

ANALISA KEGAGALAN DRILL PIPE BERDASARKAN ASPEK PEMBEBANAN DI RIG PDSI#42.3/N1500-E

Zulmahendra¹, Rozi Saferi²

2023110086.zulmahendra@itp.ac.id¹

Institut Teknologi Padang

ABSTRACT

Drill pipe failure is a crucial issue in the oil and gas drilling industry, particularly in directional and horizontal drilling operations. This study aims to analyze the failure of drill pipes under various loading conditions at Rig PDSI#42.3/N1500-E. The investigation includes an assessment of mechanical properties, material composition, and structural integrity based on API 5DP standards. The research utilizes laboratory testing, including tensile testing, impact testing and hardness testing. The results indicate that the drill pipe failure is primarily attributed to intergranular brittle fracture caused by a combination of tensile stress, high-temperature exposure, and extreme pressure conditions. The findings reveal that while the material conforms to API 5DP Grade G105 specifications, localized embrittlement occurs in the fracture area, weakening the grain boundaries and leading to structural failure. Von Mises stress analysis further supports the failure mechanism, demonstrating that excessive tensile loads contributed significantly to the pipe's degradation. To mitigate similar failures, it is recommended that drill pipes undergo predictive maintenance through regular inspection cycles before exceeding the 1,500-hour operational threshold. Additionally, optimizing material selection with higher resistance to high-pressure and high-temperature conditions can enhance the durability of drill pipes in extreme environments. Future research should integrate numerical simulations with real-time monitoring techniques to develop a more robust failure prediction model.

Keywords: Failure Drill Pipe, Drill Pipe, Drilling Oil, Tensile Stress, API 5DP, Intergranular Brittle Cracking, Structural Reliability.

PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi merupakan sektor yang sangat bergantung pada keandalan peralatan pengeboran, khususnya pipa bor (drill pipe) yang berfungsi sebagai penghubung antara rig pengeboran dengan sumur pengeboran, dan dirancang untuk menahan tekanan dan gesekan yang tinggi selama operasi pengeboran. Kegagalan pipa bor dapat menyebabkan gangguan operasional yang signifikan, meningkatkan biaya produksi, serta menimbulkan risiko kecelakaan kerja. Salah satu permasalahan utama dalam industri pengeboran adalah kegagalan struktural pipa bor akibat kombinasi beban mekanis, tekanan tinggi, dan lingkungan kerja yang ekstrem. Oleh karena itu, penelitian mengenai faktor penyebab kegagalan pipa bor menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan kerja di industri pengeboran.

Rig PDSI#42.3/N1500-E merupakan salah satu fasilitas pengeboran yang mengalami permasalahan kegagalan pipa bor dalam operasi pengeboran berarah (directional drilling). Kegagalan ini dapat terjadi akibat beban tarik yang berlebihan, kelelahan material (fatigue failure), serta kondisi lingkungan yang menyebabkan retak getas intergranular pada material pipa. Berdasarkan standar API 5DP, pipa bor seharusnya memiliki ketahanan optimal terhadap kondisi pengeboran ekstrem, namun dalam beberapa kasus, pipa mengalami kegagalan lebih cepat dari batas umur operasionalnya. Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam untuk mengidentifikasi mekanisme kegagalan serta faktor-faktor utama yang mempengaruhi degradasi material.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kegagalan pipa bor di Rig PDSI#42.3/N1500-E melalui pendekatan eksperimen dan simulasi numerik. Pengujian

laboratorium yang dilakukan meliputi uji tarik, uji impak dan uji kekerasan. Selain itu, analisis tegangan menggunakan metode Von Mises stress analysis diterapkan untuk mengidentifikasi distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada pipa bor. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan serta strategi mitigasi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keandalan pipa bor.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi predictive maintenance untuk mencegah kegagalan prematur pada pipa bor. Selain itu, hasil analisis ini juga dapat digunakan sebagai referensi dalam optimasi desain dan pemilihan material yang lebih tahan terhadap kondisi operasional ekstrem, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam industri pengeboran minyak dan gas bumi.

METODOLOGI

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap utama, yaitu studi literatur, pengambilan dan persiapan sampel, pengujian mekanis, analisis tegangan dan interpretasi hasil. Berikut adalah tahapan penelitian yang digunakan:

1. Studi Literatur

Mengkaji referensi dari jurnal internasional, standar industri API 5DP, serta penelitian terdahulu terkait kegagalan pipa bor.

Mengidentifikasi faktor utama yang mempengaruhi ketahanan mekanis pipa bor dalam pengeboran berarah (directional drilling).

2. Pengambilan dan Persiapan Sampel

Sampel pipa bor yang mengalami kegagalan di Rig PDSI#42.3/N1500-E dikumpulkan untuk dianalisis.

Dalam penelitian ini data yang diperlukan diperoleh dari Rig PDSI#42.3/N1500-E, yang merupakan data drill pipe yang rusak/ patah.

3. Pengujian Mekanis

- a. Uji Tarik (Tensile Test): Menggunakan standar ASTM E8/E8M untuk mengetahui sifat mekanis material dan batas elastisitas sebelum terjadi kegagalan.
- b. Uji Impak (Impact Test): Menggunakan metode Charpy V-Notch untuk mengukur ketangguhan material terhadap beban kejut.
- c. Uji Kekerasan (Hardness Test): Dilakukan menggunakan metode Rockwell atau Vickers guna mengidentifikasi distribusi kekerasan material.

4. Analisis Tegangan Menggunakan Simulasi Numerik

- a. Simulasi berbasis Finite Element Analysis (FEA) dilakukan untuk memahami distribusi tegangan dan titik kritis kegagalan pada pipa bor.
- b. Analisis Von Mises Stress digunakan untuk mengevaluasi bagaimana beban tarik, tekanan internal, dan beban puntir memengaruhi kegagalan struktural.

5. Interpretasi Hasil dan Rekomendasi

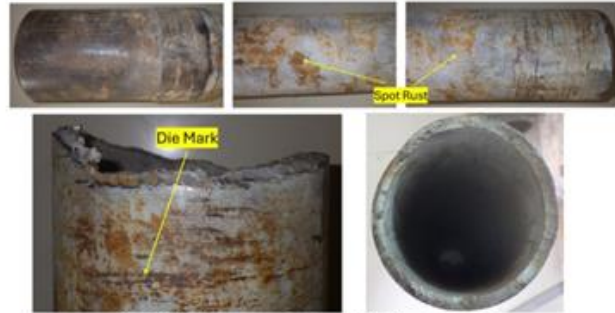
Data dari pengujian laboratorium dan simulasi numerik dibandingkan untuk mengidentifikasi hubungan antara kondisi operasional dan mekanisme kegagalan.

Hasil penelitian digunakan untuk merekomendasikan strategi predictive maintenance, optimasi material, dan perbaikan desain pipa bor guna meningkatkan ketahanan terhadap kegagalan mekanis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Visual

PT Pertamina Drilling Services Indonesia mengirimkan sampel berupa drill pipe yang patah. Investigasi ini bertujuan untuk menganalisis penyebab utama kegagalan drill pipe sebagai bagian dari analisis akar penyebab (root cause analysis). Hasil pengamatan visual terhadap patahan pada Drill Pipe A dan B ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 1. Hasil pengamatan visual sampel drill pipe A (patahan A)



Gambar 2. Pengamatan visual sampel drill pipe B (Patahan B)

Pengamatan menunjukkan bahwa kedua patahan memiliki karakteristik yang serupa, dengan tanda-tanda korosi terlokalisasi berupa bintik-bintik halus serta pola korosi menyerupai pulau-pulau. Selain itu, terdapat jejak die mark yang cukup dalam, yang dihasilkan dari proses penjepitan dan slip selama operasi pengeboran.

Tabel 2. Komposisi kimia dari sampel Drill Pipe

Sampel Code	Element (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
Drill Pipe A	0.222	0.266	1.12	0.014	0.015	0.97	0.178	97.1
Drill Pipe B	0.234	0.266	1.132	0.014	0.015	0.971	0.178	97.08
Drill Pipe C	0.213	0.259	1.116	0.013	0.014	0.938	0.164	97.16
API 5DP Grade G	-	-	-	Max 0.020	Max 0.015	-	-	-

Gambar 3 menunjukkan Drill Pipe C yang tidak mengalami patahan tetapi memiliki lubang kecil pada area hard facing. Pitting ini cukup dalam dan berpotensi menjadi titik inisiasi retak akibat lingkungan korosif.



Gambar 3. Kondisi Drill Pipe C yang memiliki lubang pada area hard facing.

Analisa Sifat Mekanik Material Drill Pipe

Pengujian laboratorium meliputi uji tarik, uji komposisi kimia, uji kekerasan dan uji impak Tabel 1 menunjukkan rencana pengujian laboratorium yang dilakukan pada masing-masing sampel drill pipe.

Tabel 1. Rencana Pengujian Laboratorium Pada Drill Pipe				
No.	Testing	Drill Pipe A	Drill Pipe B	Drill Pipe C
1	Uni Tarik	3 sampel	3 sampel	3 sampel
2	Uji Komposisi	1 sampel	1 sampel	1 sampel
3	Uji Kekerasan	1 sampel	1 sampel	1 sampel
4	Uji Impak	3 sampel	3 sampel	3 sampel

1. Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia dilakukan menggunakan Optical Emission Spectrometry (OES) berdasarkan standar ASTM A751 dan ASTM E415. Tabel 2 menunjukkan hasil uji komposisi dibandingkan dengan standar API 5DP.

Tabel 4. Hasil Uji Impak dengan Metode Charpy pada temperatur ruang

Sample Code	Average Absorbed Energy (Joule)	Keterangan
Drill Pipe A	124	RT
Drill Pipe B	122	RT
Drill Pipe C	119	RT
API 5DP Grade G	Min 43	RT

RT: room temperature

2. Analisa Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell (HRC) sesuai dengan ASTM E18. Tabel 3 menunjukkan hasil uji kekerasan.

Tabel 3. Hasil uji keras dari sampel Drill Pipe

Sample Code	Hardness (HRC)
Drill Pipe A	28
Drill Pipe B	28
Drill Pipe C	27
API 5DP Grade G	n/a

3. Uji Impak

Sebanyak 3 specimen dari masing-masing sampel drill pipe dilakukan pengujian kemudian hasil uji impak dirata-ratakan. Tabel 4 berikut berisi hasil uji impak rata-rata dari ketiga sampel drill pipe.

4. Uji Tarik

Pada Table 5 pengujian tarik dilakukan pada ketiga drill pipe dengan masing-masing tiga sampel dimana hasilnya kemudian dirata-ratakan. Hasil pengujiannya kemudian dibandingkan dengan standard API 5DP. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kesembilan nilai memenuhi standar API 5 DP Grade G. Nilai Yield Strength masih dalam batas standart yakni diangka 730 MPa – 930 Mpa. Sedangkan nilai Tensile Strength juga diatas nilai min 790 MPa.

Tabel 5. Sifat tarik dari sampel Drill Pipe

Sample Code	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Standard Elongation*
Drill Pipe A	841	914	21	11
Drill Pipe B	827	909	20	11
Drill Pipe C	831	908	20	11
API 5DP Grade G	730-930	Min 790	Min*	-

*) Elongasi diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Hasil Pengujian

1. Material

Sample drill pipe yang mengalami kegagalan merupakan drill pipe dengan kode yang tertera di dalam certificate of conformity (COC) sebagai berikut ini.

COMMODITY: Drill Pipe

STANDARD: API Spec 5DP Eff. May 2020.

DESCRIPTION: 5"x19.50PPF x G x IEU x 9.0-9.1M, NC50

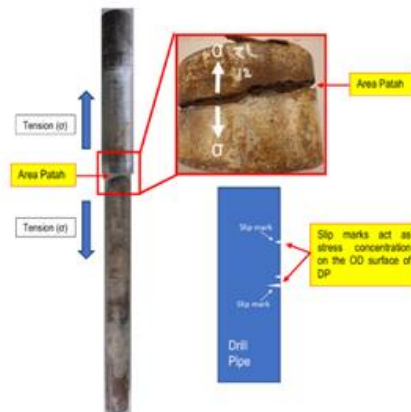
Gambar 4. certificate of conformity (COC)

Berdasarkan kode pada COC tersebut maka material Drill Pipe tergolong kepada Grade G. Berdasarkan hasil dari pengujian laboratorium dan dibandingkan dengan persyaratan yang ada di standard API 5DP untuk Grade G, maka diketahui bahwa material Drill Pipe 5" yang patah memenuhi persyaratan yang sudah distandarkan.

Berdasarkan komposisi kimia dan kekuatan mekanisnya, maka material drill pipe digolongkan kepada high strength alloy. Aplikasi material ini sudah sesuai untuk pengeboran yang membutuhkan material dengan kekuatan dan ketangguhan yang baik.

2. Mekanisme Kerusakan

Berdasarkan hasil pengamatan visual dan uji mekanis, kegagalan drill pipe kemungkinan besar disebabkan oleh kombinasi tegangan tarik berlebih, korosi lingkungan, temperature dan tekanan dalam sumur serta kelelahan material (fatigue failure).



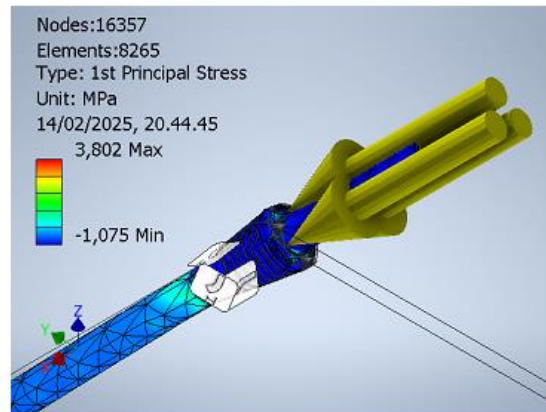
Gambar 5. Ilustrasi tegangan tarik (tension) yang terjadi dan pengaruh slip mark sebagai titik konsentrasi tegangan.

3. Von Miss Stress

Analisis tegangan Von Mises dilakukan menggunakan metode elemen hingga (FEA) untuk mengevaluasi distribusi tegangan maksimum. Gambar 6, 7, 8, 9 dan 10 menunjukkan hasil simulasi.

Analisis tegangan utama pertama (1st Principal Stress), yaitu salah satu tegangan utama yang menunjukkan kondisi tarik atau tekan terbesar dalam material. Satuan Megapascal (MPa), yang menunjukkan besarnya tegangan dalam struktur. Nilai Maksimum 3,802 MPa (ditunjukkan dengan warna merah/oranye, daerah dengan tegangan tertinggi). Nilai Minimum -1,075 MPa (ditunjukkan dengan warna biru, daerah dengan tegangan terendah).

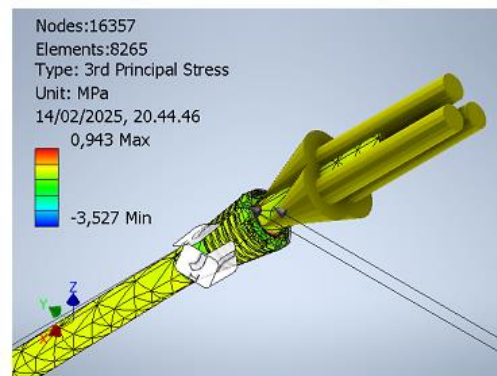
Warna merah/oranye menandakan area dengan tegangan tinggi (bisa jadi berisiko mengalami kegagalan jika terlalu tinggi). Warna biru menandakan area dengan tegangan rendah atau tekan. Struktur hijau dan biru menunjukkan model yang dianalisis, termasuk bagian utama dan sambungan seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. menunjukkan hasil analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga (FEA).

Analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga (FEA), khususnya Tegangan Utama Ketiga (3rd Principal Stress). Ini adalah tegangan utama dengan nilai terkecil. Biasanya menunjukkan tegangan tekan maksimum dalam suatu material. Jika nilainya terlalu besar dalam arah negatif, material bisa mengalami kerusakan akibat retak tekan. Tegangan Maksimum 0,943 MPa (zona merah, biasanya area tarik). Tegangan Minimum -3,527 MPa (zona biru, menunjukkan tekanan tertinggi).

Material utama (hijau-kuning) mengalami distribusi tegangan yang bisa diamati melalui skala warna. Tegangan tekan yang tinggi (warna biru) bisa menjadi titik lemah pada desain, sehingga perlu diperiksa apakah material cukup kuat menahannya seperti ditunjukkan oleh gambar 7.

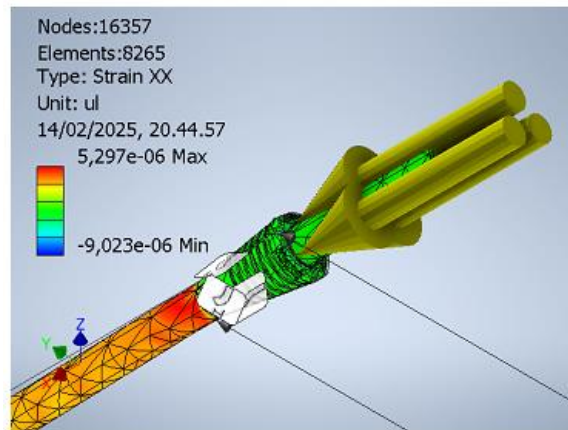


Gambar 7. menunjukkan analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga (FEA), khususnya Tegangan Utama Ketiga (3rd Principal Stress).

Analisis Strain XX, yang merupakan regangan dalam arah sumbu X pada suatu struktur. Regangan adalah perubahan bentuk material akibat gaya yang bekerja padanya. Nilainya positif berarti material mengalami perenggangan (tensile strain). Nilainya negatif berarti material mengalami penekanan (compressive strain).

Gambar ini menunjukkan Strain Maksimum: 5,297e-06 (zona merah, menunjukkan regangan tertinggi atau peregangannya). Strain Minimum: -9,023e-06 (zona biru, menunjukkan kompresi tertinggi). Warna merah/oranye menunjukkan bagian yang mengalami tarikan. Warna biru/hijau menunjukkan bagian yang mengalami tekanan. Model menunjukkan area tertentu yang mungkin mengalami perubahan bentuk akibat beban.

Analisis ini membantu memahami bagaimana struktur meregang atau menyusut di sepanjang sumbu X. Jika regangan terlalu besar, bisa menyebabkan deformasi atau bahkan kegagalan material. Desain mungkin perlu diperkuat atau material yang lebih fleksibel digunakan untuk menghindari kerusakan seperti ditunjukkan pada gambar 8.

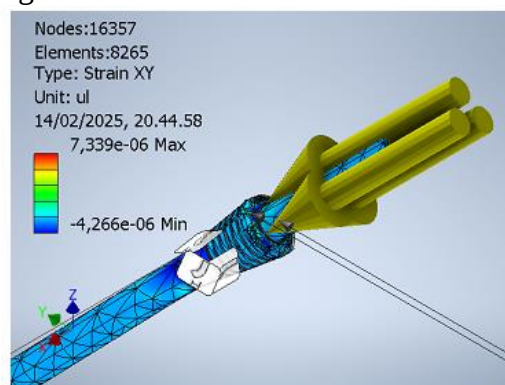


Gambar 8. Analisis Strain XX, yang merupakan regangan dalam arah sumbu X pada suatu struktur.

Analisis Strain XY seperti pada gambar 4.10, yaitu regangan geser dalam arah sumbu X dan Y pada struktur. Ini adalah regangan geser (shear strain), yaitu perubahan bentuk yang terjadi akibat gaya yang bekerja dalam arah diagonal atau miring pada struktur. Berbeda dengan strain normal (XX, YY, atau ZZ) yang terjadi dalam satu arah, strain XY menggambarkan bagaimana material berubah bentuk akibat kombinasi gaya di sumbu X dan Y.

Strain Maksimum $7,339 \times 10^{-6}$ (zona merah, menunjukkan daerah dengan regangan geser tertinggi). Strain Minimum: $-4,266 \times 10^{-6}$ (zona biru, menunjukkan daerah dengan tekanan geser tertinggi). Warna biru/hijau menandakan area dengan regangan geser rendah. Warna merah/oranye menunjukkan area dengan regangan geser tinggi, yang bisa menjadi titik lemah struktur.

Analisis ini membantu memahami bagian mana dari struktur yang mengalami pergeseran bentuk akibat gaya geser. Jika nilai strain terlalu besar, material bisa mengalami deformasi atau bahkan kegagalan akibat geseran berlebihan. Desain mungkin perlu diperkuat untuk mengurangi risiko ini.



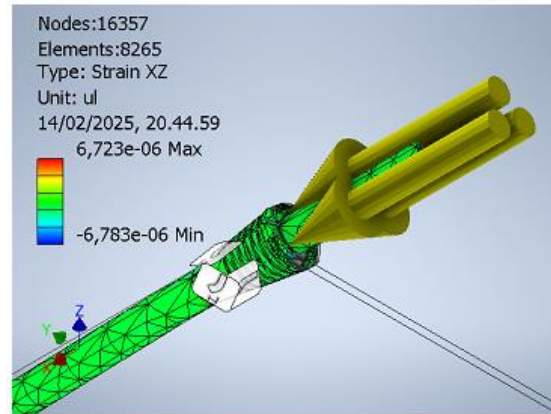
Gambar 9. menunjukkan analisis Strain XY

Analisis Strain XZ, yaitu regangan geser dalam arah sumbu X dan Z pada struktur. Strain XZ adalah regangan geser yang terjadi akibat gaya yang bekerja dalam arah sumbu X dan Z secara bersamaan. Ini menunjukkan bagaimana material mengalami pergeseran bentuk akibat beban yang diterapkan pada struktur dalam bidang XZ.

Strain Maksimum $6,723 \times 10^{-6}$ (zona merah, menunjukkan daerah dengan regangan geser tertinggi). Strain Minimum $-6,783 \times 10^{-6}$ (zona biru, menunjukkan daerah dengan tekanan geser tertinggi). Warna hijau mendominasi, menunjukkan sebagian besar struktur mengalami regangan geser dalam batas yang relatif rendah. Area berwarna merah atau biru

bisa menjadi perhatian karena mengalami gaya geser lebih besar.

Analisis ini membantu memahami bagaimana material akan berubah bentuk akibat gaya geser dalam bidang XZ. Jika nilai strain terlalu besar, bisa menyebabkan deformasi atau kegagalan struktural. Jika area tertentu mengalami regangan geser tinggi, maka perlu diperiksa apakah desainnya cukup kuat atau butuh modifikasi seperti diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 10. menunjukkan analisis Strain XZ.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis yang telah dilakukan terhadap sampel Drill Pipe berukuran 5 inci, dapat disimpulkan bahwa material tersebut memenuhi spesifikasi Grade G105 sesuai dengan standar API 5DP. Pengujian tarik dan impak Charpy menunjukkan bahwa material memiliki ketangguhan yang baik dan tidak menunjukkan sifat getas secara keseluruhan. Namun, kegagalan yang terjadi pada drill pipe tersebut disebabkan oleh kombinasi beban tarik, suhu tinggi, dan tekanan dalam sumur yang memicu terjadinya patah getas intergranular. Analisis tegangan menggunakan metode Von Mises memberikan pemahaman mendalam mengenai distribusi beban yang berkontribusi terhadap kegagalan tersebut. Temuan ini menekankan pentingnya mempertimbangkan kondisi operasional ekstrem dalam desain dan pemeliharaan drill pipe untuk mencegah kegagalan serupa di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Analisis Kegagalan Drill Pipe (2024), No. Laporan: KM 33/FA/DLR/CMPFA/2024
- Azar, J. J. (1992). *Drilling Engineering*. (1st ed.). Tulsa, OK: PennWell Publishing Company.
- Canadian Association of Oil Well Drilling Contractors, *SI Drilling Manual*, Gulf Publishing Company, Houston. Ebook Version, (2000), IADC Drilling Manual, Houston, USA
- Ebook Version (2015), *ANSI/API RP 7G Recommended Practice For Inspection And Classification Of Used Drill Stem Elements*, Wanshington D.C., USA
- Ebook Version (2015), *ANSI/API Spec 5DP Spesification For Drill Pipe*, Api Publishing Services, Wanshington D.C., USA
- Johanscik, C. A, Dawson, R. ,1 984, "Torque and Drag in Directional Well Prediction and Measurement", *Directional Drilling* No.30, SPE Reprint Series.
- Joko,S., (2005), "Identifikasi Spesifikasi Drill Pipe Pada Diklat Operator Pemboran Dengan Mengoptimalisasi Sarana Praktek di Pusdiklat Migas".
- Me Millian, W., 1990, "Planning the Directional Well-A Calculation Method", *Directional Drilling* No 33, SPE Reprint series, Richardson TX, USA.
- Nawangside, D. dan Yanfidra, 1993, *Evaluasi Torsi dan Drag Pada Rangkaian Pemboran Horizontal Long Radius*, Jurusan Tekrrik Perminyakan ITB, Bandung.
- O'connor, P. D. T., 1991, *Practical*

- Reliability Engineering, John Willey & Sons Ltd, Chicester.
- Popov, E. P., 1991, Mekanika Teknik, Jakarta, Erlangga.
- Ramakumar, R. , 1993, Engineering Reliability Fundamental and Applications, Prentice-all International Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Rosyid, D. M., 1996, Analisa Keandalan dan Resiko, Jurusan Teknik Kelautan FTK- ITS, Surabaya.
- Schuh, F. J, 1991 , "Horizontal Well Planning-Build Curve Design", Horizontal Drilling No 30, SPE Reprint series, Richardson TX, USA.
- Thoft-Christensen, P., Y. Murotsu, 1986, Application of Structural Systems Reliability Theory, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.