

ANALISIS KEGAGALAN PADA PATAHAN MATA BOR TIPE *HIGH SPEED STEEL*

Sudirman Rizki Ariyanto^{1*}, Muhammad Yandi Pratama², Warju³, Rachmad Syarifudin
Hidayatullah⁴, Muhammad Syahrul Anwari⁵

^{1,3,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

²Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

⁴Program Studi Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

*E-mail: sudirmanariyanto@unesa.ac.id

Abstrak: Kegagalan mata bor dalam proses pengeboran sering terjadi akibat paparan kombinasi beban mekanis, termal, dan kimia selama operasi. Mata bor Nachi HSS, sebagai komponen kritis dalam industri manufaktur, rentan mengalami keausan dan patah tiba-tiba karena proses dinamis yang melibatkan fragmentasi material, gesekan, dan peningkatan suhu lokal. Penelitian ini bertujuan menganalisis akar penyebab kegagalan mata bor Nachi HSS melalui investigasi fraktur, komposisi kimia, dan struktur mikro. Metode analisis meliputi pengujian makroskopis untuk identifikasi pola patahan, mikroskopis optik untuk mengevaluasi deformasi permukaan, serta uji *X-ray Fluorescence* (XRF) untuk memverifikasi komposisi material. Hasil menunjukkan bahwa patahan bersifat getas (*brittle fracture*) akibat ketidaksesuaian komposisi kimia: kadar molibdenum (Mo) tidak terdeteksi, sementara chromium (Cr) dan vanadium (V) hanya mencapai 3,85% dan 0,95%, lebih rendah 0,45% dari standar pabrik. Defisiensi ini mengurangi ketahanan terhadap beban termomekanik, memicu konsentrasi tegangan dan retak propagasi cepat selama pengeboran material baja ST37 pada kecepatan 1.800 RPM. Temuan ini menekankan pentingnya kontrol kualitas komposisi material dan optimasi parameter operasi untuk mencegah kegagalan prematur.

Kata Kunci: analisis kegagalan, mata bor, observasi makroskopis, observasi mikroskopis, *x-ray fluorescence*

Abstract: *Drill bit failure in the drilling process often occurs due to exposure to mechanical, thermal, and chemical loads during operation. Nachi HSS drill bits, as critical components in the manufacturing industry, are prone to sudden wear and breakage due to dynamic processes involving material fragmentation, friction, and increased local temperatures. This study analyses the root cause of Nachi HSS drill bit failure through fracture investigation, chemical composition, and microstructure. The analysis methods include macroscopic testing to identify fracture patterns, optical microscopy to evaluate surface deformation, and X-ray Fluorescence (XRF) testing to verify material composition. The results showed that the fault was a brittle fracture due to a mismatch in chemical composition: molybdenum (Mo) levels were not detected. At the same time, chromium (Cr) and vanadium (V) only reached 3.85% and 0.95%, 0.45% lower than factory standards. This deficiency reduces resistance to thermomechanical loads, triggering stress concentration and rapid crack propagation during the drilling of ST37 steel material at a speed of 1,800 RPM. These findings emphasize the importance of quality control of material composition and optimization of operating parameters to prevent premature failure.*

Keywords: *failure analysis, drill bit, macroscopic observation, microscopic observation, x-ray fluorescence*

PENDAHULUAN

Proses pengeboran memegang peran krusial dalam industri manufaktur, terutama dalam pembuatan komponen presisi yang memerlukan akurasi dimensi dan kualitas permukaan. Alat potong seperti mata bor menjadi komponen utama yang menentukan keberhasilan operasi ini, di mana kinerjanya dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara beban mekanis, termal, dan karakteristik material benda kerja (Paktinat & Amini, 2018). Meskipun teknologi pengeboran terus berkembang, kegagalan alat potong seperti patahan atau keausan prematur masih menjadi tantangan signifikan yang berdampak pada efisiensi produksi dan biaya perawatan (Saai et al., 2020). Fenomena ini sering dipicu oleh kondisi operasional ekstrem, termasuk gesekan dinamik, akumulasi panas lokal, dan ketidaksesuaian parameter proses dengan sifat material.

Dalam konteks ini, pemilihan material mata bor yang optimal menjadi kunci mitigasi risiko kegagalan. Mata bor Nachi *High Speed Steel* (HSS) kerap menjadi pilihan utama industri karena kemampuannya mempertahankan kekerasan dan ketahanan aus pada suhu tinggi, sekaligus

menyeimbangkan biaya produksi (Nur Prasetyo, 2023). Dibandingkan dengan alternatif seperti karbida atau baja karbon, Nachi HSS unggul dalam aplikasi pengeboran material baja paduan rendah hingga sedang, di mana kombinasi keuletan dan kekuatan mekanis diperlukan untuk menghindari *catastrophic failure* (Bazaluk et al., 2021). Namun, studi lapangan menunjukkan bahwa kegagalan patahan getas tetap terjadi pada mata bor ini, terutama saat digunakan pada material keras atau parameter RPM yang tidak sesuai (Bayraktar & Turgut, 2020). Analisis komprehensif terhadap penyebab kegagalan meliputi aspek material, desain, dan parameter operasi dibutuhkan untuk mengoptimalkan umur pakai alat dan mengurangi *downtime* produksi.

Penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi signifikan dalam memahami mekanisme kegagalan pada mata bor dan material sejenis. Pathak et al. (2020) mengusulkan model fraktur mikromekanik yang secara akurat memprediksi kegagalan tepi pada baja berkekuatan tinggi 800 MPa, khususnya pada lubang yang dibor dan digeser. Model ini menjadi dasar penting dalam mempelajari kegagalan material akibat beban geser dan tekanan selama proses pengeboran. Selanjutnya, Jeong et al. (2021) memperkenalkan metode prediksi kerusakan mata bor menggunakan sensor inframerah, yang menawarkan pendekatan baru dalam memantau keausan dan kerusakan alat secara *real-time*. Metode ini memberikan solusi inovatif untuk mengurangi risiko kegagalan yang tidak terduga.

Borrisutthekul et al. (2023) meneliti pengaruh lapisan *multinit* pada mata bor baja kecepatan tinggi, menemukan bahwa lapisan ini secara signifikan meningkatkan ketahanan aus dan kualitas permukaan lubang setelah pengeboran. Temuan ini menegaskan pentingnya modifikasi permukaan dalam meningkatkan kinerja mata bor. Kemudian, Andrew (2024) melakukan analisis getaran rangkaian bor dan optimasi parametrik untuk pengembangan rig sumur air portabel. Penelitian ini menunjukkan bahwa mengoptimalkan panjang rangkaian bor dan kecepatan putaran dapat mengurangi getaran lateral dan longitudinal, sehingga mengurangi kelelahan mata bor dan retakan pipa bor.

Penelitian ini menawarkan pembaruan dengan fokus pada analisis kegagalan patahan pada mata bor Nachi HSS melalui observasi makroskopis, mikroskopis, dan pengujian komposisi kimia. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak membahas keausan atau kerusakan permukaan, penelitian ini secara khusus mengidentifikasi penyebab utama kegagalan patahan dan memberikan rekomendasi untuk optimalisasi desain serta pemilihan material mata bor HSS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam meningkatkan ketahanan dan umur pakai mata bor, sehingga mengurangi risiko kegagalan dan meningkatkan efisiensi proses pengeboran.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis kegagalan patahan pada mata bor Nachi HSS. Metode yang digunakan meliputi pemeriksaan visual makro, pemeriksaan visual mikro, dan analisis komposisi kimia menggunakan XRF. Pendekatan ini dipilih untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan patahan secara komprehensif, mulai dari tingkat makroskopis hingga mikroskopis, serta memahami komposisi material yang memengaruhi kinerja mata bor.

Alat dan Bahan

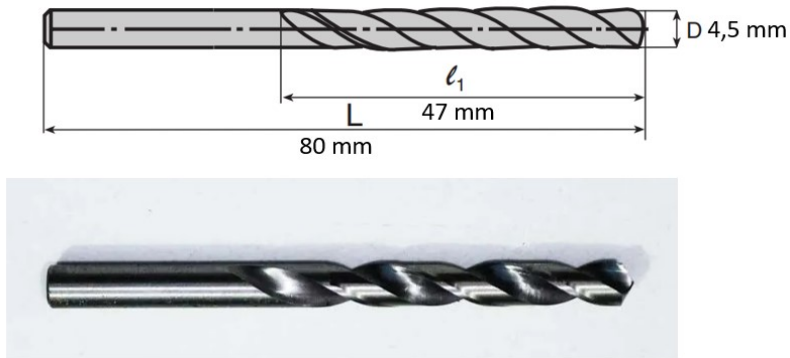
Berikut adalah tabel alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini beserta spesifikasi dan jumlah kebutuhannya:

Tabel 1. Spesifikasi Alat dan Bahan

No.	Alat/Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1	Mata Bor Nachi HSS	HSS Baja 4"	1 buah
2	Kamera Canon	Tipe EOS 1300D	1 unit
3	Mikroskop Olympus	Tipe BX53M Trinocular	1 unit
4	XRF PANalytical	Tipe Minipal 4	1 unit

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah mata bor Nachi HSS, seperti

terlihat pada Gambar 1. Mata bor ini merupakan bagian dari baja perkakas yang umum digunakan sebagai alat pemotong, seperti pada bilah gergaji listrik dan mata bor. Aplikasi mata bor Nachi HSS banyak ditemukan pada mesin bor putar dan mesin pemrosesan mekanis. Alat yang digunakan meliputi kamera Canon Tipe EOS 1300D (Gambar 2) untuk pemeriksaan visual makro, mikroskop Olympus BX53M Trinocular (Gambar 3) untuk pemeriksaan visual mikro, dan XRF PANalytical Tipe Minipal 4 (Gambar 4) untuk analisis komposisi kimia.



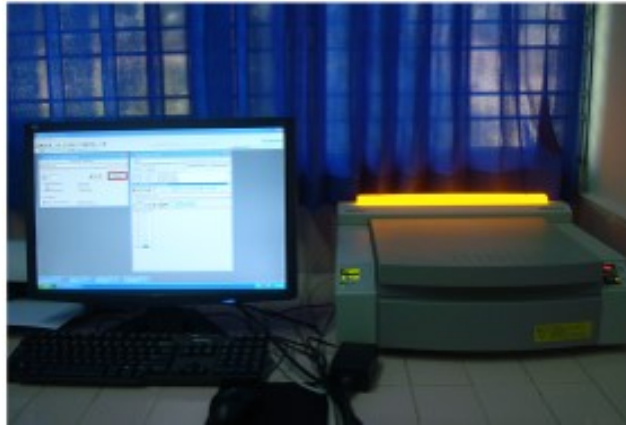
Gambar 1. Mata Bor Nachi



Gambar 2. Kamera Canon Tipe EOS 1300D



Gambar 3. Mikroskop Olympus BX53M Trinocular



Gambar 4. XRF PANalytical Tipe Minipal 4

Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pengujian dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk langkah-langkah detail sebagai berikut:

1. Persiapan Sampel

Prosedur diawali dengan persiapan sampel mata bor Nachi HSS yang mengalami patahan. Sampel dipotong menggunakan gerinda tangan untuk mengisolasi area fraktur, kemudian dibersihkan dari kotoran atau debu dengan alkohol dan kain lembut. Permukaan sampel dipoles bertahap menggunakan mesin *polishing* dengan kertas amplas grit 200 hingga 2000 guna menghilangkan goresan dan menghasilkan bidang analisis yang halus. Selanjutnya, sampel diketsa menggunakan larutan Nital 2% selama 10-15 detik untuk mengekspos struktur mikro logam melalui proses etching kimia.

2. Pemeriksaan Visual Makro

Pemeriksaan visual makroskopis dilakukan dengan kamera Canon EOS 1300D pada perbesaran rendah ($\leq 10\times$) untuk mendokumentasikan morfologi patahan. Gambar diambil dari berbagai sudut guna mengidentifikasi karakteristik retakan, seperti distribusi, ukuran, dan pola kekasaran permukaan. Hasil analisis visual ini menjadi dasar penentuan area spesifik yang akan diteliti lebih lanjut pada tahap mikroskopis.

3. Pemeriksaan Visual Mikro

Pada tahap berikutnya, struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik Olympus BX53M *Trinocular* dengan rentang perbesaran 50x-1000x. Pengamatan difokuskan pada area patahan untuk mengidentifikasi deformasi plastis, inklusi, atau cacat material. Gambar struktur mikro direkam melalui perangkat lunak *Olympus Stream* dan dianalisis untuk mengungkap mekanisme patahan, seperti propagasi retak atau fenomena *fatigue*.

4. Analisis Komposisi Kimia

Tahap terakhir melibatkan analisis komposisi kimia material menggunakan alat XRF PANalytical Minipal 4. Sampel dibersihkan ulang dengan alkohol untuk meminimalkan kontaminasi, lalu ditempatkan pada ruang pengukuran alat. Spektrum sinar-X *fluorescence* dihasilkan melalui iradiasi sampel, dan data komposisi unsur dianalisis menggunakan perangkat lunak XRF Minipal versi 4.0. Hasil uji ini dibandingkan dengan standar komposisi pabrik untuk mengidentifikasi defisiensi atau ketidaksesuaian unsur paduan, seperti Mo, Cr, dan V.

Teknik Analisis Data

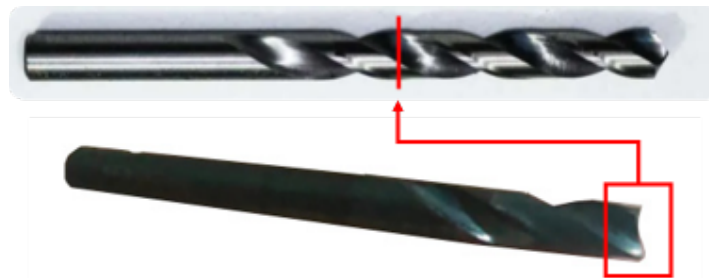
Data hasil pemeriksaan visual makro dan mikro dianalisis secara kualitatif dengan membandingkan gambar dan struktur yang diamati dengan standar kegagalan material. Data hasil XRF dianalisis secara kuantitatif untuk menentukan persentase unsur-unsur penyusun material, yang kemudian dibandingkan dengan standar komposisi material HSS. Hasil dari ketiga metode (makro, mikro, dan XRF) dikorelasikan untuk menentukan penyebab utama kegagalan patahan pada mata bor Nachi HSS. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman

menyeluruh tentang mekanisme kegagalan patahan serta rekomendasi untuk optimalisasi desain dan material.

HASIL DAN DISKUSI

Bahan

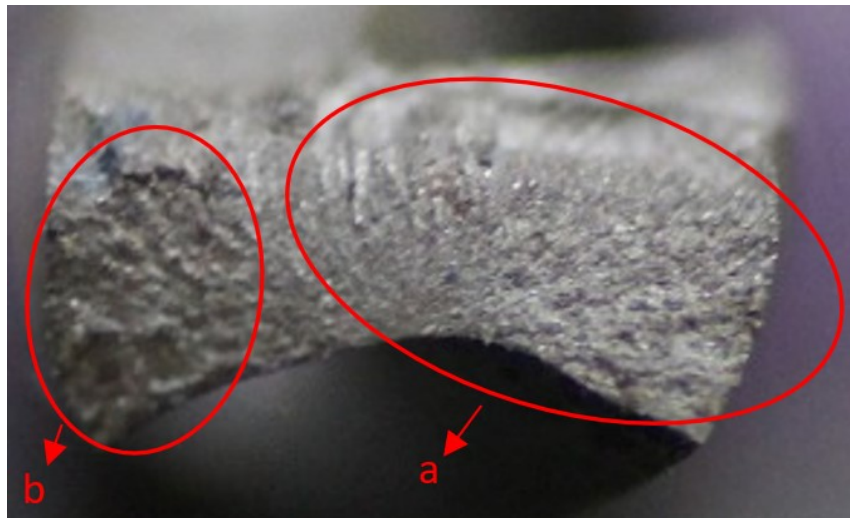
Mata bor Nachi HSS mengalami patahan pada bagian yang disajikan pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa patahan terjadi di bagian tengah mata bor, tepatnya pada posisi *center* dan bagian heliks yang merupakan badan pisau mata bor (Ginta & Ari-Wahjoedi, 2013). Secara visual, tidak teridentifikasi adanya deformasi atau *necking*, yang mengindikasikan bahwa patahan yang terjadi adalah patahan getas. Patahan getas adalah retakan yang terjadi secara tiba-tiba dan cepat di bawah tekanan, di mana material menunjukkan sedikit atau tidak ada deformasi sebelum patahan terjadi (Hicks, 1999). Patahan jenis ini terjadi di bawah tekanan desain dan memerlukan penanganan yang tepat (Pack & Mohr, 2017).



Gambar 5. Letak Patahan Mata Bor Nachi HSS

Pemeriksaan Visual Makro

Hasil pemeriksaan visual makro menggunakan kamera *Canon* ditampilkan pada Gambar 6. Pemeriksaan makroskopik merupakan langkah penting dalam analisis kegagalan karena dapat mengungkapkan tanda-tanda penyalahgunaan mekanis, *grinding burn*, dekarburisasi, dan gradien struktur (Vander Voort, 1978). Gambar 6 menunjukkan ciri-ciri patahan getas, yaitu permukaan yang rata (a) dan adanya goresan berbentuk *chevron* (b) yang menunjukkan arah retakan awal (Hicks, 2001; Shash et al., 2017; Ullah et al., 2015). Patahan getas dapat dipicu oleh energi regangan yang terkunci dalam logam dan tidak selalu memerlukan beban besar atau gaya eksternal untuk memulainya (Hicks, 2001).



Gambar 6. Hasil Pengamatan Visual Makro

Pemeriksaan Visual Mikro

Hasil pemeriksaan visual mikro menggunakan mikroskop *Olympus BX53M Trinocular* ditampilkan pada Gambar 7. Pada Gambar 7, teridentifikasi permukaan patahan yang reflektif terhadap cahaya dengan butiran-butiran halus yang mengkilap, menandakan bahwa patahan yang terjadi adalah patahan getas (Puspitasari et al., 2018; Shash et al., 2017).



Gambar 7. Hasil Pengamatan Visual Mikro

Pemeriksaan Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia menggunakan pengujian XRF disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Komposisi Kimia

Sampel	Komposisi (%)				
	C	W	Mo	Cr	V
Standar	0.88	6.0	5.0	4.0	2.0
Sampel	-	7.75	-	3.55	1.55

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa mata bor Nachi HSS memiliki komposisi kimia sesuai standar pabrik, yaitu karbon (C) sebesar 0,88%; tungsten (W) sebesar 6,0%; molibdenum (Mo) sebesar 5,0%; kromium (Cr) sebesar 4,0%; dan vanadium (V) sebesar 2,0%. Dibandingkan dengan sampel yang diuji menggunakan XRF, dari kelima komposisi kimia tersebut, terdapat dua unsur yang tidak teridentifikasi, yaitu karbon dan molibdenum. Unsur karbon tidak teridentifikasi pada sampel karena pengujian XRF memiliki keterbatasan dalam mengukur karbon. Akibatnya, material seperti baja tahan karat karbon rendah, baja karbon, dan material paduan rendah lainnya tidak dapat diukur menggunakan penganalisis XRF (Farkov et al., 2005).

Sementara itu, unsur Mo yang tidak teridentifikasi pada sampel termasuk logam berat, sehingga seharusnya dapat terdeteksi oleh pengujian XRF. Oleh karena itu, ketiadaan unsur Mo pada hasil pengujian bukan disebabkan oleh keterbatasan XRF. Berdasarkan komposisi kimia standar, unsur Mo seharusnya sebesar 5,0%. Tidak adanya unsur Mo pada sampel dapat menjadi penyebab utama patahan yang terjadi. Unsur Mo berperan dalam meningkatkan kekerasan, kekuatan, dan ketahanan baja (Akashi & Kawamoto, 1978; Ostovan et al., 2021; Pardo et al., 2008). Selain itu, unsur Mo pada baja paduan juga berfungsi memperlambat proses penggetasan (Gruzin & Mural', 1969). Dalam penghambatan laju korosi, unsur Mo bertindak sebagai penghambat anodik dan mengganggu reaksi anodik dengan menutupi permukaan anoda, yang berkaitan dengan penghambatan korosi (Shams El Din & Wang, 1996). Dengan demikian, keberadaan unsur Mo sangat penting pada baja paduan.

Pada unsur kromium, komposisi kimia sampel kurang 0,45% dari standar. Kromium ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus, dan ketangguhan baja paduan (Papavinasam, 2014). Kromium juga memberikan ketahanan terhadap oksidasi dan sulfidasi pada suhu tinggi (Yonezawa, 2012). Penelitian Tanaka et al. (2008) menunjukkan bahwa nilai energi

aktivasi untuk transisi getas-ulet menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi kromium dalam besi. Pada unsur vanadium, komposisi unsur vanadium pada sampel kurang 0,45% dibandingkan dengan standar. Peran utama vanadium adalah menyempurnakan struktur dan butiran baja, mengurangi kepekaannya terhadap panas berlebih, serta meningkatkan kekuatan dan ketangguhan baja (Zhang et al., 2019). Penambahan vanadium juga meningkatkan ketahanan retak dan ketahanan aus pada baja paduan (Kim et al., 2021).

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, tidak adanya unsur Mo dapat menjadi faktor utama penyebab patahnya mata bor Nachi HSS. Pentingnya unsur Mo pada baja paduan telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya. Selain itu, kurangnya persentase unsur kimia seperti kromium dan vanadium pada sampel dibandingkan dengan standar juga dapat menjadi salah satu penyebab patahan yang terjadi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan terhadap kegagalan pada mata bor Nachi HSS, dapat disimpulkan bahwa kegagalan yang terjadi adalah patah getas yang teridentifikasi melalui pemeriksaan makro dan mikro. Patah getas yang terjadi diakibatkan tidak adanya unsur molibdenum (Mo) pada sampel, dan didukung juga dengan kurangnya persentase komposisi kimia kromium (Cr) dan vanadium (V) pada sampel dibandingkan dengan besaran persentase komposisi kimia menurut standar pabrik.

DAFTAR RUJUKAN

- Akashi, M., & Kawamoto, T. (1978). The Effect of Molybdenum Addition on SCC Susceptibility of Stainless Steels in Oxygenated High Temperature Water. *CORROSION ENGINEERING*, 27(4), 165–171. https://doi.org/10.3323/jcorr1974.27.4_165
- Andrew, Z. B. (2024). Drill string vibrational analysis and parametric optimization for a portable water well rig development. *I-Manager's Journal on Mechanical Engineering*, 14(2), 8. <https://doi.org/10.26634/jme.14.2.21011>
- Bayraktar, Ş., & Turgut, Y. (2020). Determination of delamination in drilling of carbon fiber reinforced carbon matrix composites/Al 6013-T651 stacks. *Measurement*, 154, 107493. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107493>
- Bazaluk, O., Velychkovych, A., Ropyak, L., Pashechko, M., Pryhorovska, T., & Lozynskyi, V. (2021). Influence of heavy weight drill pipe material and drill bit manufacturing errors on stress state of steel blades. *Energies*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144198>
- Borrisutthekul, R., Makee, C., Kitkamthorn, U., Mitsomwang, P., Chayapiwut, N., Jaisue, A., & Hitoshi, K. (2023). Study The Effects of The Multinite Coat of The High Speed Steel Drill Bit in Drilling. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 30(2). <https://doi.org/10.55766/sujst-2023-02-e01577>
- Farkov, P. M., Il'icheva, L. N., & Finkel'shtein, A. L. (2005). X-ray Fluorescence Determination of Carbon, Nitrogen, and Oxygen in Fish and Plant Samples. *Journal of Analytical Chemistry*, 60(5), 426–430. <https://doi.org/10.1007/s10809-005-0113-y>
- Ginta, T. L., & Ari-Wahjoedi, B. (2013). Cutting Force and Temperature Variation in Bone Drilling - A Review. *Advanced Materials Research*, 845, 934–938. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.845.934>
- Gruzin, P. L., & Mural', V. V. (1969). Mechanism of the effect of molybdenum on the reversible temper brittleness of steel. *Metal Science and Heat Treatment*, 11(3), 240–242. <https://doi.org/10.1007/BF00658746>
- Hicks, J. (1999). Fundamentals of the strength of materials. In *Welded Joint Design* (pp. 1–16). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855738980.1>
- Hicks, J. (2001). Brittle fracture. In *Welded Design* (pp. 75–81). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855737624.75>
- Jeong, M.-J., Lee, S.-W., Jang, W.-K., Kim, H.-J., Seo, Y.-H., & Kim, B.-H. (2021). Prediction of Drill Bit Breakage Using an Infrared Sensor. *Sensors*, 21(8), 2808. <https://doi.org/10.3390/s21082808>
- Nur Prasetyo, B. (2023). Analisis Kekerasan Pada Mata Bor Berbahan Baja High Speed Steel Hasil Proses Hardening Dengan Pendinginan Oli Dan Coolant. *Presisi*, 25(1), 1–9.

- Ostovan, F., Shafiei, E., Toozandehjani, M., Mohamed, I. F., & Soltani, M. (2021). On the role of molybdenum on the microstructural, mechanical and corrosion properties of the GTAW AISI 316 stainless steel welds. *Journal of Materials Research and Technology*, *13*, 2115–2125. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.095>
- Pack, K., & Mohr, D. (2017). Combined necking & fracture model to predict ductile failure with shell finite elements. *Engineering Fracture Mechanics*, *182*, 32–51. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.06.025>
- Paktinat, H., & Amini, S. (2018). Numerical and experimental studies of longitudinal and longitudinal-torsional vibrations in drilling of AISI 1045. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *94*(5–8), 2577–2592. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0893-x>
- Papavinasam, S. (2014). *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04629-X>
- Pardo, A., Merino, M. C., Coy, A. E., Viejo, F., Arrabal, R., & Matykina, E. (2008). Effect of Mo and Mn additions on the corrosion behaviour of AISI 304 and 316 stainless steels in H₂SO₄. *Corrosion Science*, *50*(3), 780–794. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2007.11.004>
- Pathak, N., Butcher, C., Adrien, J., Maire, E., & Worswick, M. (2020). Micromechanical modelling of edge failure in 800 MPa advanced high strength steels. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, *137*, 103855. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2019.103855>
- Puspitasari, P., Soepriyanto, O. R., Sasongko, M. I. N., Dika, J. W., & Andoko. (2018). Mechanical and physical properties of aluminium-silicon (Al-Si) casting alloys reinforced by Zinc Oxide (ZnO). *MATEC Web of Conferences*, *204*(September). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820405003>
- Saai, A., Bjørge, R., Dahl, F., Antonov, M., Kane, A., Diop, J.-B., & Ojala, N. (2020). Adaptation of Laboratory tests for the assessment of wear resistance of drill-bit inserts for rotary-percussive drilling of hard rocks. *Wear*, *456–457*, 203366. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203366>
- Shams El Din, A. M., & Wang, L. (1996). Mechanism of corrosion inhibition by sodium molybdate. *Desalination*, *107*(1), 29–43. [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(96\)00148-8](https://doi.org/10.1016/0011-9164(96)00148-8)
- Shash, A. Y., El-Mahallawi, I. S., & Amer, A. E. (2017). *Options for Nanoreinforced Cast Al-Si Alloys with TiO₂ Nanoparticles* (pp. 1–12). https://doi.org/10.1007/978-981-10-1602-8_1
- Tanaka, M., Wilkinson, A. J., & Roberts, S. G. (2008). Ductile–brittle transition of polycrystalline iron and iron–chromium alloys. *Journal of Nuclear Materials*, *378*(3), 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2008.06.039>
- Ullah, F., Othman, M. B. H., Javed, F., Ahmad, Z., & Akil, H. M. (2015). Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering: C*, *57*, 414–433. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053>
- Vander Voort, G. F. (1978). Macroscopic Examination Procedures for Failure Analysis. In *Metallography in Failure Analysis* (pp. 33–63). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2856-8_2
- Yonezawa, T. (2012). Nickel Alloys: Properties and Characteristics. In *Comprehensive Nuclear Materials* (pp. 233–266). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-056033-5.00016-1>
- Zhang, Q., Zhao, Y., Yuan, G., & Yang, W. (2019). The effect of vanadium on microstructure and mechanical properties of Fe-based high-strength alloys. *Results in Physics*, *15*, 102335. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102335>