



## REKAYASA MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

P-ISSN : 23381663 <> E-ISSN : 24776041 Subject Area : Engineering



0.77439  
Impact Factor



2366  
Google Citations



Sinta 2  
Current Accreditation

[Google Scholar](#) [Garuda](#) [Website](#) [Editor URL](#)

### History Accreditation

2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025

**Garuda** [Google Scholar](#)

#### STUDI KASUS IDENTIFIKASI KERUSAKAN MESIN BERDASARKAN SINYAL GETARAN

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 305-318](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.761](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### PENGARUH MODE GETAR DAN ASPEK RASIO TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN PADA FIBER METAL LAMINATES

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 319-329](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.817](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### SIMULASI PERUBAHAN BEBAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP: STUDI KASUS DI GORONTALO UTARA

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 331-342](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.838](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### RISK OF INJURY COMPARISON BETWEEN REGULAR AND KNUCKLE PUSH-UP BASED ON KINEMATIC PARAMETER ANALYSIS

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 343-349](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.941](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### PERMODELAN INVERSI PEREDAM MAGNET-REOLOGI BERBASIS JARINGAN SARAF TIRUAN UNTUK SISTEM KENDALI

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 351-359](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.962](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### PENGARUH JARAK NOSEL UDARA DENGAN OUTLET TERHADAP DIS-TRIBUSI UKURAN BUBBLE YANG DIHASILKAN OLEH MBG TIPE SWIRL

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 361-371](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.977](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### STUDI KOMPARASI MOTOR BAKAR 6 TAK DENGAN SIKLUS DUA KALI PENGAPIAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR PERTAMAX DAN ETANOL

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 373-381](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.979](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### ANALISA TRANSFER PANAS PADA KONDENSASI LUAR DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERANT R-134a

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 383-391](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.998](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### RANCANG BANGUN MESIN ROASTING DI IKM REPUBLIK TANI MANDIRI

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 393-406](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.1000](#) [Accred : Sinta 2](#)

#### EFFECTS OF CROSSWIND ON THE DRAG OF MEDIUM SPEED TRAINS

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya [Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 2 \(2022\) 407-415](#)  
2022 [DOI: 10.21776/jrm.v13i2.1011](#) [Accred : Sinta 2](#)

[View more...](#)

# REKAYASA JURNAL MESIN

**TERAKREDITASI SINTA PERINGKAT 2**  
**(Vol 7 No 1 Tahun 2016 - Vol 11 No 3 Tahun 2020)**  
**SK No. 21/E/KPT/2018**

Jurnal

ONLINE : [rekayasamesin.ub.ac.id](http://rekayasamesin.ub.ac.id) (ISSN Online : 2477 - 6041)

**REKAYASA  
MESIN**

**VOL. 10**

**NO. 2**

**HAL.  
105-207**

**Malang,  
AGUSTUS 2019**

**ISSN  
2338-1663**

HOME | ABOUT | LOGIN | REGISTER | SEARCH | CURRENT | ARCHIVES | ANNOUNCEMENTS | SITE MAP | CONTACT

Home > About the Journal > Editorial Policies

## Editorial Policies

- Focus and Scope
- Section Policies
- Peer Review Process
- Open Access Policy
- Archiving

### Focus and Scope

**Rekayasa Mesin** is published by Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya, Malang-East Java-Indonesia. **Rekayasa Mesin** is an open-access peer reviewed journal that mediates the dissemination of academicians, researchers, and practitioners in mechanical engineering. **Rekayasa Mesin** accepts submission from all over the world, especially from Indonesia.

**Rekayasa Mesin** aims to provide a forum for national and international academicians, researchers and practitioners on mechanical engineering to publish the original articles. All accepted articles will be published and will be freely available to all readers with worldwide visibility and coverage.

The scope of **Rekayasa Mesin** are **the specific topics issues** in mechanical engineering such as design, energy conversion, manufacture, and metallurgy.

All articles submitted to this journal can be written in **Bahasa and English Language**.

### Section Policies

#### Articles

☒ Open Submissions ☒ Indexed ☒ Peer Reviewed

### Peer Review Process

**Rekayasa Mesin** is an open-access **peer reviewed** journal that mediates the dissemination of academicians, researchers, and practitioners in mechanical engineering.

Submitted articles will be pre-reviewed by the editors, determining whether the manuscripts have conformed to Jurnal Rekayasa Mesin author guidelines. Articles which have conformed to the journal's template will be peer-reviewed. **Rekayasa Mesin** is a double-blind peer-reviewed journal

which involves many reviewers of experts in the relevant field of mechanical engineering. The final decision of articles acceptance is decided by the editors according to reviewers' suggestion.

Generally, the candidate of reviewers will be chosen based on their reputation in the international publication number and quality. Next step, The Editor send the invitation letter for each candidate of the reviewer. After the candidate of reviewer informed their availabilities for reviewing process, Editor creates an account for each reviewer and then send manuscript by OJS.

Plagiarism and self-plagiarism are not allowed. Jurnal Rekayasa Mesin uses plagiarism detector to screen articles for detecting plagiarism. Detection of overlapping and similar text is used there and so quotations and appropriate citations have to be used whenever required.

### Open Access Policy

This journal provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge.

### Archiving

This journal utilizes the LOCKSS system to create a distributed archiving system among participating libraries and permits those libraries to create permanent archives of the journal for purposes of preservation and restoration. [More...](#)

#### About Rekayasa Mesin

- Focus and Scope
- Editorial Team
- Reviewer Acknowledgement
- Publication Ethics
- Visitor Statistics
- Author Fees

#### Information for Author

- Author Guidelines
- Template
- Online Submissions
- Online Submissions and Revisions Guidelines (pdf and video)

#### Tools



- Mendeley User Guide
- Insert Citation using Mendeley



#### Index



#### User

HOME ABOUT LOGIN REGISTER SEARCH CURRENT ARCHIVES ANNOUNCEMENTS SITE MAP CONTACT

Home > Archives > Vol 10, No 2 (2019)

## Vol 10, No 2 (2019)

DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2019.010.02>

### Table of Contents

#### Articles

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------|
|  Pengaruh Penggunaan Fan dan Debit Fluida terhadap Efisiensi Kerja Atmospheric Water Generator<br><i>Bagus Prabowo Vidiyanto, Widya Aryadi, Ahmad Mustamil Khoiron, Samsudin Anis</i>                                          | PDF | pp.<br>105-<br>112 |
|  Pengaruh Temperatur terhadap Laju Reaksi Tar Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni pada Rotary Kiln<br><i>Andi Nugroho, Widya Wijayanti, Mega Nur Sasongko</i>                                                                   | PDF | pp.<br>113-<br>120 |
|  Sintesis Karbon Aktif Berbahan Dasar Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> Menggunakan Aktivator KOH dan Iradiasi Gelombang Mikro<br><i>Agung Sukoyo, Gunomo Djoyowasito, Yusuf Wibisono</i>                                   | PDF | pp.<br>121-<br>129 |
|  Pengaruh Hardening dengan Media Quenching Fluida Getah Pohon Pisang terhadap Struktur Mikro dan Komposisi Kimia Baja Karbon Sedang<br><i>Antonius Pangalanan, Roymons Jimmy Dimu</i>                                        | PDF | pp.<br>131-<br>138 |
|  Pengaruh Penggunaan Katalis Kalium Hidroksida pada Campuran Minyak Nabati dan Air terhadap Produksi Hidrogen dengan Menggunakan Metode Steam Reforming<br><i>Anas Mukhtar, I Nyoman Gede Wardana, Agung Sugeng Widodo</i>   | PDF | pp.<br>139-<br>146 |
|  Performansi Alat Penukar Kalor Udara-Tanah (Earth-Air Heat Exchanger) dengan Siklus Terbuka di Kota Medan<br><i>Terang U.H.S. Ginting Manik, Tulus Burhanuddin Sitorus</i>                                                  | PDF | pp.<br>147-<br>154 |
|  Pengaruh Variasi Diameter Lubang dan Bentuk Profil Elektroda serta Jumlah Pelat Netral terhadap Produksi Brown Gas<br><i>Henry Valentino de Fretes, Sudjito Soeparman, Denny Widhiyanuriyawan</i>                           | PDF | pp.<br>155-<br>163 |
|  Ekstraksi Parameter Statistik Domain Waktu dan Domain Frekuensi untuk Mendeteksi Kavitas pada Pompa Sentrifugal Berbasis Principal Component Analysis (PCA)<br><i>Berli Paripurna Kamel, Niko Prastomo, Bambang Riyanta</i> | PDF | pp.<br>165-<br>176 |
|  Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Gesek Baja SCM415H untuk Aplikasi Poros Roda Belakang<br><i>Lydia Anggraini, Bobby Salim Putra</i>                                                                      | PDF | pp.<br>177-<br>184 |
|  Prediksi Laju Perambatan Retak Melar pada Baja Austenitik 316L Menggunakan Data Uji Melar dan Metode NSW<br><i>I Made Wicaksana Ekaputra</i>                                                                                | PDF | pp.<br>185-<br>192 |
|  Pengaruh Diameter dan Kecepatan Kipas Kondensor terhadap Suhu AC Mobil<br><i>Muh. Agung Pribadi, Endry Maydiant, Sukardi Sukardi</i>                                                                                        | PDF |                    |

#### About Rekayasa Mesin

- Focus and Scope
- Editorial Team
- Reviewer Acknowledgement
- Publication Ethics
- Visitor Statistics
- Author Fees

#### Information for Author

- Author Guidelines
- Template
- Online Submissions
- Online Submissions and Revisions Guidelines (pdf and video)

#### Tools



- Mendeley User Guide
- Insert Citation using Mendeley



#### Index



#### User

pp.  
193-  
198

Evolusi Sistem Bahan Bakar LPG: Tinjauan Literatur  
*Muji Setiyo, Budi Waluyo*

PDF

pp.  
199-  
207

|                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Username                             | <input type="text"/>     |
| Password                             | <input type="password"/> |
| <input type="checkbox"/> Remember me |                          |
| <input type="button" value="Login"/> |                          |

### Notifications

- [View](#)
- [Subscribe](#)

### Journal Content

|                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Search                                | <input type="text"/>               |
| Search Scope                          | <input type="button" value="All"/> |
| <input type="button" value="Search"/> |                                    |

### Browse

- [By Issue](#)
- [By Author](#)
- [By Title](#)

### Information

- [For Readers](#)
- [For Authors](#)
- [For Librarians](#)

### Keywords

AISI 316L Biogas Catalyst Combustion  
Characteristics Composite **Efficiency**  
Ethanol Hardness Heat Transfer Heating Rate  
Mahogany **Microstructure** Performance  
Pressure Drop **Pyrolysis Surface**  
Roughness Taguchi Method  
**Temperature Tensile Strength**  
Vibration composite

### Current Issue

|             |     |            |     |            |     |
|-------------|-----|------------|-----|------------|-----|
| <b>ATOM</b> | 1.0 | <b>RSS</b> | 2.0 | <b>RSS</b> | 1.0 |
|-------------|-----|------------|-----|------------|-----|

### REKAYASA MESIN

Universitas Brawijaya Journal - © 2015  
P-ISSN 2338-1663 | E-ISSN 2477-6041  
Powered by [Open Journal System 2.4.7.1](#)



This work is licensed under a  
[Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](#)

**I Made Wicaksana  
Ekaputra**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Sanata Dharma  
Jurusan Teknik Mesin  
made@usd.ac.id

## PREDIKSI LAJU PERAMBATAN RETAK MELAR PADA BAJA AUSTENITIK 316L MENGUNAKAN DATA UJI MELAR DAN METODE NSW

*In this study, an experimental creep crack growth rate (CCGR) of austenitic steel AISI 316L was predicted from the creep constant values and Nibkin Smith Webster (NSW) method. The experimental CCGR data were obtained from the CCG test under four different load conditions ranging from 6000 to 7000 N at 525 °C. The creep constants, A and n were obtained from the uniaxial creep rupture test under various load conditions, ranging from 180 to 225 Mpa at 525 °C. The creep constants were determined both from the minimum and average creep strain rate data. By applying the creep constants and NSW method, the predicted CCGR curve was generated and compared with the experimental CCGR curve. The result showed that the predicted CCGR curve based on the minimum creep strain rate data was found to be close to the experimental CCGR curve. The significant portion of creep crack growth's lifetime of austenitic steel AISI 316L was occupied by the crack propagation (steady stage) period rather than crack initiation and/or fracture periods. In addition, plane stress and strain conditions could also be determined from the predicted CCGR curve. It was observed that the experimental CCGR curve was located near the plane strain condition where no deformation occurred in the lateral direction.*

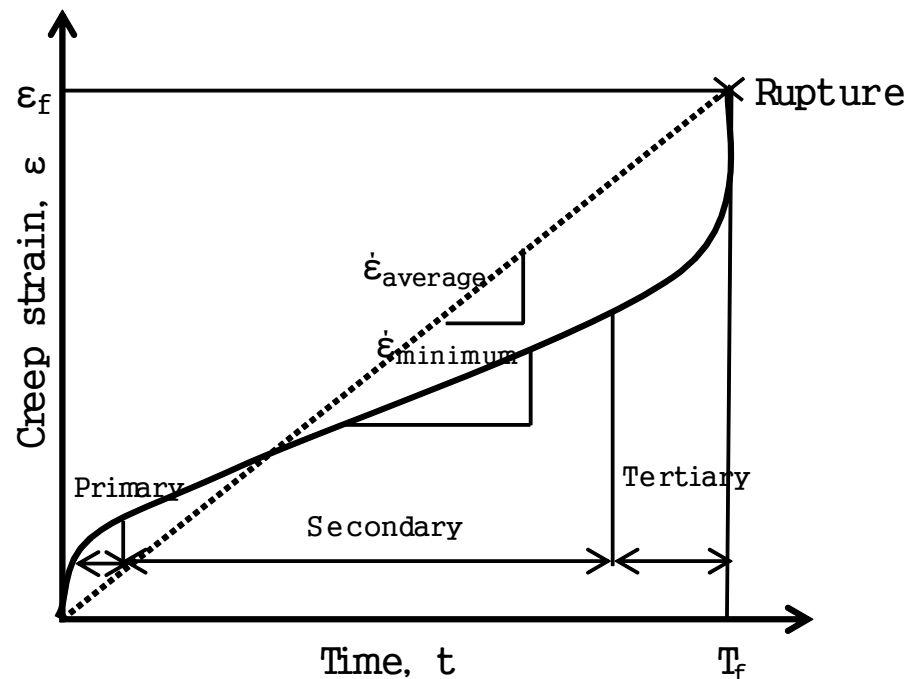
**Keywords:** Austenitic Steel AISI 316L, CCGR, Creep Rupture, NSW.

### 1. PENDAHULUAN

Baja austenitik AISI 316L adalah salah satu kandidat material yang sangat cocok digunakan untuk komponen-komponen yang beroperasi pada lingkungan kerja yang ekstrim, khususnya yang bersifat korosif dan temperature yang cukup tinggi seperti pada pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) dan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) [1-2]. Dengan komposisi kimia terbesar diantaranya adalah *Chromium* (Cr), *Molybdenum* (Mo), dan *Nickel* (Ni), serta komposisi *Carbon* (C) yang rendah (<0.03 C wt-%), menjadikan AISI 316L memiliki beberapa sifat mekanis yang unggul, diantaranya tahan pada lingkungan korosif dan suhu tinggi, sifat mampu bentuk dan las yang baik, serta tidak dapat dimagnetkan [3-6].

Pada kondisi temperatur yang tinggi dan pembebanan yang konstan, suatu material dapat mengalami salah suatu bentuk kegagalan yang dinamakan dengan kegagalan melar (*creep rupture*). Kegagalan melar yang terjadi pada suatu struktur perlu diperhitungkan dengan seksama dan hati-hati, karena prosesnya terjadi dalam waktu yang cukup lama dan pada periode tertentu akan gagal secara tiba-tiba. Kegagalan melar dalam mekanisme perpatahan (*fracture mechanics*) diklasifikasikan sebagai jenis perpatahan yang bergantung pada waktu (*time-dependent fracture mechanics*) [6]. Gambar 1 menunjukkan kurva regangan terhadap fungsi waktu yang merepresentasikan kurva melar secara umum. Pada kurva tersebut, terdapat tiga tahapan proses, yaitu tahap pertama (*primary stage*), kedua (*secondary stage*), dan ketiga (*tertiary stage*). Pada tahap pertama material akan mengalami penguatan atau disebut dengan *strain hardening*, lalu dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu tahap stabil atau disebut juga dengan *steady stage*, dan terakhir dilanjutkan dengan tahap percepatan atau disebut juga dengan *acceleration stage*, dimana material akan mengalami patah secara tiba-tiba. Dilihat dari

proporsi waktu prosesnya, tahapan kedua pada kurva melar memiliki presentase waktu terbesar, dimana hampir sebagian besar proses waktu melar terjadi pada tahap ini.



**Gambar 1:** Kurva melar.

Setelah melewati tahap kedua, material akan mengalami percepatan perambatan retak dan akhirnya patah. Saat perambatan retak mencapai tahap ketiga, maka dalam waktu yang sangat singkat material akan patah secara tiba-tiba. Oleh sebab itu laju perambatan retak pada tahap kedua perlu diprediksi sebelum terjadinya percepatan retak pada tahap ketiga [7-9]. Dalam melakukan perhitungan laju perambatan retak melar (*creep crack growth rate*) diperlukan suatu pengujian yang dinamakan dengan pengujian perambatan retak melar (*creep crack growth*), yang kemudian dianalisis menggunakan suatu parameter yang disebut dengan parameter  $C^*$  [7-8]. Kendala yang sering dihadapi dalam melakukan pengujian perambatan retak melar diantaranya adalah waktu yang tepat untuk menghentikan pengujian sebelum material mencapai tahap ketiga dan kesulitan dalam penentuan kondisi tegangan pada permukaan baik berupa kondisi *plane stress* atau *strain*. Oleh sebab itu, sebagai salah satu bentuk pendekatan, beberapa penelitian telah dilakukan pada beberapa material untuk memprediksi laju perambatan retak hanya dengan menggunakan konstanta melar (*creep constants*) yang diperoleh dari data pengujian melar (*uniaxial creep rupture*), dan dirumuskan menggunakan metode *Nibkin Smith Webster* atau lebih dikenal dengan metode NSW [10-15].

Dalam artikel ini, sejumlah data laju perambatan retak melar dan konstanta melar pada baja austenitik AISI 316L diperoleh masing-masing dari pengujian perambatan retak melar dan melar. Pengujian perambatan retak melar diperoleh berdasarkan kondisi pembebanan konstan yang bervariasi antara 6000 hingga 7000 N dan temperature konstan sebesar 525 °C. Sedangkan pada pengujian melar, pengujian dilakukan dengan pembebanan konstan yang bervariasi antara 180 hingga 225 MPa dan temperature konstan sebesar 525 °C. Dari data pengujian melar, nilai konstanta melar diperoleh dan digunakan untuk menghitung prediksi laju perambatan retak melar menggunakan metode NSW. Prediksi laju perambatan retak melar kemudian dibandingkan dengan data eksperimen laju perambatan retak melar yang terjadi pada baja austenitik AISI 316L.

## 2. METODE DAN BAHAN

Komposisi kimia untuk baja austenitik AISI 316L secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 1. Spesimen yang digunakan dalam pengujian berupa batang logam yang dibentuk melalui proses *hot rolling* hingga terbentuk plat dengan ketebalan 10 mm. Spesimen yang digunakan untuk pengujian melar berbentuk silinder dengan panjang 30 mm dan diameter 6 mm. Pengujian melar mengikuti prosedur yang ada pada standar ASTM E139. Pengujian melar dilakukan dengan beberapa variasi pembebanan konstan antara 180 hingga 225 MPa pada temperature 525 °C. Temperatur pada saat pengujian dipertahankan pada batas yang diizinkan yaitu  $\pm 2$

<sup>9</sup>C. Berdasarkan kurva melar yang diperoleh dari masing-masing pembebanan, nilai konstanta melar,  $A$  dan  $n$  diperoleh dengan menerapkan persamaan *Norton* pada kurva logaritmik tegangan sebagai fungsi laju regangan melar (*creep strain rate*). Laju regangan melar diperoleh dengan menarik garis regresi menggunakan metode *linear square fitting method* (LSFM), masing-masing pada tahap kedua/regangan melar minimum (*minimum creep strain rate*) dan keseluruhan tahap/regangan melar rata-rata (*average creep strain rate*) seperti yang terlihat pada gambar 1. Nilai Konstanta melar,  $A$  dan  $n$  untuk masing-masing laju regangan melar minimum dan rata-rata dapat dilihat pada tabel 2.

Sebagai data acuan, pengujian perambatan retak melar (CCG) dilakukan dengan menerapkan pembebanan yang bervariasi antara 6000 hingga 7000 N pada temperatur 525 °C. pengujian dilakukan mengikuti prosedur yang ada pada standar ASTM E1475 [16]. Spesimen yang digunakan dalam pengujian berjenis *compact tension* (CT), seperti yang terlihat pada gambar 2. Pada saat pengujian, perubahan panjang spesimen akibat deformasi diukur menggunakan *linear variable displacement transducer* (LVDT). Perambatan retak pada spesimen CT diukur menggunakan metode *direct current potential drop* (DCPD). Tegangan *output* yang diperoleh melalui metode DCPD dikonversi menjadi panjang retakan menggunakan persamaan *Johnson* [16] sebagai berikut:

$$a = \frac{2W}{\pi} \cos^{-1} \frac{\cosh(\pi Y_0/2W)}{\cos V/V_0 [\cosh^{-1}\{(\cosh(\pi Y_0/2W))/\cos(\pi a_0/2W)\}]} \quad (1),$$

dimana  $a$  = panjang retak,  $a_o$  = panjang retak awal,  $V$  = tegangan *output*,  $V_o$  = tegangan *output* awal,  $W$  = lebar spesimen, and  $Y_o$  = jarak antara kawat tegangan *output* pada spesimen CT.

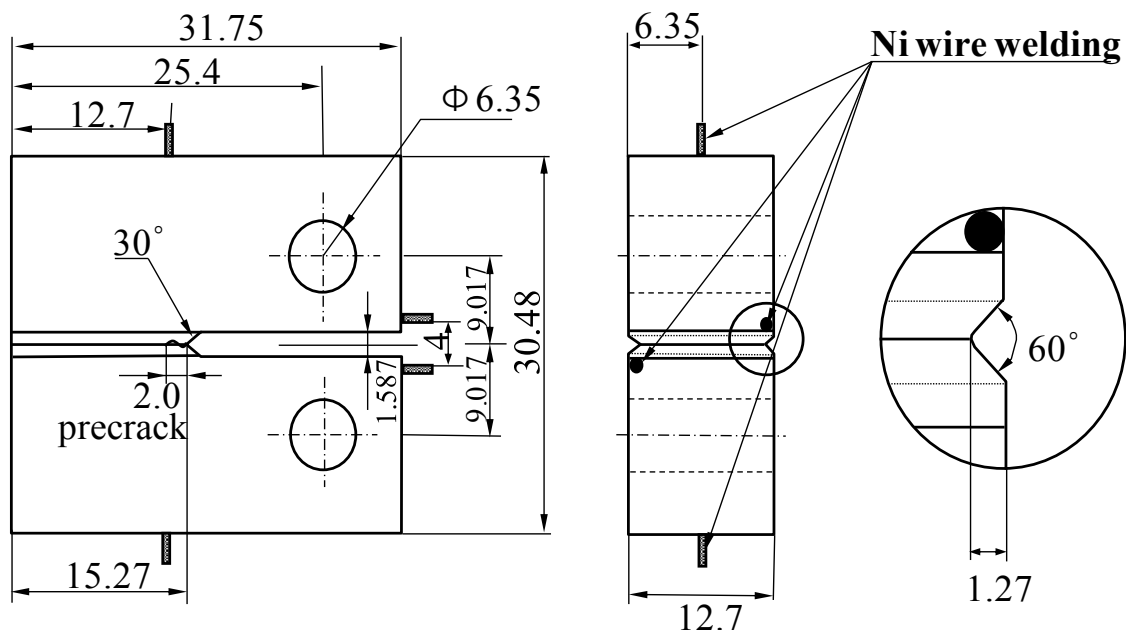
Laju perambatan retak melar yang diperoleh dari pengujian perambatan retak melar dikalkulasi dan dianalisis menggunakan parameter  $C^*$  [7-8]. Relasi antara laju perambatan retak dan parameter  $C^*$  dirumuskan berdasarkan persamaan *power* sebagai berikut,

$$\frac{da}{dt} = B(C^*)^q \quad (2),$$

dimana nilai  $B$  dan  $q$  masing-masing adalah konstanta laju perambatan retak.

**Tabel 1:** Komposisi kimia dari AISI 316L (wt.%).

| Fe   | C     | Si   | Mn    | P     | S     | Cr     | Ni     | Mo    | Fe     |
|------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| bal. | 0.022 | 0.47 | 1.899 | 0.046 | 0.008 | 17.501 | 10.018 | 2.096 | 67.290 |



**Gambar 2:** Spesimen CT.

Metode NSW didasarkan atas pendekatan dimana area melar yang terdapat pada ujung area retakan dapat mewakili keseluruhan proses perambatan retak. Gambar 3 menunjukan skema ilustrasi dari area melar yang terdapat pada ujung retakan ( $r_c$ ). Penghitungan laju perambatan retak melar menggunakan metode NSW dibedakan menjadi dua berdasarkan regresi garis yang dilakukan pada kurva melar, yaitu laju regangan melar minimum dan rata-rata. Penggunaan laju regangan melar minimum digunakan dengan mengabaikan tahap pertama dan ketiga pada kurva melar. Pengabaian ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa proporsi waktu pada tahap-tahap tersebut tidak terlalu signifikan [7-8]. Namun pada kasus-kasus tertentu, proporsi waktu pada tahap-tahap tersebut perlu dipertimbangkan, sehingga perlu dilakukan regresi secara keseluruhan mulai dari tahap satu, dua dan tiga pada kurva melar, atau disebut dengan laju regangan melar rata-rata. Penggunaan semua tahapan pada kurva melar akan memberikan sejumlah deviasi terhadap prediksi laju perambatan retak melar yang cukup besar apabila ternyata proporsi waktu pada tahap satu dan tiga cukup memberi kontribusi. Laju perambatan retak melar berdasarkan laju regangan melar minimum dan rata-rata dengan menggunakan pendekatan metode NSW dirumuskan masing-masing pada persamaan (3) dan (4) berikut [10-12]:

$$\dot{a}_s^{NSW} = \frac{(n+1)}{e_f^*} \left[ \frac{C^*}{I_n} \right]^{\frac{n}{n+1}} (Ar_c)^{\frac{1}{n+1}} \quad (3),$$

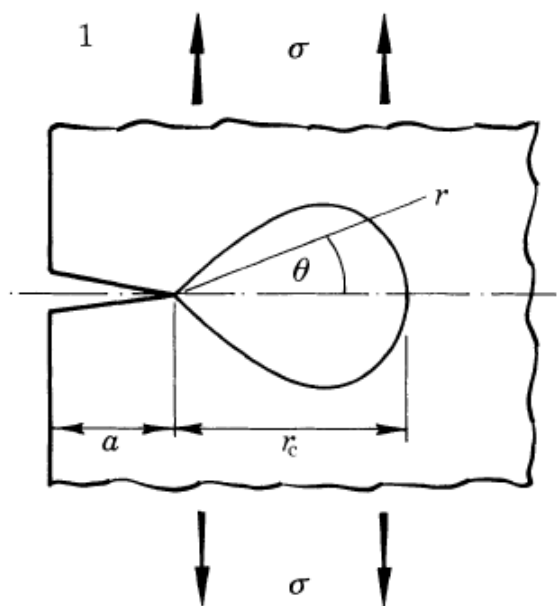
$$\dot{a}_s^{NSW} = \left( \frac{n+1}{n+1-v} \right) \left[ \frac{C^*}{I_n \sigma_0} \right]^{\frac{v}{n+1}} \frac{r_c^{\frac{1}{n+1}}}{e_f^*} \quad (4),$$

dimana  $A$  dan  $n$  adalah konstanta melar,  $\sigma_0$  adalah tegangan normalising,  $v$  adalah konstanta dari *temperature dependent*,  $r_c$  adalah area melar, dan  $e_f^*$  adalah nilai keuletan akibat melar. Nilai  $I_n$  dibedakan berdasarkan kondisi *plane stress* dan *strain* yang merupakan fungsi dari konstanta melar, dimana masing-masing diperoleh berdasarkan persamaan (5) dan (6) berikut,

$$I_n = 10.3 \sqrt{0.13 + \frac{1}{n} - \frac{4.6}{n}} \quad (5),$$

$$I_n = 7.2 \sqrt{0.12 + \frac{1}{n} - \frac{29}{n}} \quad (6).$$

Nilai  $e_f^*$ ,  $\sigma_0$ ,  $I_n$ ,  $r_c$ , dan  $v$  untuk masing-masing data berdasarkan laju regangan melar minimum dan rata-rata untuk kondisi *plane stress* dan *strain* pada baja austenitik AISI 316L dirangkum dalam tabel 2.

**Gambar 3.** Area melar.

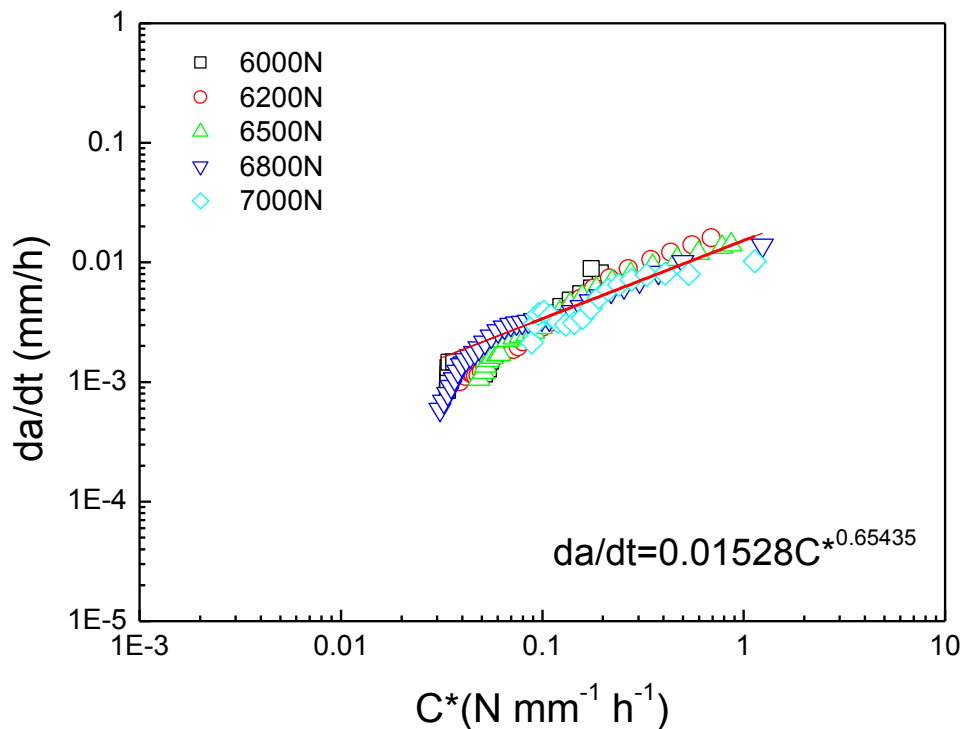
### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Laju perambatan retak melar berdasarkan data pengujian perambatan retak melar

Gambar 4 menunjukkan kurva laju perambatan retak melar berdasarkan data pengujian perambatan retak melar untuk material AISI 316L pada temperatur 525 °C dengan beberapa variasi pembebanan konstan. Beberapa hasil penelitian telah melaporkan bahwa laju perambatan retak melar umumnya diawali oleh kurva *non-linear* pada tahap pertama atau yang sering disebut dengan istilah *tail* dan dilanjutkan oleh garis linear pada tahap kedua. Pada beberapa material, kurva *non-linear* tersebut memiliki porsi waktu melar yang cukup besar, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut [7-8]. Dari gambar 4 terlihat bahwa kurva melar pada material AISI 316L diawali oleh tahapan pertama berupa kurva *non-linear* yang mengarah ke bawah. Kurva *non-linear* tersebut terjadi akibat kerusakan yang telah terakumulasi dan menumpuk di ujung titik retakan (*crack tip*) [17]. Namun dilihat dari porsi waktu proses melar yang terjadi, terlihat jelas bahwa tahapan pertama tidak terlalu signifikan dibandingkan tahapan kedua. Porsi waktu tahapan kedua yang berupa garis linear hampir mendominasi fenomena melar yang terjadi. Oleh sebab itu, prediksi laju perambatan melar hanya difokuskan pada tahapan kedua pada kurva melar.

**Table 2:** Nilai konstanta untuk prediksi perambatan retak melar menggunakan metode NSW.

|                   | Laju melar minimum  |                     | Laju melar rata-rata |                     |
|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|                   | <i>Plane stress</i> | <i>Plane strain</i> | <i>Plane stress</i>  | <i>Plane strain</i> |
| $n$               | 9.77                | 9.77                | 6.25                 | 6.25                |
| $A$               | 2.66E-27            | 2.66E-27            | 2.51E-17             | 2.51E-17            |
| $\varepsilon_f^*$ | 1.50                | 0.05                | 1.50                 | 0.05                |
| $\sigma_o$        | 495                 | 495                 | 867                  | 867                 |
| $I_n$             | 3.09                | 4.48                | 3.41                 | 4.89                |
| $r_c$             | 0.02                | 0.02                | 0.02                 | 0.02                |
| $\nu$             |                     |                     | 4.0568               | 4.0568              |



**Gambar 4.** Data pengujian perambatan retak melar.

Garis regresi linear ditarik pada tahap kedua laju perambatan retak melar dan diperoleh persamaan laju perambatan retak melar terhadap parameter  $C^*$  sebagai berikut:

$$\frac{da}{dt} = 0.01528C^{*0.65} \quad (7),$$

nilai konstanta  $B$  dan  $q$  masing-masing adalah 0.01528 dan 0.65.

### 3.2 Prediksi laju perambatan retak melar berdasarkan konstanta melar dan metode NSW

Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara kurva prediksi laju perambatan retak melar terhadap kurva eksperimen laju perambatan retak melar. Garis tebal merah mewakili kurva eksperimen laju perambatan retak melar, sedangkan garis putus-putus menunjukkan prediksi laju perambatan retak melar. Dengan menggunakan persamaan (2), diperoleh persamaan laju perambatan retak melar berdasarkan laju regangan melar minimum sebagai berikut,

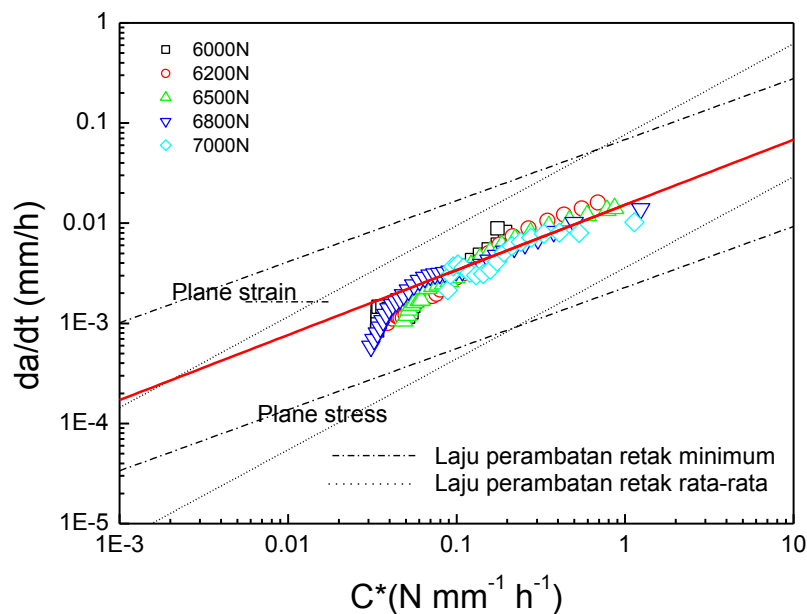
$$\frac{da}{dt} = 0.00228C^{*0.61} \quad (8),$$

$$\frac{da}{dt} = 0.06834C^{*0.61} \quad (9),$$

dimana persamaan (8) adalah laju perambatan retak melar minimum untuk kondisi *plane stress* dan persamaan (9) untuk kondisi *plane strain*. Sedangkan untuk laju perambatan retak melar berdasarkan laju regangan melar rata-rata dengan menggunakan persamaan (3), diperoleh sebagai berikut,

$$\frac{da}{dt} = 0.00359C^{*0.91} \quad (10),$$

$$\frac{da}{dt} = 0.07679C^{*0.91} \quad (11),$$



**Gambar 5.** Perbandingan antara laju perambatan retak melar prediksi dan eksperimen.

dimana persamaan (10) adalah laju perambatan retak melar rata-rata untuk kondisi *plane stress* dan persamaan (11) untuk kondisi *plane strain*. Dari gambar 5 terlihat bahwa prediksi laju perambatan retak melar berdasarkan data laju regangan melar minimum memiliki nilai kemiringan kurva (*slope*) yang cenderung lebih dekat yaitu 0.61 dengan data pengujian perambatan retak melar yaitu 0.65. Sedangkan untuk laju perambatan retak melar rata-rata, nilai  $q$  cukup berbeda yaitu 0.91. Nilai laju perambatan retak melar minimum mendekati data pengujian perambatan retak melar dikarenakan perambatan retak yang terjadi pada AISI 316L sebagian besar waktu prosesnya terjadi pada tahap kedua. Sedangkan pada tahap pertama, porsi waktu untuk proses perambatan retak tidak terlalu signifikan, sehingga nilainya dapat diabaikan. Sehingga untuk data perambatan retak melar rata-rata terjadi deviasi yang cukup besar karena data yang digunakan menggunakan data regresi rata-rata keseluruhan tahapan pada kurva melar. Selanjutnya, dari gambar 4 terlihat bahwa perambatan retak yang terjadi berupa *plane strain* dimana nilai  $B$  yaitu 0.06834 lebih dekat terhadap nilai  $B$  yang diperoleh dari data pengujian perambatan retak melar yaitu 0.01528. Perambatan retak melar berdasarkan *plane strain* mengindikasikan bahwa pada saat pembebanan, tidak terjadi deformasi pada arah lateral/ tegak lurus pembebanan.

#### 4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa nilai konstanta melar yang diperoleh dari data pengujian melar dan dirumuskan menggunakan metode NSW dapat digunakan untuk memprediksi laju perambatan retak melar pada material AISI 316L. Penggunaan nilai konstanta yang diperoleh dari regresi garis pada kurva regangan melar minimum menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan regresi garis pada kurva regangan melar rata-rata. Dari kurva pengujian laju perambatan retak melar, porsi tahapan laju perambatan retak melar sebagian besar terdapat pada tahap kedua. Dilihat dari kondisi tegangan permukaan, Laju perambatan retak pada material AISI 316L lebih mendekati kondisi *plane strain*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. D. WIDODO., dan R. RAHARJO, “Pengaruh ball peening terhadap kekerasan baja tahan karat AISI 316L”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 7, n. 3, pp. 151-155, Agustus 2018.
- [2] M. PRAMUDIA, A.S. ROMADHON, “Pengaruh variasi ukuran bola baja pada proses dry shot peening terhadap mikrostruktur dan kekerasan material implan AISI 316L”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 9, n. 3, pp. 169-172, Desember 2018.
- [3] B. CAI, J.H. KANG, C.W. HONG, dan S.J. KIM, “Effects of N and Cu on the prediction of creep life of 316 L austenitic stainless steel at 650 °C”, *Materials Sciences and Engineering: A*, v. 662, pp. 198-203, 2016.
- [4] V. GANESAN, M. D. MATHEW, P. PARAMESWARAN, dan K. LAHA, “Effect of nitrogen on evolution of dislocation substructure in 316LN SS during creep”. *Procedia Engineering*, v. 55, pp. 36-40, 2013.
- [5] M. D. MATHEW, K. LAHA, dan V. GANESAN, “Improving creep strength of 316L stainless steel by alloying with nitrogen”. *J. of Material Science and Engineering A*, v. 535, pp. 76-83, 2012.
- [6] J. G. KUMAR, V. GANESAN, K. LAHA, dan M. D. MATHEW, “Time dependent design curves for a high nitrogen grade of 316LN stainless steel for fast reactor applications”. *J. of Nuclear Engineering and Design*, v. 265, pp. 949-956, 2013.
- [7] I.M.W. EKAPUTRA, WOO-GON KIM, JAE-YOUNG PARK, SEON-JIN KIM, dan EUNG-SEON KIM, “Characterization of the  $Q^*$  parameter for evaluating creep crack growth rate for Type 316LN stainless steel”. *J. of Mechanical Science and Technology*, v. 30 (7), pp. 1-8, 2016.
- [8] I. M. W. EKAPUTRA, W. G. KIM, J. Y. PARK, S. J. KIM, dan Y. W. KIM, “Analysis of the creep crack growth rate for modified 9Cr-1Mo steel using  $Q^*$  parameter”. *J. of Mechanical Science and Technology*, v. 28, pp. 4075-4081, 2014.
- [9] Y. KUMAR, S. VENUGOPAL, G. SASIKALA, P.K. PARIDA, dan A. MOITRA, “Study of creep crack growth behaviour of a type 316 (N) stainless steel weld and its mechanism”, *Materials Sciences and Engineering*, v. 731, pp. 551-560, 2018.
- [10] S. LIU, G.Z. WANG, S.T. TU, dan F.Z. XUAN, “Creep crack growth prediction and assessment incorporating constraint effect for pressurized pipes with axial surface cracks”, *Engineering Fracture Mechanics*, v. 154, pp. 92-110, 2016.
- [11] L. ZHAO, H. JING, Y. HAN, J. XIU, dan L. XU, “Prediction of creep crack growth behavior in ASME P92 steel welded joint”, *Computational Materials Sciences*, v. 61, pp. 185-193, 2012.
- [12] D. WU, H. JING, L. XU, L. ZHAO, dan Y. HAN, “Enhanced model of creep crack initiation prediction coupled the stress-regime creep properties and constraint effect”, *European Journal of Mechanics – A/Solids*, v. 74, pp. 145-159, 2019.

- [13] Y.C. ZHANG, W. JIANG, S. T. TU, X.C ZHANG, Y.J. YE, dan R.Z. WANG, “Experimental investigation and numerical prediction on creep crack growth behavior of the solution treated inconel 625 superalloy”, v. 199, pp. 327-324, 2018.
- [14] H.S. MA, G.Z. WANG, S. LIU, S.T. TU, dan F.Z. XUAN, “In-plane and out-of-plane unified constraint-dependent creep crack growth rate of 316H steel”, *Engineering Fracture Mechanics*, v. 155, pp. 88-101, 2016.
- [15] J.Z. HE, G.Z. WANG, S.T. TU, dan F.Z. XUAN, “Prediction of creep crack initiation behavior considering constraint effects for cracked pipes, *Engineering Fracture Mechanics*, v. 190, pp. 213-231, 2018.
- [16] ASTM E 1457-15, Standard test method for measurement of creep crack growth rates in metals, (2015).
- [17] R.A. AINSWORTH, *High temperature component life assessment*, 1ed., United Kingdom, Chapman&Hall, 1994.