in the gas-solid flow. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 99, 104423.