



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Perbandingan Perendaman Pelat *Stainless Steel* 316 Pada Larutan HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Terhadap Laju Korosi dan Pengaruhnya Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak

Fairuz Farah Ikbar<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>2)</sup>, Wilma Amiruddin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Teknologi Material, Las, dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

\*e-mail :fairuzfarahikbar@students.undip.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh perendaman pelat *stainless steel* 316 pada larutan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) terhadap laju korosi dan perubahan sifat mekaniknya, khususnya kekuatan tarik dan impak. Spesimen direndam dalam tiap larutan yang masing – masing berkonsentrasi 1,0 M pada suhu ruang selama 14 dan 28 hari. Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan metode *weight loss*, sedangkan pengujian sifat mekanik dilakukan dengan pengujian tarik dan uji impak menggunakan mesin impak *charpy*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman menyebabkan laju korosi yang semakin tinggi pada kedua media asam. Berdasarkan hasil *weight loss*, spesimen yang direndam HNO<sub>3</sub> menunjukkan nilai laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang direndam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, terutama selama waktu 28 hari. Pada pengujian tarik, peningkatan *weight loss* cenderung diikuti oleh penurunan beberapa parameter mekanik, seperti *yield strength*, modulus elastisitas, dan *fracture energy*. Sementara itu, hasil uji impak menunjukkan bahwa nilai dari *absorbed energy* dan *impact strength* pada spesimen yang direndam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> lebih rendah dibandingkan HNO<sub>3</sub>, yang menandakan penurunan ketangguhan material yang lebih besar. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis larutan dan durasi perendaman berpengaruh terhadap laju korosi dan kekuatan mekanik *stainless steel* 316, di mana HNO<sub>3</sub> cenderung menghasilkan nilai laju korosi lebih tinggi, sedangkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> memberikan penurunan sifat impak yang lebih besar.

Kata Kunci : *Stainless Steel* 316, Laju Korosi, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Uji Tarik, Uji Impak.

### 1. PENDAHULUAN

Pemilihan material tangki muat pada industri perkapalan saat ini, khususnya pada *chemical tanker*, menjadi faktor krusial demi menjaga keamanan, efisiensi, serta umur layanan kapal.[1] Pemilihan material untuk ruang muat *chemical tanker* penting menjadi pertimbangan karena berkontak langsung dengan media yang bersifat korosif. Salah satu material yang sangat umum digunakan pada *chemical tanker* adalah baja tahan karat *AISI 316 (austenitic stainless steel)*, yang mana baja tersebut dikenal memiliki ketahanan korosi tinggi baik dikarenakan terdapat unsur molibdenum (Mo) dalam komposisinya. Studi pada *stainless steel* 316/316L menunjukkan bahwa material ini memiliki performa baik di berbagai lingkungan agresif, sehingga banyak diaplikasikan pada

lingkungan proses kimia, minyak dan gas, serta lingkungan laut. [1][2][3]

Ketahanan korosi *stainless steel* 316, selain karena komposisi paduannya, juga dipengaruhi oleh stabilitas lapisan oksida pasif yang terbentuk pada permukaannya. Dalam penelitian mengenai lapisan pasif pada 316L, disebutkan bahwa adanya pengayaan unsur Cr dan Mo pada lapisan oksida pasif, yang berperan penting dalam meningkatkan ketahanan terhadap serangan korosi. [2] Selain itu, jenis larutan, konsentrasi larutan dan kondisi lingkungan juga mempengaruhi sifat semikonduktor dan kestabilan lapisan oksida pasif, sehingga perubahan media korosif dapat menggeser perilaku material dari kondisi pasif menuju pelarutan aktif. [4] Maka dari itu, *stainless steel* 316 dapat menunjukkan respons yang berbeda

ketika berada di lingkungan asam yang berbeda, meskipun konsentrasi dan waktu paparannya sama. [2][4][5]

Di antara banyak media asam yang digunakan dalam lingkungan industri, asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) termasuk media asam yang keduanya sama – sama korosif, tetapi memiliki mekanisme serangan yang berbeda terhadap *stainless steel*. [6] HNO<sub>3</sub> dikenal sebagai *strong oxidizing acid* yang tidak hanya menurunkan pH, tetapi juga dapat mengoksidasi logam dan spesies terlarut, sehingga memicu peningkatan laju korosi pada *stainless steel* bila konsentrasi tinggi, suhu meningkat, adanya celah, atau adanya spesies pengotor tertentu. [7] [8]

Sebaliknya, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang sifatnya sangat korosif, terlebih jika konsentrasi dan temperatur tinggi, biasanya dikategorikan dalam industri sebagai *non-oxidizing (reducing) acid* yang menyebabkan kerusakan melalui *acid attack*, dehidrasi dan serangan korosi akibat konsentrasi dan suhu. Sejumlah penelitian pada *stainless steel* 316 menunjukkan bahwa media *sulfuric acid* dapat menghasilkan laju korosi yang lebih tinggi dan kerusakan permukaan yang lebih nyata. Oleh karena itu, meskipun kedua asam tersebut umum ditemui di industri dan sama – sama berbahaya bagi logam struktural, namun pendekatan material *selection*, proteksi permukaan, dan prosedur operasi harus dibedakan berdasarkan sifat oksidatifnya. [9] [10]

Korosi tidak hanya menyebabkan berkurangnya massa logam (*weight loss*), namun juga secara signifikan menurunkan integritas struktural suatu material. Proses korosi mengubah morfologi permukaan melalui pembentukan pit, retak mikro, dan degradasi film pasif, yang memperlemah penampang efektif dan meningkatkan konsentrasi tegangan. Akibatnya, material menunjukkan penurunan pada kekuatan tarik (*tensile strength*), serta energi serap impact, sehingga mudah mengalami patah getas. Adapun penelitian [11] menunjukkan bahwa korosi pada baja kapal dapat mengurangi kekuatan ultimate struktur hingga lebih dari 30% akibat berkurangnya ketebalan dan munculnya pit korosi. [12]

Selain itu, [13] menunjukkan bahwa sinergi antara korosi dan pembebanan siklik (*corrosion-fatigue*) mempercepat terjadinya retak awal dan mengurangi umur lelah struktur logam secara drastis. Hal ini membuktikan bahwa korosi tidak hanya berperan dalam penipisan material (*mass loss*), tetapi juga dalam penurunan sifat mekanik dan keandalan struktural yang mengancam

keselamatan sistem kelautan, minyak dan gas, maupun permesinan kapal. [14]

Dalam studi [6], diperlihatkan bahwa *Stainless Steel* 316L mengalami laju korosi lebih tinggi dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan nilai laju korosi mencapai  $\approx 2,5141$  mpy, sangat jauh dibandingkan dengan larutan NaCl yang memiliki nilai laju korosi  $\approx 0,4260$  mpy. Dalam studi juga menunjukkan munculnya retakan-diagonal yang signifikan pada perendaman H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, serta kekerasan material menurun pesat. Hasil ini meyakinkan bahwa data empiris spesifik mengenai bagaimana lingkungan asam sulfuric merusak 316L sangat diperlukan untuk merencanakan pemeliharaan dan pemilihan material yang tepat.

Di sisi lain, dalam artikel [15], penulis mengekspos 316L dalam konsentrasi HNO<sub>3</sub> selama 60 hari, dan menemukan bahwa kemampuan terbentuknya film pasif sangat tergantung pada jumlah konsentrasi HNO<sub>3</sub>. Pada konsentrasi tinggi, passivasi lebih tinggi dan laju korosi lebih rendah, sementara kontaminasi Cs dan Sr yang mungkin terkandung dapat mempercepat degradasi pasif akibat reaksi oksidatif. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya data empiris untuk menentukan batas layanan HNO<sub>3</sub> pada struktur baja tahan karat. [16]

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Stainless Steel* 316 sebagai objek utama. Pemilihan *stainless steel* 316 didasarkan pada penggunaannya yang luas dalam industri konstruksi dan perkapalan, khususnya untuk *chemical tanker*, serta sifat mekaniknya yang mampu menahan beban tarik dan impact secara optimal.



Gambar 1. Pelat *Stainless Steel* 316

Komposisi kimia dan sifat mekanik material *stainless steel* 316, dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 1. Komposisi Stainless Steel 316

Komposisi Kimia	Presentase
Kromium (Cr)	16 – 18 %
Nikel (Ni)	10 – 14 %
Molibdenum (Mo)	2 – 3 %
Karbon (C)	Maks 0,08%
Mangan (Mn)	Maks 2%
Silicon (Si)	Maks 1%
Tembaga (Cu)	Maks 0,75%
Nitrogen (N)	Maks 0,10%

Tabel 2. Sifat Mekanik Stainless Steel 316

Sifat Mekanik	Satuan	Nilai
<i>Tensile Strength</i>	MPa	500 – 700
Elongasi	%	40 – 50
<i>Young's Modulus</i>	GPa	193
<i>Hardness</i>	HB	146 - 217



Gambar 2. Spesimen Uji Tarik



Gambar 3. Spesimen Uji Impak

## 2.2. Lokasi Penelitian

Proses pengujian dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.

## 2.3. Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah pelat *stainless steel* 316 serta larutan HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Alat – alat yang digunakan meliputi mesin uji impak *charpy*, mesin uji tarik, alat pemotong sampel, wadah kaca, kertas ampelas, neraca, kain lap, isolasi, kertas label serta koreksi tape. Proses pengujian laju korosi dilakukan dengan metode *weight loss*. Data hasil uji dianalisis secara deskriptif dengan menghitung nilai rata – rata dan simpangan baku.

## 2.4. Perlakuan Objek

### 2.4.1 Pemotongan Plat

Tahap pertama dalam perlakuan objek adalah pemotongan pelat baja *Stainless Steel* 316. Pelat awal berukuran 600 × 300 × 10 mm dipotong menggunakan mesin laser *cutting* menjadi ukuran yang sesuai untuk pengujian. Pemotongan ini bertujuan untuk mempersiapkan benda uji dengan dimensi standar, baik untuk pengujian laju korosi, uji tarik maupun impak.

Dengan ukuran standar pengujian sebagai berikut :

Tabel 3. Ukuran Standar Tiap Pengujian

Uji Tarik (standar ASTM E-8M) :
200 x 20 x 10 mm
Uji Impak (standar ASTM E-23) :
55 x 10 x 10 mm
Uji Laju Korosi (standar ASTM G31)

### 2.4.2 Perendaman Plat

Setelah proses pemotongan, pelat dilakukan perendaman pada larutan HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan durasi perendaman 14 dan 28 hari.



Gambar 4. Proses Perendaman Pada Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Gambar 5. Proses Perendaman Pada Larutan HNO<sub>3</sub>

## 2.5. Metode Pengujian

Masalah utama pada penelitian yaitu bagaimana perlakuan perendaman oleh senyawa kimia mempengaruhi laju korosi, kekuatan dan ketangguhan material, dipecahkan melalui tiga pengujian :

### 2.5.1 Uji Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode *weight loss*, menggunakan spesimen uji tarik, dengan mengukur selisih massa spesimen sebelum dan sesudah proses perendaman dalam larutan asam. Laju korosi dihitung menggunakan persamaan umum berikut :

$$CR = \frac{K \times \Delta W}{A \times T \times \rho} \quad (1)$$

Dimana :

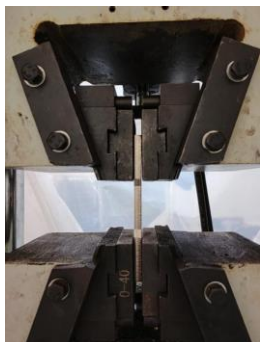
- CR = Laju korosi (mm/tahun)
- K = Konstanta konversi ( $8.76 \times 10^4$ )
- $\Delta W$  = Penurunan berat spesimen (gram)
- A = Luas permukaan spesimen ( $\text{cm}^2$ )
- T = Waktu perendaman (jam)
- P = Densitas material ( $8.0 \text{ g/cm}^3$ )



Gambar 6. Proses Penimbangan Spesimen Menggunakan Neraca Analitik

### 2.5.2 Uji Tarik

Pengujian Tarik dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk memperoleh data kekuatan Tarik maksimum, kekuatan luluh, regangan, dan modulus elastisitas.



Gambar 7. Proses Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik mencakup *ultimate strength*, regangan, modulus elastisitas, *yield*

*strength*, dan *fracture energy*. Kekuatan tarik maksimum atau *Ultimate strength* adalah hasil tegangan tertinggi sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*) dengan perhitungan dalam persamaan dibawah.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2)$$

Dengan keterangan,  $\sigma$  ialah nilai suatu tegangan dari hasil tarik maksimum (MPa,  $\text{N/mm}^2$ ), P ialah beban tegangan maksimum (N), dan  $A_0$  ialah luas awalan penampang spesimen ( $\text{mm}^2$ ).

Regangan tarik atau *fracture strain* adalah hasil maksimum pada perubahan panjang material setelah pengujian dan menunjukkan suatu pertambahan spesimen pada panjang setelah terjadinya suatu perpatahan dengan perhitungan dalam rumus berikut.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan keterangan,  $L_i$  merupakan panjang material sesudah patahan (mm),  $L_0$  merupakan panjang material sebelum patahan (mm), dan  $\epsilon$  adalah regangan pada tarik maksimum (%).

Modulus elastis atau young modulus dapat diukur dan dihitung dengan grafik tegangan-regangan pada kekakuan material berdasarkan kemiringan elastis yang bersifat linier pada grafik tersebut dengan perhitungan dengan rumus.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4)$$

Dengan keterangan, Keterangan, E merupakan modulus elastisitas (GPa),  $\sigma$  merupakan tegangan nilai maksimum ( $\text{kN/mm}^2$ ), dan  $\epsilon$  merupakan regangan pada tarik maksimum (%).

*Fracture energy* adalah energi yang diperlukan material yang mengalami kegagalan pada keretakan. Semakin tinggi nilai *fracture energy*, semakin besar energi yang dapat diserap oleh sebelum terjadi fraktur, sehingga menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap beban dinamis dan potensi retak. Dihitung dengan perhitungan persamaan di bawah.

$$Gc = \frac{(\sigma_{Yield} + \sigma_{UTS})}{2} \times \epsilon_f \quad (5)$$

Dimana  $\sigma$  adalah tegangan (MPa),  $\sigma_{UTS}$  adalah tegangan maksimum (MPa), dan  $\epsilon_f$  adalah regangan pada saat fraktur.

Satuan yang umum digunakan dalam penelitian ini adalah MJ/m<sup>3</sup> (MegaJoule per meter kubik).

*Toughness* menunjukkan total energi per satuan volume yang mampu diserap material sebelum *fracture*. Nilai *toughness* dapat diperoleh dari luas daerah di bawah kurva tegangan–regangan (*stress–strain curve*) sampai material patah. Dirumuskan dengan :

$$U_t = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon \quad (6)$$

Dengan  $\sigma$  adalah tegangan,  $\epsilon$  adalah regangan, dan  $\epsilon_f$  adalah regangan saat patah. Satuan untuk *toughness* biasanya MJ/m<sup>3</sup>.

### 2.5.3 Uji Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengukur energi serapan spesimen terhadap beban kejut menggunakan metode *Charpy V-Notch*. Energi yang diserap kemudian dihitung menjadi harga impak (HI) dengan rumus :

$$HI = \frac{E}{A} \quad (7)$$

Dimana :

- HI = Harga impak (J/mm<sup>2</sup>)
- E = Energi yang diserap (Joule)
- A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)



Gambar 8. Hasil Pengujian Impak

*Absorbed energy* adalah energi yang diserap oleh material selama proses pengujian impak hingga spesimen mengalami patah. Nilai ini menunjukkan kemampuan material dalam menyerap energi akibat beban kejut atau beban dinamis secara tiba-tiba. Semakin besar nilai *absorbed energy*, maka semakin besar pula kemampuan material untuk menahan benturan tanpa mengalami kegagalan secara langsung

*Absorbed energy* diperoleh dari selisih energi potensial pendulum sebelum dan sesudah menumbuk spesimen. Energi yang hilang tersebut diasumsikan sebagai energi yang diserap oleh material selama proses deformasi dan patah, dengan persamaan :

$$E = mg(h_1 - h_2) \quad (8)$$

Dengan keterangan, m yaitu massa dan g sebagai gravitasi, serta h<sub>1</sub> adalah tinggi awal pendulum dan h<sub>2</sub> adalah tinggi akhir pendulum.

*Impact strength* adalah kemampuan material untuk menahan beban kejut per satuan luas penampang spesimen. Nilai ini menunjukkan ketahanan material terhadap propagasi retak akibat pembebanan mendadak. Semakin tinggi nilai *impact strength*, maka material memiliki ketangguhan yang lebih baik dan tidak mudah mengalami patah getas.

*Impact strength* diperoleh dari pembagian *absorbed energy* dengan luas penampang efektif spesimen pada daerah takik (*notch*). Dihitung menggunakan persamaan :

$$IS = \frac{E}{A} \quad (9)$$

Dimana, E adalah *absorbed energy*, dan A adalah luas penampang patah (mm<sup>2</sup>). Satuan yang umum digunakan adalah J/mm<sup>2</sup> atau kJ/m<sup>2</sup>.

*Impact strength* dan *fracture energy* memiliki hubungan yang erat karena keduanya menggambarkan kemampuan material dalam menyerap energi sebelum mengalami kegagalan. Semakin tinggi nilai *impact strength*, maka material cenderung memiliki *fracture energy* yang lebih tinggi. Perbedaan satuan terjadi karena *impact strength* dihitung berdasarkan energi per luas penampang (J/mm<sup>2</sup>), sedangkan *fracture energy* dari uji tarik dihitung berdasarkan energi per volume material (MJ/m<sup>3</sup>).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

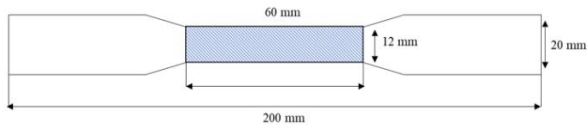
### 3.1. Material dan Spesimen Uji

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Stainless Steel 316. Material ini memiliki ketangguhan impak tinggi dan biasa diaplikasikan pada ruang muat *chemical tanker*.

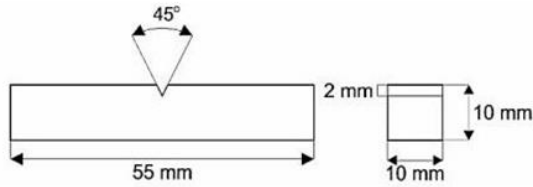
Total terdapat 4 variasi perlakuan, masing-masing terdiri dari 3 spesimen uji tarik dan 3 uji impak, sehingga jumlah total adalah 36 spesimen.

Tabel 4. Total Spesimen Pengujian

Jenis Pengujian	HNO3		H2SO4		Jumlah
	14 Hari	28 Hari	14 Hari	28 Hari	
Uji Tarik	3	3	3	3	12
Uji Impak	3	3	3	3	12
Raw Uji Tarik	3		3		6
Raw Uji Impak	3		3		6
TOTAL					36

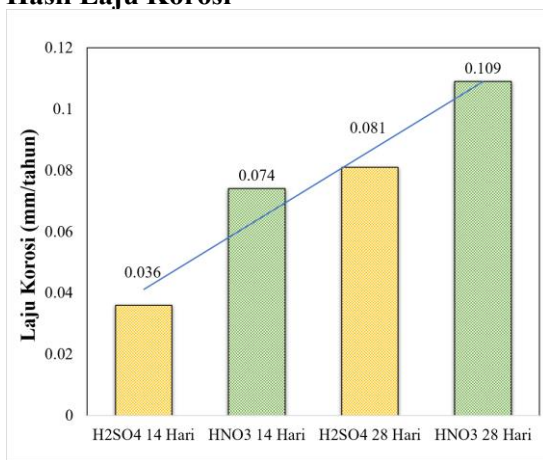


Gambar 9. Ukuran Spesimen Uji Tarik



Gambar 10. Ukuran Spesimen Uji Impak

### 3.2. Hasil Laju Korosi

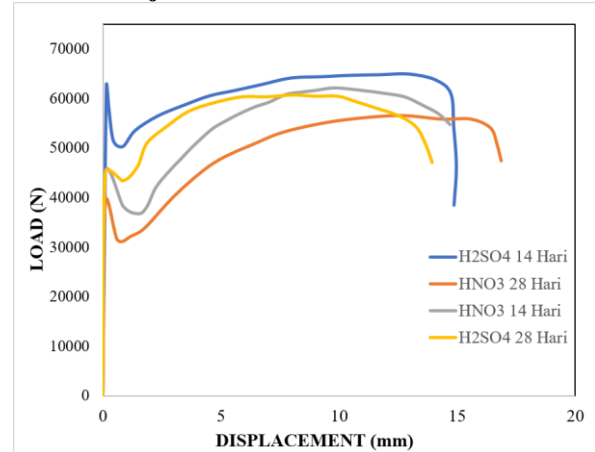


Gambar 11. Diagram Hasil Laju Korosi

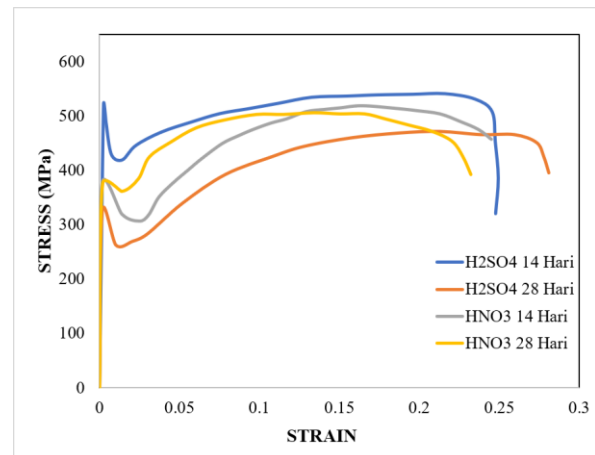
Pengujian laju korosi diuji menggunakan spesimen uji tarik. Berdasarkan grafik laju korosi, terlihat bahwa semakin lama waktu perendaman, semakin tinggi nilai laju korosi pada pelat Stainless Steel 316. Pada media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, laju korosi berada pada kisaran sekitar 0,036 – 0,081 mm/tahun, sedangkan pada media HNO<sub>3</sub> nilainya lebih tinggi, yaitu sekitar 0,074 – 0,109 mm/tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian, HNO<sub>3</sub> memberikan serangan korosi yang lebih besar dibandingkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Secara umum, kenaikan laju korosi tersebut dipengaruhi oleh bertambahnya kehilangan massa setelah perendaman. Nilai tertinggi terlihat pada spesimen HNO<sub>3</sub> 28 hari, sedangkan nilai terendah terdapat pada spesimen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 14 hari. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa jenis larutan dan durasi perendaman berpengaruh langsung terhadap tingkat korosi, dan pada penelitian ini larutan HNO<sub>3</sub> cenderung lebih korosif terhadap Stainless Steel 316 dibandingkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### 3.3. Hasil Uji Tarik



Gambar 12. Hasil Uji Tarik Pada Perendaman HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan Variasi Waktu Perendaman (Grafik load-displacement)



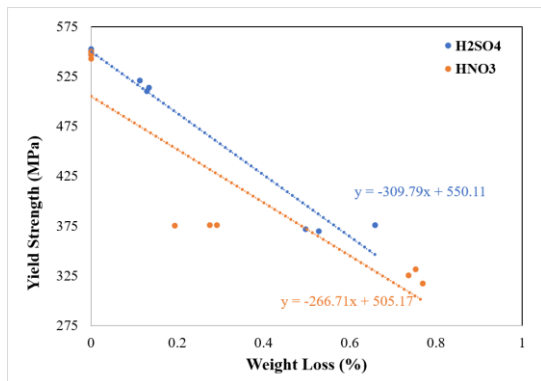
Gambar 13. Hasil Uji Tarik Pada Perendaman HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan Variasi Waktu Perendaman (Grafik stress-strain)

Berdasarkan grafik *load-displacement* dan *stress-strain*, perendaman pelat *Stainless Steel* 316 dalam larutan HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menunjukkan adanya perubahan pada kemampuan material dalam menahan beban tarik. Kurva H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 14 hari terlihat memiliki nilai beban dan tegangan maksimum paling tinggi, sedangkan HNO<sub>3</sub> 28 hari menunjukkan tegangan dengan nilai paling rendah. Perbedaan ini menandakan bahwa jenis larutan dan lama perendaman memengaruhi respons mekanik material, terutama terhadap kekuatan tariknya.

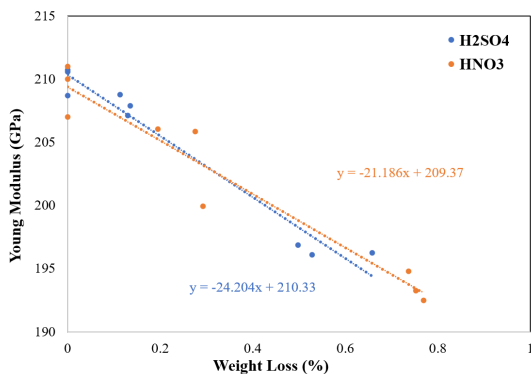
Secara umum, seluruh spesimen masih menunjukkan sifat deformasi plastis, tetapi perbedaan tinggi dan bentuk kurva memperlihatkan bahwa paparan larutan asam telah menurunkan performa mekanik material. Semakin lama waktu perendaman, kurva cenderung mengalami penurunan, yang mengindikasikan berkurangnya kemampuan material dalam menahan beban dan tegangan maksimum. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan terjadinya korosi pada permukaan spesimen yang menyebabkan

penurunan luas penampang efektif serta memicu kerusakan lokal pada material.

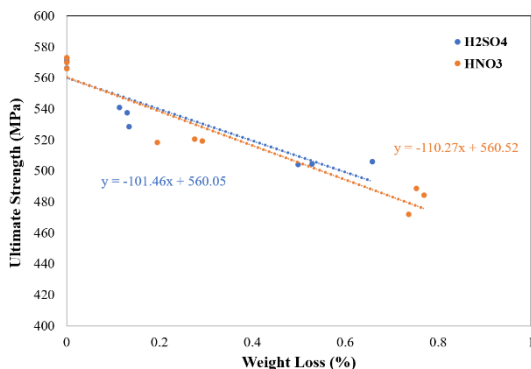
Dengan demikian, hasil grafik tersebut menunjukkan bahwa perendaman dalam HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> berpengaruh terhadap integritas struktural *Stainless Steel* 316. Pengaruh ini terlihat dari penurunan beban maksimum dan tegangan maksimum setelah perendaman, sehingga dapat disimpulkan bahwa media korosif dan durasi perendaman berperan penting dalam menentukan ketahanan mekanik material.



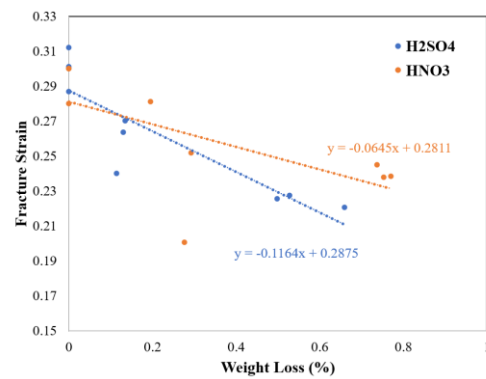
Gambar 14. Perbandingan Kehilangan Massa dan Parameter Hasil Uji Tarik (Grafik Yield Strength)



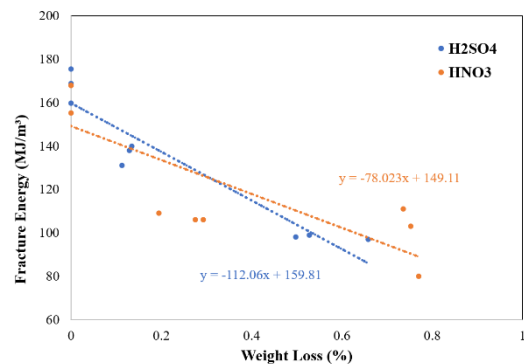
Gambar 15. Perbandingan Kehilangan Massa dan Parameter Hasil Uji Tarik (Grafik Young Modulus)



Gambar 17. Perbandingan Kehilangan Massa dan Parameter Hasil Uji Tarik (Grafik Ultimate Strength)



Gambar 16. Perbandingan Kehilangan Massa dan Parameter Hasil Uji Tarik (Grafik Fracture Strain)



Gambar 17. Perbandingan Kehilangan Massa dan Parameter Hasil Uji Tarik (Grafik Fracture Energy)

Pada grafik perbandingan kehilangan massa dan parameter hasil uji tarik di atas, HNO<sub>3</sub> menunjukkan pengaruh korosi yang lebih besar dibandingkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap pelat *Stainless Steel* 316. Hal ini dapat dilihat dari kecenderungan titik data dan garis regresi pada beberapa parameter mekanik yang menurun lebih tajam pada spesimen yang direndam dalam HNO<sub>3</sub>. Pada grafik *yield strength*, garis regresi HNO<sub>3</sub> memiliki kemiringan negatif yang lebih besar, yang menunjukkan bahwa peningkatan *weight loss* diikuti oleh penurunan kekuatan luluh yang lebih signifikan dibandingkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pola ini mengindikasikan bahwa korosi pada media HNO<sub>3</sub> lebih cepat melemahkan kemampuan material untuk menahan deformasi awal.

Pada grafik *Young's modulus*, kecenderungan yang sama juga terlihat. Nilai modulus elastisitas pada spesimen HNO<sub>3</sub> mengalami penurunan seiring bertambahnya *weight loss*, dan penurunannya tampak lebih jelas dibandingkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa korosi akibat perendaman dalam HNO<sub>3</sub> lebih memengaruhi kekakuan material, sehingga material menjadi lebih mudah mengalami perubahan bentuk elastis. Sementara itu, pada grafik *fracture energy*, spesimen HNO<sub>3</sub> juga menunjukkan penurunan yang lebih besar, yang berarti kemampuan material

untuk menyerap energi sebelum patah semakin berkurang. Dengan kata lain, korosi pada HNO<sub>3</sub> tidak hanya menurunkan kekuatan, tetapi juga menurunkan ketangguhan material.

Pada parameter *ultimate strength*, perbedaannya memang tidak setajam parameter lain karena nilai data kedua larutan masih relatif berdekatan. Namun secara umum, spesimen dengan *weight loss* yang lebih besar tetap cenderung menunjukkan penurunan kekuatan tarik maksimum. Pada grafik fracture strain, perubahan nilainya tidak terlalu besar, sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh korosi terhadap regangan patah masih relatif kecil dibandingkan pengaruhnya terhadap *yield strength*, modulus elastisitas, dan *fracture energy*. Meskipun demikian, tren umum tetap menunjukkan bahwa kenaikan *weight loss* akibat korosi berkaitan dengan penurunan performa mekanik.

Sifat mekanik uji tarik tiap spesimen ditunjukkan pada data berikut :

Tabel 5. Sifat Mekanik Tarik RAW Material

	RAW				
	Yield strength (MPa)	Young modulus (GPa)	Ultimate strength (MPa)	Fracture strain	Fracture energy (MJ/m <sup>3</sup> )
	546.82	208.673	566.428	0.287	159.75
	550.36	210.59	570.915	0.301	168.75
	552.809	210.73	572.65	0.312	175.57
Rata Rata	550	210	570	0.3	168

Tabel 6. Sifat Mekanik Tarik Material H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan Perendaman 14 Hari

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 14 Hari				
	Yield strength (MPa)	Young modulus (GPa)	Ultimate strength (MPa)	Fracture strain	Fracture energy (MJ/m <sup>3</sup> )
	520.83	208.78	540.78	0.24	131.54
	510.27	207.11	537.58	0.26	138.1
	513.91	207.89	528.5	0.27	140.79
Rata Rata	515	207.93	535.62	0.26	136.83
St Dev	5.3	0.83	6.37	0.154	4.1

Tabel 7. Sifat Mekanik Tarik Material H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan Perendaman 28 Hari

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 28 Hari				
	Yield strength (MPa)	Young modulus (GPa)	Ultimate strength (MPa)	Fracture strain	Fracture energy (MJ/m <sup>3</sup> )
	375.81	196.24	505.89	0.22	97.23
	369.58	196.1	504.36	0.22	99.46
	371.49	196.85	504.02	0.22	98.79
Rata Rata	372.29	196.4	504.76	0.22	60.56

St Dev	3.18	0.39	0.99	0.003	5.94
--------	------	------	------	-------	------

Tabel 8. Sifat Mekanik Tarik Material HNO<sub>3</sub> dengan Perendaman 14 Hari

	HNO <sub>3</sub> 14 Hari				
	Yield strength (MPa)	Young modulus (GPa)	Ultimate strength (MPa)	Fracture strain	Fracture energy (MJ/m <sup>3</sup> )
	375.25	206.02	518.17	0.24	109.48
	375.84	199.93	519.28	0.23	106.49
	375.83	205.85	520.39	0.23	106.82
Rata Rata	375.64	203.93	519.28	0.24	107.6
St Dev	0.33	3.46	1.11	0.004	0.929

Tabel 9. Sifat Mekanik Tarik Material HNO<sub>3</sub> dengan Perendaman 28 Hari

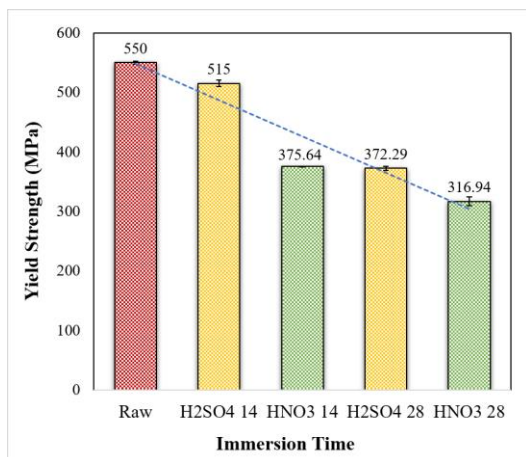
	HNO <sub>3</sub> 28 Hari				
	Yield strength (MPa)	Young modulus (GPa)	Ultimate strength (MPa)	Fracture strain	Fracture energy (MJ/m <sup>3</sup> )
	324.06	194.78	471.79	0.28	111.85
	330.64	193.25	487.57	0.25	103.02
	315.94	192.46	483.21	0.2	80.20
Rata Rata	316.94	192.46	484.21	0.2	98.36
St Dev	7.36	1.17	8.7	0.04	9.16

Berdasarkan hasil uji tarik, variasi media dan lama perendaman memengaruhi sifat mekanik material, terutama pada *yield strength*, *ultimate tensile strength*, *fracture strain*, dan *fracture energy*. Spesimen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 14 hari menunjukkan hasil terbaik, dengan *yield strength* 515 MPa dan *ultimate tensile strength* 535,62 MPa, disertai fracture strain 0,26 serta *fracture energy* 136,83 MJ/m<sup>3</sup>. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi ini material masih mampu mempertahankan kekuatan dan keuletannya dengan baik.

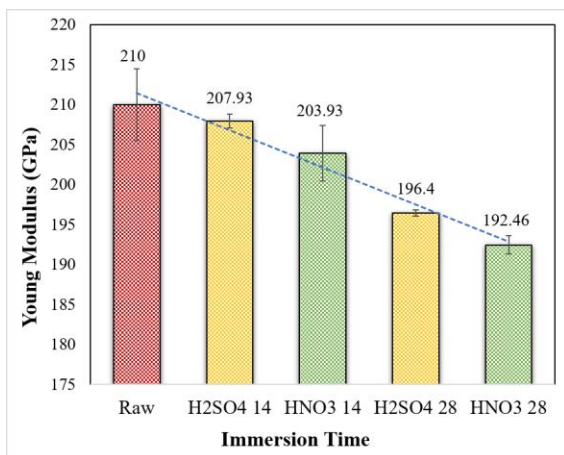
Seiring bertambahnya waktu perendaman menjadi 28 hari, sifat mekanik material cenderung menurun. Pada media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, penurunan terlihat cukup jelas, baik pada *yield strength*, *ultimate tensile strength*, maupun *fracture strain*. Hal ini menunjukkan bahwa perendaman lebih lama menyebabkan material semakin rentan mengalami degradasi, yang kemungkinan dipengaruhi oleh kerusakan permukaan dan berkurangnya kemampuan material menahan deformasi plastis. Tren serupa juga terjadi pada spesimen HNO<sub>3</sub>,

meskipun penurunannya tidak setajam pada H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

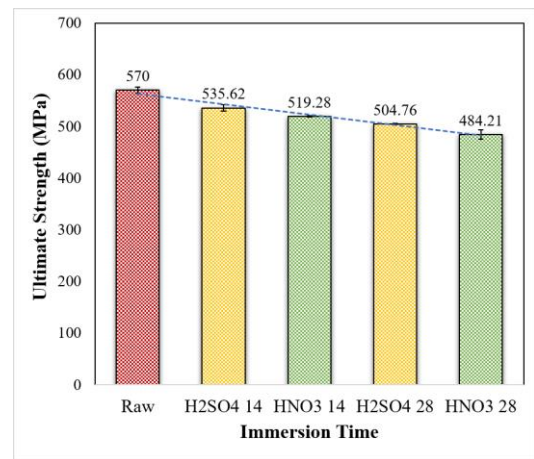
Di sisi lain, nilai *Young modulus* seluruh variasi berada pada rentang yang relatif berdekatan, yaitu sekitar 192–210 GPa, sehingga dapat dikatakan bahwa perendaman tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekakuan elastis material. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman, semakin menurun sifat tarik material. Berdasarkan nilai *ultimate tensile strength*, urutan performa material dari tertinggi ke terendah adalah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 14 hari, HNO<sub>3</sub> 14 hari, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 28 hari, dan HNO<sub>3</sub> 28 hari.



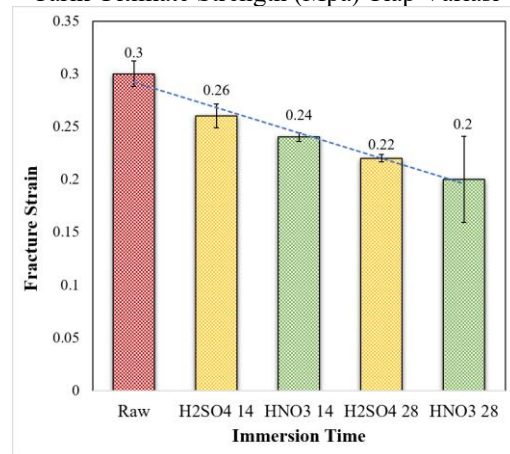
Gambar 18. Diagram Rata – Rata Perbandingan Uji Tarik Yield Strength (Mpa) Tiap Variasi



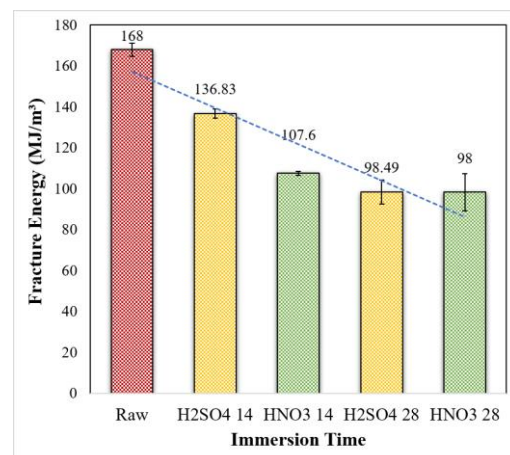
Gambar 19. Diagram Rata – Rata Perbandingan Uji Tarik Young Modulus (Gpa) Tiap Variasi



Gambar 20. Diagram Rata – Rata Perbandingan Uji Tarik Ultimate Strength (Mpa) Tiap Variasi



Gambar 21. Diagram Rata – Rata Perbandingan Uji Tarik Fracture Strain Tiap Variasi

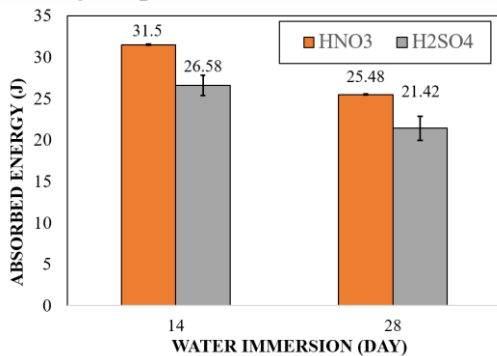


Gambar 22. Diagram Rata – Rata Perbandingan Uji Tarik Fracture Energy (MJ/m<sup>3</sup>) Tiap Variasi

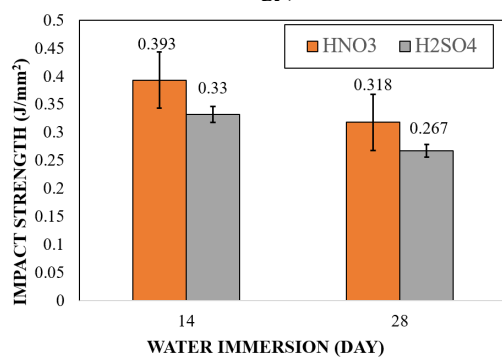


Gambar 23. Hasil Uji Tarik

### 3.4. Hasil Uji Impak



Gambar 24. Grafik Nilai Uji Impak (Absorbed Energy)



Gambar 25. Grafik Nilai Uji Impak (Impact Strength)

Gambar 24 dan 25 menunjukkan hasil pengujian impak. Terlihat bahwa perendaman pelat Stainless Steel 316 dalam larutan HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> memengaruhi kemampuan material dalam menyerap energi tumbukan serta ketahanan terhadap beban kejut. Nilai *absorbed energy* dan *impact strength* pada spesimen yang direndam dalam HNO<sub>3</sub> cenderung lebih tinggi dibandingkan spesimen yang direndam dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, baik pada waktu perendaman 14 hari maupun 28 hari.

Kondisi ini menunjukkan bahwa material yang terpapar HNO<sub>3</sub> masih mampu mempertahankan ketangguhan yang lebih baik, sedangkan perendaman dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menyebabkan penurunan sifat impak yang lebih besar.

Pada grafik *absorbed energy*, spesimen yang direndam dalam HNO<sub>3</sub> selama 14 hari memiliki nilai sekitar 31,50 J, kemudian menurun menjadi 25,48 J setelah 28 hari. Adapun pada perendaman dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, nilai *absorbed energy* tercatat sekitar 26,58 J pada 14 hari dan turun menjadi 21,43 J pada 28 hari. Penurunan nilai ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman, semakin rendah kemampuan material untuk menyerap energi sebelum mengalami patah. Dengan demikian, paparan larutan asam dalam jangka waktu lebih lama mengakibatkan material menjadi lebih rentan terhadap pembebanan impak.

Kecenderungan yang sama juga tampak pada grafik *impact strength*. Spesimen dalam HNO<sub>3</sub> menunjukkan nilai *impact strength* sebesar sekitar 0,39 J/mm<sup>2</sup> pada 14 hari dan menurun menjadi 0,31 J/mm<sup>2</sup> pada 28 hari. Sementara itu, pada perendaman dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, nilainya lebih rendah, yaitu sekitar 0,33 J/mm<sup>2</sup> pada 14 hari dan 0,26 J/mm<sup>2</sup> pada 28 hari. Hasil tersebut menegaskan bahwa ketahanan material terhadap beban kejut berkurang seiring bertambahnya lama perendaman, dengan penurunan yang lebih nyata terjadi pada spesimen yang direndam dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



Gambar 24. Hasil Uji Impak

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa perendaman pelat *Stainless Steel* 316 dalam larutan HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,0 M selama 14 dan 28 hari memengaruhi laju korosi dan sifat mekanik material. Semakin lama waktu perendaman, nilai *weight loss* cenderung meningkat dan performa mekanik spesimen menurun.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dalam HNO<sub>3</sub> memiliki kecenderungan laju korosi lebih tinggi serta penurunan yang lebih jelas pada beberapa parameter uji tarik. Hal ini sejalan dengan beberapa penelitian tentang *Corrosion and Corrosion Control* (2008), yang menyatakan bahwa kondisi ini terjadi karena HNO<sub>3</sub> bersifat *strong oxidizing acid* yang dapat mempercepat reaksi oksidasi pada permukaan stainless steel, sehingga degradasi lapisan pasif menjadi lebih intensif. Kerusakan lapisan pasif tersebut menyebabkan terjadinya pengurangan luas penampang efektif dan munculnya kerusakan lokal pada permukaan material, sehingga nilai *yield strength*, *ultimate tensile strength*, *Young's modulus*, dan *fracture energy* mengalami penurunan yang lebih besar.

Sementara itu, spesimen yang direndam dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menunjukkan penurunan sifat dampak yang lebih signifikan, ditandai dengan nilai *absorbed energy* dan *impact strength* yang lebih rendah dibandingkan HNO<sub>3</sub>. Hal ini disebabkan karena H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai *non-oxidizing acid* cenderung menghasilkan serangan korosi berupa *acid attack* dan kerusakan lokal yang memicu terbentuknya pit serta retak mikro pada permukaan material. Adanya cacat mikro tersebut menyebabkan material menjadi lebih getas dan kemampuan menyerap energi tumbukan menurun, sehingga ketangguhan impaknya lebih rendah.

Secara keseluruhan, kedua larutan asam sama-sama bersifat agresif terhadap *Stainless Steel* 316, namun memberikan mekanisme degradasi yang berbeda. Larutan HNO<sub>3</sub> lebih dominan meningkatkan laju korosi dan menurunkan kekuatan tarik material akibat degradasi lapisan pasif yang lebih intensif, sedangkan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> lebih dominan menurunkan ketangguhan dampak akibat terbentuknya kerusakan lokal dan retak mikro yang mempercepat sifat getas material.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Li, Q. Liu, W. Wang, L. Jin, and H. Xiao, "Corrosion behavior of aisi 316l stainless steel used as inner lining of bimetallic pipe in a seawater environment," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 6, pp. 1–10, 2021, doi: 10.3390/ma14061539.
- [2] Z. Wang, E. Paschalidou, A. Seyeux, S.

Zanna, V. Maurice, and P. Marcus, "Mechanisms of Cr and Mo Enrichments in the Passive Oxide Film on 316L Austenitic Stainless," vol. 6, no. September, pp. 1–12, 2019, doi: 10.3389/fmats.2019.00232.

- [3] A. Bahadori, *Corrosion and materials selection: a guide for the chemical and petroleum industries*. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=fZXqAwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=id&pg=PR16#v=onepage&q&f=false>
- [4] A. Fattah-alhosseini, M. A. Golozar, A. Saatchi, and K. Raeissi, "Effect of solution concentration on semiconducting properties of passive films formed on austenitic stainless steels," *Corros. Sci.*, vol. 52, no. 1, pp. 205–209, 2010, doi: 10.1016/j.corsci.2009.09.003.
- [5] A. Fattah-alhosseini, F. Soltani, F. Shirsalimi, B. Ezadi, and N. Attarzadeh, "The semiconducting properties of passive films formed on AISI 316 L and AISI 321 stainless steels: A test of the point defect model (PDM)," *Corros. Sci.*, vol. 53, no. 10, pp. 3186–3192, 2011, doi: 10.1016/j.corsci.2011.05.063.
- [6] A. B. Wicaksono, H. Sutanto, and W. Ruslanc, "Effects of immersion in the NaCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions on the corrosion rate, microstructure, and hardness of stainless steel 316L," *Res. Eng. Struct. Mater.*, vol. 9, no. 4, pp. 1153–1168, 2023, doi: 10.17515/resm2023.695ma0220.
- [7] P. Fauvet, F. Balbaud, R. Robin, Q. T. Tran, A. Mugnier, and D. Espinoux, "Corrosion mechanisms of austenitic stainless steels in nitric media used in reprocessing plants," *J. Nucl. Mater.*, vol. 375, no. 1, pp. 52–64, 2008, doi: 10.1016/j.jnucmat.2007.10.017.
- [8] Y. Arai, "Crevice Corrosion of Type Nitric and Stainless Steels in Solutions \* Honda \*\*\*, Takahashi • ò Saburo • ò • ò Shouji • ò , Yuko Arai \*\*, Katsu.,mi Mabuchi \*\*, Takashi Tsunenobu Yokosuka • ò • ò and Hideaki," vol. 172, pp. 165–172, 2002.
- [9] P. Zhang, Jian Ju, "Corrosion Behaviour of 316L Stainless Steel in Hot Dilute Sulphuric Acid Solution with Sulphate and NaCl", [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/333062615\\_Corrosion\\_Behaviour\\_of\\_316L\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Hot\\_Dilute\\_Sulphuric\\_Acid\\_Solution\\_with\\_Sulphate\\_and\\_NaCl](https://www.researchgate.net/publication/333062615_Corrosion_Behaviour_of_316L_Stainless_Steel_in_Hot_Dilute_Sulphuric_Acid_Solution_with_Sulphate_and_NaCl)
- [10] E. Khamme and R. Sakdanuphab, "Study of corrosion properties of carbon steel, 304 and 316L stainless steels in sulfuric acid and their degradation products," *J. Met.*

- Mater. Miner.*, vol. 33, no. 4, pp. 1–7, 2023, doi: 10.55713/JMMM.V33I4.1672.
- [11] N. Momčilović, N. Ilić, M. Kalajdžić, Š. Ivošević, and A. Petrović, “Effect of Corrosion-Induced Structural Degradation on the Ultimate Strength of a High-Tensile-Steel Ship Hull,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 5, 2024, doi: 10.3390/jmse12050745.
- [12] E. Mokhtari, A. Heidarpour, and F. Javidan, “Mechanical performance of high strength steel under corrosion : A review study,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 220, no. February, p. 108840, 2024, doi: 10.1016/j.jcsr.2024.108840.
- [13] P. Zhang, H. Jian, L. Yin, J. Liu, Z. Cai, and Y. Tong, “Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Cr-Rich 316 Stainless Steel Coatings Fabricated by the TIG Process Using Flux-Cored Wires,” *Molecules*, vol. 29, no. 8, 2024, doi: 10.3390/molecules29081785.
- [14] B. Yavuzyeğit *et al.*, “Surface & Coatings Technology Influence of ECO coating thickness and microstructural defects on corrosion , corrosion fatigue , and stress corrosion cracking in biomedical Mg alloys,” *Surf. Coat. Technol.*, vol. 529, no. April, p. 133511, 2026, doi: 10.1016/j.surfcoat.2026.133511.
- [15] Y. Xie *et al.*, “Corrosion and Contamination of 316L Stainless Steel in Simulated HNO<sub>3</sub>-Based Spent Nuclear Fuel Reprocessing Environments with Cesium and Strontium,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 61, no. 26, pp. 9342–9355, 2022, doi: 10.1021/acs.iecr.2c01424.
- [16] A. Jalili *et al.*, “Corrosion behavior of AA5182 Al – Mg casts in HNO<sub>3</sub> : A comparative study of thin-strip and direct-chill casting,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 41, no. August 2025, pp. 625–634, 2026, doi: 10.1016/j.jmrt.2025.12.087.