About the Journal

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** is **specific topics issues** in mechanical engineering such as design, energy conversion, manufacture, and metallurgy.

In terms of plagiarism and self-plagiarism, the similarity index from multiple sources **should not exceed 20 %** and from a single source **should not exceed 5%**. **Rekayasa Mesin** uses a plagiarism detector to screen articles for detecting plagiarism. Detection of overlapping and similar text is used there and so quotations and appropriate citations

Open Journal Systems

Make a Submission

About Rekayasa Mesin

Focus and Scope

Editorial Team

Reviewer Acknowledgement

Publication Ethics

Visitor Statistics

Author Fees

have to be used whenever required.

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

Rekayasa Mesin has been indexed in **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**, **SINTA**, **Google Scholar**, and **Garba Rujukan Digital (GARUDA)**.

Rekayasa Mesin has been nationally **reaccredited** by the Ministry of Research and Technology/National Research and Innovation Agency of the Republic of Indonesia (Volume 11 No 2 2020 - Volume 16 No 1 2025) and indexed in **SINTA 2.**

Decree No. **200/M/KPT/2020 on December 23rd, 2020**

P-ISSN 2338-1663 | **E-ISSN** 2477-6041 | **DOI prefix** 10.21776/ub.jrm

New Template for Rekayasa Mesin Publication

2023-06-02

We would like to announce that **Rekayasa Mesin** has a new layout style. This change is starting from May 2023 edition. For articles written using the old layout will be asked to change it after the article is **Accepted.**

Thank you very much.

Read More ›

Email Address of Author

2022-02-17

Reaccredited of Rekayasa Mesin

2021-02-21

Journal Subscription

2016-08-26

Tools

MENDELEY

Mendeley User Guide

Insert Citation using Mendeley

grammarly

THOMSON REUTERS ENDNOTE

Index

DOAJ DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS

sinta S2 Science and Technology Index

Google scholar

Current Issue

Vol. 15 No. 3 (2024)

Published: 2024-12-15

Articles

PENGARUH SUHU LELEH MATRIK DAN PERLAKUAN CRYOGENIC SERAT KARBON TERHADAP INTERFACIAL SHEAR STRENGTH CARBON FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE

Cahyo Budiyantoro, Fajri Attoriq, Harini Sosiati 1203-1214

PDF

REKAYASA DESAIN CIRCULAR HYBRID CRASH BOX UNTUK PENINGKATAN PERFORMA KELAYAKAN TABRAK

Delia Hani Wakhidah, Moch. Agus Choiron, Yudy Surya Irawan 1215-1225

PDF

EFFECT VARIATION OF TEMPERATURE AND STIRRING SPEED ON THE BENDING TEST OF FIBERGLASS FIBER COMPOSITE MATERIALS USING THE VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION (VARI) METHOD

Ferry Setiawan, Faras Bimo Sakti , Dhimas Wicaksono 1227-1239

PDF

KARAKTERISASI PENAMBAHAN KITOSAN DAN HAP PADA PLA TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT

Dina Novera Serfandi, Putu Hadi Setyarini, Purnami Purnami, Sulistyono Sulistyono 1241-1251

PDF

ANALISIS PENERAPAN COATING PADA BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI CAT TERHADAP LAJU KOROSI, KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN IMPACT COATING

Untung Budiarto, Parlindungan Manik, Ghiyats Abiyyu Kusuma 1253-1269

PDF

MESH CONVERGENCE TEST BY USING FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA) IN SHAFT LOADING OF 2 KW INDUCTION MOTOR

Lambert Hotma, Nur Cholis Majid, Marsalyna, Jekki Hendrawan , Nirma Afrisanti Kinasih, Dwi Jaya Febriansyah, Bayu Novariawan , Muhammad Reza Alfin , Intan Satwika Putri, Muhammad Thowil Afif, Budi Noviyantoro Fadjrin, Endra Dwi Purnomo 1271-1280

PDF

UJI KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR ALTERNATIF HASIL PENGOLAHAN LIMBAH SAMPAH PLASTIK DENGAN METODE PIROLISASI BERTINGKAT

La Baride Baride, Muhamad Iqbal Achmad , Tasman 1281-1289

PDF

PERANCANGAN PROTOTYPE MEKANISME GERAKAN JARI JEMPOL UNTUK ROBOT TERAPI STROK

Information for Author

Author Guidelines

Template

Article Example for New Template

Online Submissions (pdf)

Video Guidelines:

* Register
* Forgot Password
* Template
* Submission
* Revision
* Decision

Information

For Readers

For Authors

For Librarians

Nur Abdi Abdillah Riyas, Gaguk Jatisukamto, Aris Zainul Muttaqin , Santoso Mulyadi , Hary Sutjahjono 1291-1300

PDF

STUDI NUMERIK EFEK LETAK AIR SUPPLY DIFFUSERS DAN AIR RETURN GRILLES PADA DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN KECEPATAN UDARA DI BUS

Fauzun, Akbar Fadhlurrohman Hidayat, Cahyo Wibi Yogiswara 1301-1318

PDF

DESAIN AWAL RUANG BAKAR PREMIXED UNTUK TURBIN GAS ULTRA MIKRO (TGUM) DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN TEMPERATUR ADIABATIK

Muhamad Maris Al Gifari, Firman Hartono, Prihadi Setyo Darmanto, Iman Kartolaksono Reksowardojo 1319-1329

PDF

FABRIKASI DAN PENGUJIAN TELAPAK KAKI PALSU JENIS SINGLE AXIS

Christianus Pigun Wardoyo, Muslim Mahardika, Suyitno Suyitno, Rini Dharmastiti, Urip Agus Salim, Budi Arifvianto 1331-1342

PDF

EFFECT OF ANNEALING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF FUSED DEPOSITION MODELING 3D PRINTED PLA

Amartya Natayu, Azka Aulia Muhammad, Azhari Tumada, Kushendarsyah Saptaji, Titin Trisnadewi, Farid Triawan, Anwar Ilmar Ramadhan, Azmir Azhari 1343-1351

PDF

PENGARUH TEKANAN VAKUM TERHADAP KEMURNIAN OKSIGEN PADA PROSES VACUUM PRESSURE SWING ADSORPTION

-

Amelia Sugondo, Teng Sutrisno, Richard M. Saputra Saputra 1353-1361

PDF

PENGARUH VARIASI BENTUK FLAME HOLDER TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API PADA PEMBAKARAN MESO SCALE COMBUSTOR

Mochammad Khoirul Rosidin, Lilis Yuliati, Winarto 1363-1373

PDF

KUAT BENDING, FRAKTOGRAFI, DAN STRUKTUR MIKRO HASIL 3D PRINTING BERBAHAN PLA (POLYLACTIC ACID) - TITANIUM

Mahros Darsin, Firman Ema Ismono, Mochamad Asrofi, Yuni Hermawan , Intan Hardiatama 1375-1385

PDF

PENINGKATAN EFISIENSI DAN STABILITAS DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) ORGANIK DENGAN ELEKTROLIT POLYETHYLENE GLYCOL

Prihanto Trihutomo, Mohammad Riyadhu Sholihin 1387-1393

PDF

DESIGN AND STRESS ANALYSIS OF RX-122 ROCKET MOTOR TUBE USING NUMERICAL METHOD

Lasinta Ari Nendra Wibawa, Iyus Rusyana, Dinar Koswara, Gagan Nugraha, Diyat Muhdiyat, Dedi Irawan 1395-1403

PDF

THERMAL EFFICIENCY ANALYSIS OF COMBUSTION TURBINE GENERATOR (821-G-101) PT TRANS PACIFIC PETROCHEMICAL INDOTAMA AFTER MAJOR INSPECTION

Moh Arif Batutah, Hadi Kusnanto, Indah Kurniawati, Achmad Safi'i 1405-1415

PDF

TECHNO ECONOMIC ANALYSIS OF BIOMASS AS AN ALTERNATIVE ENERGY HOUSEHOLDS AND SMALL INDUSTRIES

Rany Puspita Dewi, Trisma Jaya Saputra, Mario Ammar Rasyid 1417-1423

PDF

UJI KUALITAS BRIKET ARANG DARI SEKAM PADI DAN SERBUK KAYU SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Ikna Urwatul Wusko, Antan Noraidi Maulana , A'yan Sabitah, Misbachudin 1425-1436

PDF

PENGARUH MATERIAL TERHADAP DEFORMASI, STRAIN, DAN SAFETY FACTOR PADA BRACKET CALIPER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Andi Abdullah Ghyferi, Aldias Bahatmaka, Muhammad Yusuf Wibowo, Ahmad Anwar, Ayyub Ridananda, Anggi Vandika 1437-1450

PDF

GAYA ANGKAT DAN GAYA HAMBAT SAYAP PUNA MODEL NACA 0015 MENGGUNAKAN SIMULASI ANSYS FLUENT

Muhammad Dzulfikar, Helmy Purwanto, Muhammad Abdul Wahid, Salim Rahmatulloh 1451-1462

PDF

DESIGN OF BAMBOO STICK POLISHING MACHINE WITH 12 TON/MONTH CAPACITY

Kurniawan, Heri Setiawan, Dede Sujana, Ilham Fauzan Hardiansyah 1463-1470

PDF

STUDI EKSPERIMEN PENINGKATAN PERPINDAHAN KALOR FLUIDA NANO CuO /AIR PADA VERTICAL HELICAL MICROFIN TUBE

Budi Kristiawan, Ilham Khoirudin , Agung Tri Wijayanta, Syamsul Hadi , Hilbran Tama Dida Effendi 1471-1481

PDF

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR SQUARE CHAMBER INJECTION MULTICASTING PYROGENIC IGNITER MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

Rama Dwi Prayoga, Ichsan Dwi Prasetyo, Maharani Inas Mahdiyyah 1483-1492

PDF

KINERJA PROTOTIPE RODA PENGGERAK BERSIRIP GANDA PADA LAHAN SAWAH GAMBUT

Herdi Susanto, Herri Darsan, Farid Jayadi, Masykur Masykur, Zakir Husin, Syurkarni Ali 1493-1503

PDF

PENGARUH INTERLAYER PASTA (ZINC+TAPIOKA) PADA SAMBUNGAN FSSW MATERIAL ALUMUNIUM PADUAN

Lingga Arti Saputra 1505-1512

PDF

DETERMINATION OF PROCESS PARAMETER FOR INJECTION MOLDING : A REVIEW

Muhammad Alfattah Arifin, Hadi Pranoto 1513-1523

PDF

REVIEW ON RAMS ANALYSIS FOR RAILWAY VEHICLES WITH POTENTIAL APPLICATION IN RAILWAY SYSTEM OF INDONESIA

Sofyan Muzakki, Leonardo Gunawan, Rachman Setiawan, M. Agus Kariem 1525-1549

PDF

ANALISIS PERFORMA RDF DENGAN PEREKAT LIMBAH ORGANIK UNTUK MEMENUHI STANDAR MUTU INDUSTRI

Alvian Tambunan, Prawoto Prawoto, Catur Hardiyanto 1551-1560

PDF

ANALISIS KUALITAS GAS BUANG PADA STEAM BOILER BERBAHAN BAKAR BIO-SOLAR DAN BATU BARA

Moh. Rizal Ar Rasyid; Samsudin Anis, Susanto Susanto, Setio Wardana Danang 1561-1570

PDF

PERANCANGAN ALAT PENCEKAM UNTUK PEMESINAN POLYURETHANE FOAM PADA PROSES FACE MILL CUTTING MESIN CNC ROUTER 3 AXIS DENGAN METODE VDI 2221

Archi Kun Cahyo Utomo, Ubaidillah, Wijang Wisnu Raharjo, Fitrian Imaduddin, Dikky Kusuma Wijaya 1571-1589

PDF

PERILAKU OKSIDASI ISOTERMAL PADUAN 68,5Fe-14Ni-9Al-7,5Cr-1Mo PADA TEMPERATUR 800, 900, DAN 1000°C

Fadhli Muhammad, Eddy Agus Basuki 1591-1604

PDF

STUDI IDENTIFIKASI PASANGAN COMMERCIALLY PURE TITANIUM DAN UHMWPE UNTUK APLIKASI MATERIAL IMPLAN LUTUT

Firman Maulana Rusdi, Arini Dwi Cahyani 1605-1619

PDF

ANALISIS EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS PADA MENARA PENDINGIN TIPE PLAT DATAR BERTINGKAT

Fikri Aulia, Ahmad Syuhada, Razali 1621-1630

PDF

ANALYSIS OF WORK ACCIDENTS DURING THE PLUMBING INSTALLATION PROCESS USING THE FAULT TREE ANALYSIS METHOD

Sofian Bastuti, Rini Alfatiyah 1631-1642

PDF

STUDI KARAKTERISTIK BRIKET ARANG BIOMASSA BERBASIS SCREW PRESS

Masbin Dahlan, Enni Sulfiana, sabdha purna yudha, Muh. Nurul Haq Amaluddin 1643-1653

PDF

INVESTIGASI LAJU REGANGAN CREEP BAJA TAHAN KARAT FERRITIC PADA TEMPERATUR 570 °C

I Made Wicaksana Ekaputra 1655-1663

PDF

FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) ON TRACK INFRASTRUCTURE INTEGRITY ASSESSMENT

Angga Ahmad Maulana, IGN Wiratmaja Puja , Satrio Wicaksono 1665-1679

PDF

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF BOILER WASTE HEAT-BASED BIOMASS DRYING SYSTEM OF A COAL COFIRING POWER PLANT

Mahpudi Baisir, Adi Surjosatyo, Hafif Dafiqurrohman 1681-1699

PDF

GEOMETRIC DESIGN OF CROWN WORM GEAR WITH STRAIGHT-LINED BLADE PROFILE

Moeso Andrianto, Christina Litaay, Suryadiwansa Harun, Yanuar Burhanuddin, Achmad Arifin 1701-1708

PDF

DEVELOPMENT OF LOCOMOTIVE CC 203 MAINTENANCE STRATEGY USING RISK-BASED RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM 3) METHOD

Oky Arfiansyah, I Gusti Nyoman Wiratmaja 1709-1727

PDF

EFFECT OF DRILLING PARAMETERS ON THRUST FORCE AND DELAMINATION DAMAGE

OF DRILLED RAMIE WOVEN – COIR FIBER HYBRID COMPOSITES

Sri Chandrabakty, Muhammad Syaiful Fadly, Sri Nilasari 1729-1741

PDF

OPTIMIZATION OF TENSILE STRENGTH OF EMPTY OIL PALM FRUIT BUNCH FIBER REINFORCED COMPOSITES USING GENETIC ALGORITHMS

Abdul Rahim, Agus Mujianto, Richie Feriyanto, Hery Tri Waloyo 1743-1750

PDF

METODE PENINGKATAN KETAHANAN RETAK RESIN POLYESTER DENGAN PENAMBAHAN PROSENTASE VINYL ESTER

Nusyirwan, Yul Hizhar, Adam Malik 1751-1760

PDF

RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) MENGGUNAKAN PADDLE BREAST WHEEL

Ichlas Nur, Wahmin Rais, Nota Effiandi, Aidil Zamri, Yuli Yetri 1761-1771

PDF

PENGARUH PARAFFIN WAX SEBAGAI LAPISAN TANKI PADA AIR CONDITIONER WATER HEATER (ACWH)

Chandra Amirsyah Putra Siregar, A M Siregar, R D W Lubis, Arya Rudi, Irham Rosyadi 1773-1781

PDF

GREENHOUSE SYSTEM WITH FORCED AIR FLOW FOR PRE-DISTILLED KAFFIR (CITRUS HYSTRIX) LEAF TREATMENT

Chandrawati Cahyani , Vivi Nurhadianty, Aji Hendra Sarosa, Moch Fitron Muttaqin, Fahrul Huzain Hidayat, Dicky Gabriel Partogi Sarumpaet, Mellyantika Alga Safitri , Thiara Jatayuning Miranti , Naufaliyah Rifdah Rifdah 1781-1788

PDF

PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN AI6061BE PADA PEMESINAN CNC MINI 500 WATT MENGGUNAKAN PAHAT KARBIDA STRAIGHT ENDMILL

Richard A. M. Napitupulu, Siwan E.A. Perangin angin 1789-1797

PDF

EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING FLUID VARIATION ON THE THERMOELECTRIC HOT SIDE ON THERMOELECTRIC VACCINE COOLER BOX PERFORMANCE

Novreza Pratama, Imron Rosyadi, Hadi Wahyudi, M. Haykal Fasya 1799-1808

PDF

View All Issues ›

Platform &
workflow by
OJS / PKP

Editorial Team

Editor in Chief

Prof. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., PhD., (SCOPUS ID: 52263615400; h index: 7), Universitas Brawijaya, Indonesia

Editors

Mr. Teguh Dwi Widodo, (SCOPUS ID: 56258446700; h index: 4), Universitas Brawijaya, Indonesia

Mr. Bayu Satriya Wardhana, (SCOPUS ID: 57208468620; h index: 1), Universitas Brawijaya, Indonesia

Mr. Fikrul Akbar Alamsyah, (SCOPUS ID: 57208500778; h index: 1), Universitas Brawijaya, Indonesia

Mrs. Haslinda Kusumaningsih, (SCOPUS ID: 56596829100; h index: 1) Universitas Brawijaya, Indonesia

Mrs. Avita Ayu Permanasari, (SCOPUS ID: 57193696674; h index: 4) Universitas Negeri Malang, Indonesia

Open Journal Systems

Make a Submission

About Rekayasa Mesin

Focus and Scope

Editorial Team

JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 38, pp. 1655 – 1663, 2024
Vol. 15. No.3

INVESTIGASI LAJU REGANGAN *CREEP* BAJA TAHAN KARAT *FERRITIC* PADA TEMPERATUR 570 ˚C

I.M.W. Ekaputra [1)]

[1)]**Jurusan Teknik Mesin**
Universitas Sanata Dharma
Paingan, Krodan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
made@usd.ac.id

Abstract

The probabilistic assessment of failure due to the creep phenomenon must be determined with the minimum deviation. Since the creep failure took years before rupture, laboratory experiments were conducted to represent the failure time. However, the laboratory results are only an empirical approach; therefore, the probabilistic assessment can be deviated. A huge number of variables in creep experiments must be conducted to minimize the deviation. This study investigated the creep strain rate for the 9Cr-1Mo ferritic stainless steel. The lever-arm creep machine was used for the creep rupture test, and the test followed the standard of ASTM E139. The constant loads were applied in the range of 250 – 170 MPa with the homologous temperature of 570 ˚C. The curve of strain to time was recorded from each constant load condition. The creep strain rate was then calculated and presented in the curve of the creep strain rate to the applied load. The linear regression was drawn from the curve by applying Norton's equation. By obtaining the creep strain hardening coefficient and exponent, an initial probabilistic assessment of creep failure at a temperature of 570 ˚C can be predicted.

Keywords**:** *Ferritic Stainless Steel, Creep Rupture, Norton's Equation*

1. PENDAHULUAN

Baja tahan karat *ferritic* merupakan salah satu jenis baja yang tidak dapat dikeraskan dan tersusun dari tiga komponen utama yaitu besi (*Fe*), karbon (*C*), dan Kromium (*Cr*) [1]. Komponen kromium yang terdapat pada paduan tersebut menyebabkan paduan baja tahan karat *ferritic* memiliki ketahanan yang baik pada kondisi lingkungan dengan temperatur tinggi [2-5]. Proses pembentukan paduan baja tahan karat *ferritic* melalui mekanisme *interstial solid solution* dengan komponen karbon dan nitrogen yang rendah, kromium yang tinggi (hingga 30%), molybdenum (hingga 4%), dan nikel (hingga 4%). Dengan adanya tambahan komponen-komponen tersebut, paduan baja tahan karat *ferritic* juga memiliki ketahanan terhadap *stress-corrosion cracking* (SCC). Keunggulan tersebut menyebabkan paduan baja ini sangat cocok diterapkan pada komponen dengan kondisi lingkungan bertemperatur tinggi dan korosif, seperti pada turbin uap, mesin roket, mesin jet, reaktor nuklir [6].

Pada temperatur tinggi, paduan logam berpotensi untuk mengalami anomali seperti *serrated yielding* dan *creep* [7-9]. Fenomena *creep* umumnya diawali dengan deformasi elastis dan plastis yang singkat dan dilanjutkan dengan deformasi *creep* yang terjadi cukup lama [8,9]. Lamanya waktu patah pada paduan logam akibat kegagalan *creep* merupakan salah satu

Corresponding Author:
I Made Wicaksana Ekaputra
Received on: 2023-01-15
Revised on: 2023-01-24
Accepted on: 2023-01-24

DOI: 10.21776/jrm.v15i3.1848
Copyright: © 2023 by the authors.

permasalahan klasik yang masih perlu diselesaikan. Keakuratan waktu deformasi hingga patah akibat *creep* sangat dibutuhkan terkait pertimbangan dalam pemilihan material yang tepat pada suatu komponen. Kegagalan patah akibat *creep* pada suatu paduan logam bisa terjadi dalam waktu tahunan hingga puluhan tahun [2,4]. Dengan pertimbangan lamanya proses *creep*, maka untuk mengetahui waktu operasional yang aman, suatu pendekatan empiris melalui pengujian di laboratorium dibutuhkan. Namun pendekatan tersebut akan menghasilkan penyimpangan (deviasi) hasil yang bergantung pada banyaknya pengujian yang dilakukan. Pada logam murni, kegagalan patah akibat *creep* akan diawali oleh proses *necking*. Sehingga, kegagalan patah *creep* dapat diantisipasi lebih awal secara visual [8]. Namun pada jenis paduan (*alloy*) logam, patah akibat *creep* tidak dapat diamati secara visual ataupun dari dari tren kurva regangan terhadap waktu pembebanan. Patah pada paduan akan terjadi secara tiba-tiba setelah material mencapai batas ketahanan akibat deformasi *creep*. Patah yang terjadi secara tiba-tiba adalah akumulasi dari presipitasi yang terbentuk dan bergerak ke arah batas butir [3]. Presipitasi tersebut tidak dapat diamati secara visual dengan mata telanjang, hanya dapat diamati menggunakan alat bantu pengamatan mikro.

Ekaputra, 2019, telah melalukan penelitian terkait prediksi laju perambatan retak *creep* pada paduan baja tahan karat *austenitic* [10]. Untuk memperoleh laju perambatan retak, laju regangan *creep* dihitung melalui pengujian *creep*. Beban konstan yang diterapkan berkisar antara 108 – 225 MPa. Proses pengujian dilakukan pada temperatur 525 ˚C. Hasil pengujian menunjukan bahwa dengan meningkatnya pembebanan, maka waktu patah *creep* semakin singkat. Lebih jauh, penentuan laju regangan *creep* pada paduan tersebut adalah berdasarkan nilai laju regangan terendah pada area *secondary creep*. Nilai laju regangan juga dapat dibandingkan melalui perhitungan rata-rata kurva *creep* dari area *primary* hingga *tertiary*. Perhitungan laju regangan rata-rata menghasilkan nilai laju regangan yang lebih konservatif dibandingkan dari perhitungan berdasarkan area *secondary creep*. Velkavrh, dkk., 2021, telah melaporkan secara komprehensif terkait laju regangan pada area terpengaruh panas (*heat affected zone*) baja tahan karat *martensitic* dan *ferritic* [11]. Hasilnya menunjukan bahwa ketahanan *creep* pada paduan baja tahan karat *ferritic* lebih baik dibandingkan *martensitic* setelah proses aging. Presipitasi ditemukan pada struktur mikro baja tahan karat, yang merupakan penyeban utama kegagalan patah akibat *creep*. Dengan pertimbangan keselamatan pada saat pemilihan bahan yang tepat, maka diperlukan usaha untuk mengetahui waktu atau laju regangan yang tepat sebelum paduan yang digunakan sebelum mengalami patah akibat deformasi *creep*.

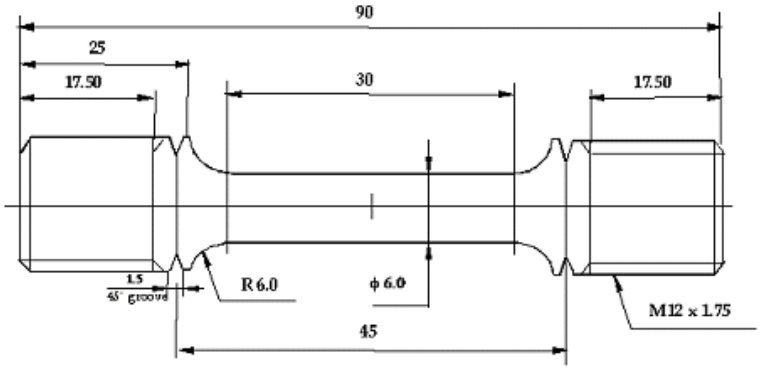
Pada penelitian ini, pengujian *creep* dilakukan pada baja tahan karat *ferritic* 9Cr-1Mo. Pengujian *creep* dilakukan dengan mengikuti standar ASTM E139 [12]. Beban konstan diterapkan pada masing-masing pengujian dengan kisaran beban antara 250 – 170 MPa. Temperatur yang diterapkan pada masing-masig pembebanan sebesar 570 ˚*C*. Dari hasil pengujian diperoleh data berupa kurva regangan terhadap waktu. Laju regangan ditentukan dari regresi garis yang diterapkan pada kurva *creep* menggunakan persamaan Norton. Dengan adanya nilai laju regangan, maka lamanya baja tahan karat *ferritic* untuk patah akibat beban *creep* dapat diprediksi pada kondisi pengujian yang dilakukan.

2. METODE

Uji *creep* dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM E139. Mesin uji *creep* yang digunakan adalah tipe *lever-arm* yang dilengkapi oleh tungku pemanas yang dapat dikontrol. Spesimen *creep* yang digunakan berjenis silinder dengan dimensi yang dapat dilihat pada Gambar 1. Spesimen dengan tipe ulir dikencangkan pada kedua ujungnya pada pencekam ulir. Posisi spesimen berada di dalam tungku dengan *thermocouple* yang ditempelkan pada bagian permukaan *gage length* spesimen. Temperatur yang terukur dipastikan memiliki

toleransi ± 2 ˚C. Ilustrasi peletakan spesimen pada pengujian *creep* dapat dilihat pada Gambar 2.

Variasi beban konstan yang diterapkan pada penelitian ini berkisar diantara 250 – 170 MPa pada temperatur 570 ˚C. Langkah awal yang dilakukan sebelum pembebanan tersebut adalah memastikan bahwa temperatur yang diterapkan sudah stabil. Untuk meminimalisir pergeseran pada posisi spesimen terhadap sumbu pembebanan, maka spesimen diberikan pembebanan awal sebesar 10%. Penerapan 10% beban dilakukan berdasarkan kisaran masing-masing variasi pembebanan pada pengujian ini. Tujuan dari penerapan 10% pembebanan awal adalah untuk memastikan sumbu spesimen dan pembebanan berada pada satu sumbu. Saat temperatur yang pengujian tercapai, maka beban 10% dapat diganti dengan pembebanan 100%. Proses pergantian beban 10% menjadi 100% diusahakan untuk dilakukan kurang dari 1 menit. Saat pengujian perubahan panjang yang terjadi akibat pembebanan diukur menggunakan sensor LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*).

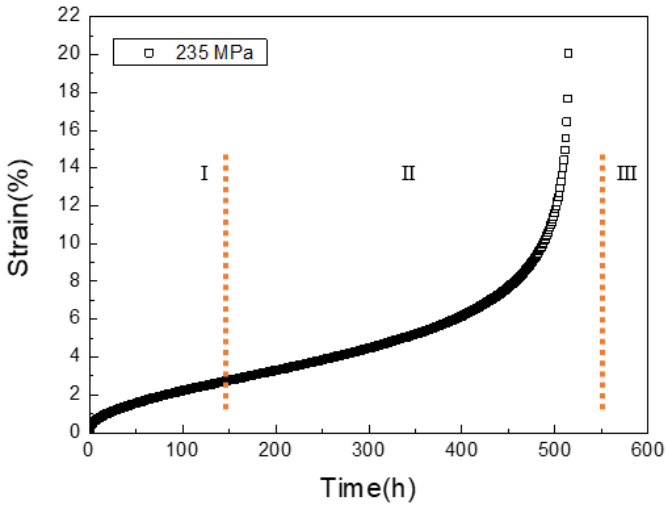


Gambar 1. Ukuran specimen uji *creep.*

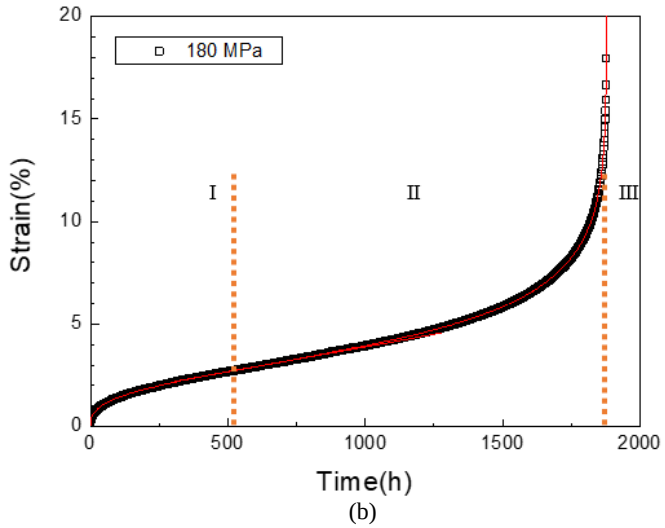
Gambar 2. Posisi peletakan spesimen uji *creep*

3. HASIL DAN ANALISIS

Dua kurva *creep* pada pembebanan 235 dan 180 MPa ditampilkan pada Gambar 3 (a) dan (b). Kedua kurva tersebut memperlihatkan tipikal bentuk kurva *creep*, yang terdiri dari tiga area yaitu area *primary* (I), *secondary* (II), dan *tertiary* (III). Pada tahap *primary*, deformasi elastis terjadi secara tiba-tiba akibat proses pembebanan awal. Selain deformasi elastis, ada kemungkinan sedikit deformasi plastis yang terjadi. Pada tahap pertama ini, *slope*/ kemiringan kurva tampak cukup curam dilanjutkan dengan kurva yang landai bahkan mendekati konstan. Kemiringan kurva yang mendekati konstan tersebut mengindikasikan tahap pertama deformasi yang terjadi pada *creep* telah selesai dan dilanjutkan dengan tahap *secondary*. Tahap *secondary* atau disebut juga dengan tahap *steady-state* ditandai dengan kemiringan kurva yang meningkat secara linear. Setelah tahap *secondary* ini terlewati, biasanya paduan logam akan secara cepat mengalami kegagalan patah (*creep rupture*) pada tahap *tertiary creep*.



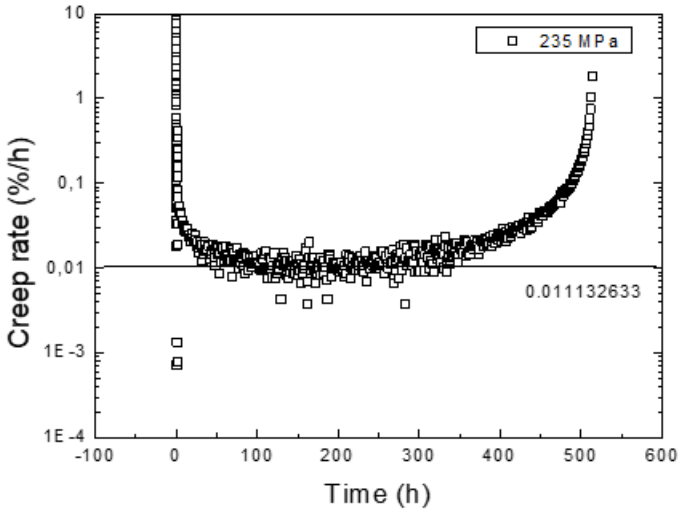
(a)



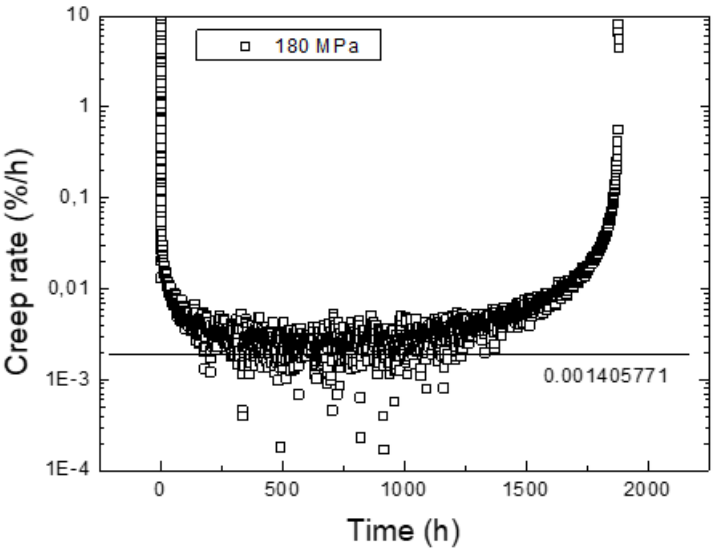
(b)

Gambar 3. Tipikal kurva *creep* pada pembebanan; (a) 235, (b) 180 MPa.

Secara umum, kurva *creep* pada baja tahan karat *ferritic* didominasi oleh tahap *secondary*. Pada tahap ini, proses *softening* dan *hardening* terjadi secara seimbang. Waktu deformasi yang terjadi pada tahapan ini lebih lama dibadingkan pada tahap *primary* dan *tertiary*. Sebagian besar proses deformasi hingga sesaat sebelum patah terjadi pada tahapan ini. Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan pada tahap ini, maka laju regangan *creep* yang terjadi perlu ditentukan. Secara konservatif, laju regangan *creep* dapat ditentukan dengan menentukan nilai minimum dari perubahan regangan *creep* terhadap waktu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a) dan (b). Pada kondisi pembebanan 235 dan 180 MPa, masing-masing didapatkan nilai laju regangan minimum *creep* sebesar 0,011132633 dan 0,001405771. Nilai laju regangan untuk keseluruhan pembebanan ditampilkan pada kurva laju regangan terhadap beban pada Gambar 5. Kurva tersebut menunjukan hubungan semakin besar pembebanan yang diterapkan maka nilai laju regangan *creep* semakin tinggi.

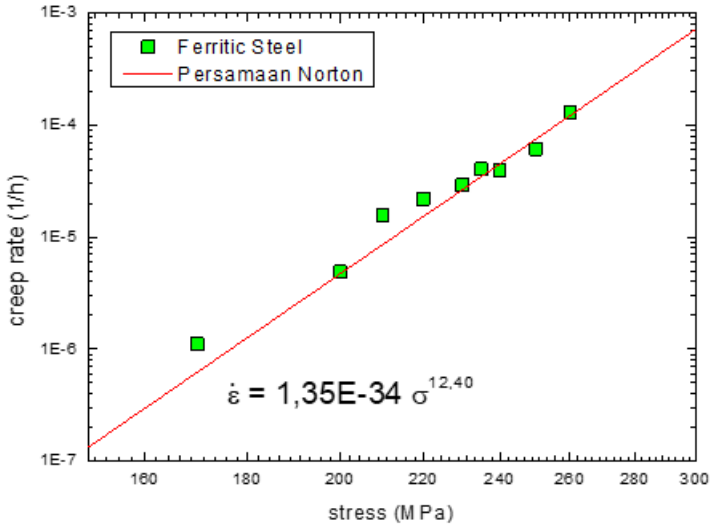


(a)



(b)

Gambar 4. Nilai laju regangan *creep* minimum pada *secondary creep*; (a) 235, (b) 180 MPa.



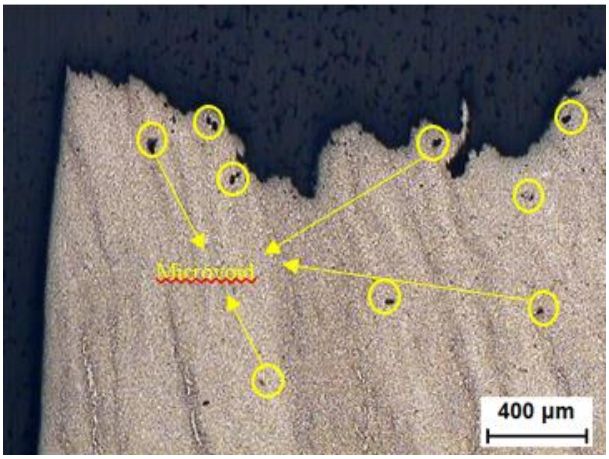
Gambar 5. Laju regangan *creep* terhadap beban yang diterapkan.

Tren laju regangan *creep* pada baja tahan karat *ferritic* pada temperatur 570 ˚C ditentukan dengan menarik garis regresi pada kurva Gambar 5. Persamaan Norton digunakan pada garis regresi untuk mengetahui nilai konstanta dan eksponen *creep*. Persamaan Norton dapat dinyatakan pada persamaan berikut [6]:

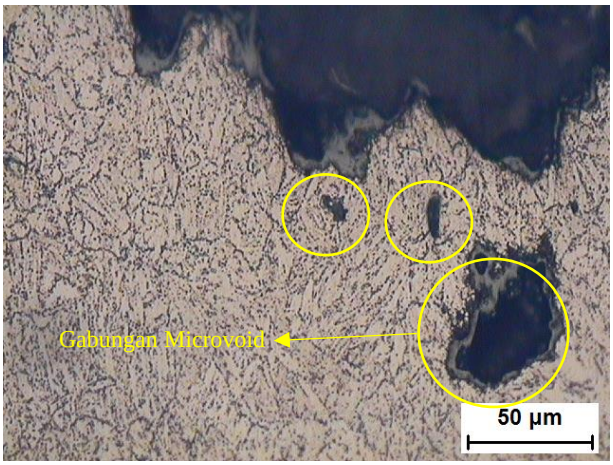
$$\dot{\varepsilon}_{ss} = A(\sigma)^n \quad (1)$$

Nilai *A* dan *n* masing-masing adalah nilai konstanta dan eksponen *creep*. Nilai eksponen *creep* pada persamaan tersebut dapat dijadikan indikator terkait mekanisme deformasi *creep* yang terjadi pada baja tahan karat *ferritic* 9Cr-1Mo [13]. Nilai konstanta *A* dan eksponen *n* yang diperoleh masing-masing bernilai 1,35E-34 dan 12,40.

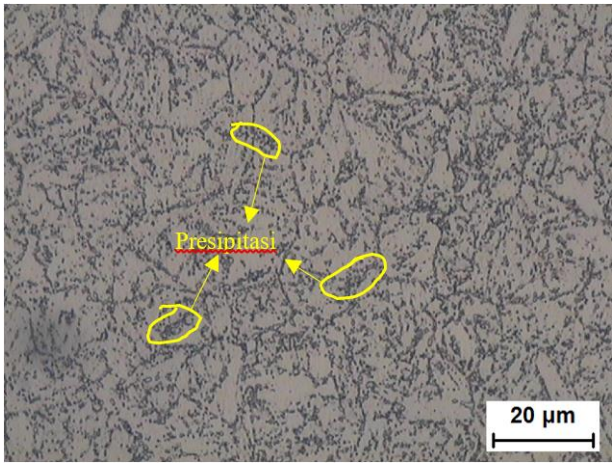
Pengamatan struktur mikro pada pembebanan 200 MPa dengan beberapa perbesaran ditunjukan pada Gambar 6 (a)-(c). Pada Gambar 6 (a), terlihat beberapa susunan *microvoid* di sekitar area patahan. Telah dilaporkan bahwa pembetukan *microvoid* menjadi awal penyebab patah yang terjadi akibat deformasi *creep*. Kim dkk., (2017) telah melaporkan ukuran *microvoid* yang terbentuk terhadap besarnya beban yang diterapkan pada pengujian. Semakin besar beban yang diterapkan, maka ukuran *microvoid* yang terbentuk juga akan semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Beberapa susunan *microvoid* yang saling berdekatan akan bergabung membentuk *void* yang lebih besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 (b). Bintik-bintik kecil yang terlihat pada Gambar 6 (c) diidentifikasi sebagai presipitasi pada paduan baja tahan karat *ferritic* 9Cr-1Mo. Presipitasi pada awalanya banyak tersebar pada area butir [14]. Namun akibat pembebanan *creep* presipitasi mulai bergerak menuju batas butir. Jenis presipitasi umum yang ditemukan pada jenis baja tahan karat adalah $M_{23}C_6$ karbida. Presipitasi ini tersusun dari komponen Cr, Mo, Nb, N, dan V [3,13,15,16]. Presipitasi yang cukup signifikan pada area batas butir menyebabkan gaya adhesi antara butir menjadi lemah sehingga membentuk *microvoid* terbentuk saat deformasi *creep*. Seiring berjalanya waktu, m*icrovoid* terdekat akan saling menyatu membentuk cluster *void* yang lebih besar. Pada batas tertentu, *void-void* yang terbentuk akan mempengaruhi batas ketangguhan baja tahan karat *ferritic*, sehingga baja akan kehilangan kemampuan menahan beban dan pada akhirnya patah. Batas ketangguhan baja dapat terlihat pada bagian tepi spesimen berbentuk patahan serat dengan kemiringan sekitar 45˚. Secara visual pembentukan *necking* masih dapat terlihat pada paduan baja tahan karat *ferritic* 9Cr-1Mo.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Profil patahan *creep* pada pembebanan 200 MPa pada beberapa perbesaran; (a) *microvoid* terbentuk di beberapa lokasi (b) penggabungan beberapa *microvoid* menjadi *void* (c) presipitasi pada batas butir .

4. KESIMPULAN

Investigasi awal terkait karakteristik kegagalan patah *creep* pada baja tahan karat *ferritic* 9Cr-1Mo telah dilakukan. Deformasi yang terbentuk pada kondisi pengujian dengan temperatur 570 $^{\circ}$C dan kisaran pembebanan antara 250 – 170 MPa didominasi oleh deformasi *creep* yang terjadi pada tahap *secondary*. Kecepatan deformasi/ laju regangan *creep* diperoleh dengan menerapkan persamaan Norton. Nilai dari konstanta *A* dan eksponen *n* dari persamaan tersebut masing-masing bernilai 1,35E-34 dan 12,40. Dari hasil pengamatan mikro, pembentukan *void* diawali dengan adanya *microvoid* dibeberapa area dekat patahan. *Microvoid* terjadi akibat pergerakan presipitasi yang semakin meningkat pada area batas butir akibat pembebanan *creep*. Penggunaan alat pengamatan *scanning electron microscope* (SEM) dapat menjadi sarana lanjutan guna menkonfirmasi komponen presipitasi yang terbentuk dan memperjelas pembentukan presipitasi yang mendekati pada batas butir.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat berlangsung dengan baik atas dukungan pendanaan yang diberikan oleh LPPM Universitas Sanata Dharma melalui skema hibah penelitian internal kompetitif tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. J. Beddoes and J.G. Parr, *Introduction to Stainless Steels*, 3rd ed. Ohio, ASM International, 1999.

[2]. I.M.W. Ekaputra, W.G. Kim, J.Y. Park, S.J. Kim, Y.W. Kim, "*Analysis of the Creep Crack Growth Rate for Modified 9Cr-1Mo Steel Using Q^* Parameter*," *J. Mech. Sci. Technol*., vol. 28, no. 10, hal. 4075-4081, Oct 2014.

[3]. W.G. Kim, J.Y. Park, I.M.W. Ekaputra, S.J. Kim, J. Jang, "*Cyclic Creep Behaviour Under Tension-Tension Loading Cycles With Hold Time of Modified 9Cr-1Mo Steel*," *Mater. High Temp.*, vol. 31, no. 3, hal. 249-257, Aug 2014

[4]. W.G. Kim, J.Y. Park, S.D. Hong, S.J. Kim, "*Probabilistic Assessment of Creep Crack Growth Rate for Gr. 91 steel*," *Nucl. Eng. Des*., vol. 241, no. 9, hal. 3580-3586, Sept 2011.

[5]. W.G. Kim, J.Y. Park, I.M.W. Ekaputra, S.J. Kim, J. Jang, "*Influence of Hold Time and Stress Ratio on Cyclic Creep Properties Under Controlled Tension Loading Cycles of Grade 91 Steel*," *Nucl. Eng. Technol*, vol. 49, no. 3, hal. 581-591, Apr 2017.

[6]. M. Liu, B. Liu, Z. Ni, C. Du, X. Li, "*Elucidating The Effect of Titanium Alloying on The Pitting Corrosion of Ferritic Stainless Steel*," *J. Mater. Res. Technol*., vol. 28, hal. 1247-1262, Feb 2024.

[7]. I.M.W. Ekaputra, "Investigasi Area Serrated Yielding Pada Paduan 800H,". *Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 3, hal. 867-874, Des 2022.

[8]. N. E. Dowling, *Mechanical Behavior of Materials*, 4th ed. London; Pearson Education, 2013.

[9]. W. D. Callister, Jr. M*aterials Sciences and Engineering*, 10th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017.

[10]. I.M.W. Ekaputra, "Prediksi Laju Perambatan Retak Melar Pada Baja Austenitik 316L Menggunakan Data Uji Melar Dan Metode NSW,". *Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 2, hal. 185-192, Aug 2019.

[11]. I. Velkavrh, J. Voyer, F. Kafexhiu, B. Podgornik, "*Creep Rate, Friction, and Wear of Two Heat-Affected Zone Regions of 9–12 wt.% cr Steels*," *Metals (Basel)*, vol. 11, no. 4, hal. 1-20, March 2021.

[12]. American Society for Testing Materials, *ASTM E139-18, Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

[13]. T. Shrestha, M. Basirat, I. Charit, G. P. Potirniche, K. K. Rink, and U. Sahaym, "*Creep Deformation Mechanisms in Modified 9Cr-1Mo Steel*," *J. Nucl. Mater.*, vol. 423, no. 1–3, hal. 110–119,

[14]. Apr. 2012.J. Zheng, Y. Zhao, L. Chen, "*High-Temperature Precipitation Behavior of W-Containing 444-Type Ferritic Stainless Steel in A Simulated Cyclic Annealing Process*," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 26, hal. 1712-722, Oct 2023.

[15]. R. Rejeesh, S. Biswal, R. Mitra, D. Chakrabarti, C.R. Das, S.K. Albert, "*The Relative Effect of Boron and Nitrogen Concentrations on Microstructure and Creep Resistance of Weld Simulated Heat-Affected Zones of Modified 9Cr-1Mo Steel,*" *Mater. Sci. Eng., A*, vol. 881, 145417, Aug 2023.

[16]. N. Sivaibharasi, N. G. Krishna, A. R. Shankar, S. Krishnakumar, S. Chandramouli, V. Karki, S. Kannan, J. Philip, "*Influence of Long Term Sodium Exposure on The Corrosion and Tensile Properties of AISI Type 316LN Stainless Steel and Modified 9Cr-1Mo Steel*," *J. Nucl. Mater.*, vol. 567, 153830, Aug 2022.