

P.ISSN : 2502-2040
E.ISSN : 2581-0138

MACHINE

JURNAL TEKNIK MESIN

Vol. 10 No. 2 Oktober 2024

Jurnal
Teknik Mesin

Vol. 10

No. 2

Hal

Oktober 2024

P.ISSN : 2502-2040
E.ISSN : 2581-0138

TERKAREDITASI BERDASARKAN KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI REPUBLIK INDONESIA NO. NOMOR 21/E/KPT/2018 TENTANG PERINGKAT AKREDITASI JURNAL ILMIAH PERIODE I TAHUN 2018



Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Bangka Belitung

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Redaktur:

Saparin, S.T., M.Si.

Editor:

Ir. Yudi Setiawan, S.T., M.Eng.

Ir. Suhdi, S.S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Rodiawan, S.T., M.Eng. Prac., Ph.D

Dr. Franto, S.T., M.Si.

Ir. Eka Sari Wijianti, S.Pd., M.T.

Jeri Arikxa, S.Pd., M.T.

Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D.

Abdul Gafur, S.Si., M.T.

Mitra Bestari:

Dr. Dani Harmanto (University of Derby),

Scopus ID: 55159740800

Ts. Dr. Nur Rashid bin Mat Nuri (UTeM)

Scopus ID: 55203041500

Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, M.T.(Untirta)

Scopus ID: 57193687510

Sinta ID: 260315

Dr. Ir. Erwin Siahaan, M.Si. (Untar)

Scopus ID: 57199235178

Sinta ID: 5990421

Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D. (Untirta)

Scopus ID: 55803690600

Sinta ID: 260203

Dr. Yanuar Burhanuddin, M.T. (Unila)

Scopus ID: 23391898600

Dr. Sukanto, S.ST., M.Eng.(Polman Babel)

Scopus ID: 57208470145

Dr. Ridho Irwansyah, S.T., M.T. (UI)

Scopus ID: 55006023800

Teguh Dwi Widodo, S.T., M.Eng., Ph.D. (UB)

Scopus ID: 56258446700

Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. (Unila)

Scopus ID: 57210989465

Firly Rosa, S.ST., M.T (UBB)

Scopus ID: 57212376084

Sekretariat:

Elisa Damayanti, S.A.P.

Laman Jurnal:

<http://journal.ubb.ac.id/index.php/machine>

Alamat Redaksi:

Gedung Babel IV

Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Sains dan Teknik

Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung

Balunijuk, Kabupaten Bangka Prov. Bangka

Belitung

Laman : mesin.ubb.ac.id

Email : teknikmesinunivbabel@gmail.com

PENGANTAR EDITOR

Machine; Jurnal Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung diterbitkan sebagai media untuk menampung tulisan-tulisan hasil dari penelitian dosen maupun mahasiswa di bidang Teknik Mesin.

Melalui jurnal ini, tim redaksi mengundang para peneliti di bidang teknik mesin untuk berpartisipasi secara aktif untuk mempublikasikan hasil penelitiannya.

Diharapkan tulisan-tulisan di jurnal ini dapat menjadi referensi bagi peneliti-peneliti di masa yang akan datang.

Tim Redaksi

Machine; Jurnal Teknik Mesin

DAFTAR ISI

DESIGN OF TAPERED WIND TURBINE USING VARIOUS NACA 24112 AIRFOILS IN SEMAYAN VILLAGE CENTRAL LOMBOK REGENCY	41
Hendry Sakke Tira ¹ , Muhammad Ponco Zulfikar ²	41
PENGARUH <i>HEAT INPUT</i> PADA PENGELASAN <i>COMBINE GTAW-SMAW DISSIMILAR</i> MATERIAL BAJA AISI 1045 DENGAN SS 304 TERHADAP SIFAT MEKANIK	47
Yusuf Rizal Fauzi ¹ , Akbar Ela Heka ²	47
PEMBANGKIT LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN BERTENAGA SURYA GUNA MEMENUHI KEBUTUHAN NELAYAN PANTAI MATRAS BANGKA	53
Rizal Teguh Hidayat ¹ , Boy Rollastin ² , Nanda Pranandita ³	53
PERANCANGAN MESIN EXTRUDER FILAMEN 3D PRINTING BERBAHAN SAMPAH PLASTIK KAPASITAS 40 KG/JAM	58
Deri Teguh Santoso ¹ , Fadillah Anugrah Saputra ² , Rianita Puspa Sari ³	58
ANALISIS PENGARUH VARIASI <i>AMPERE</i> PENGELASAN FCAW ANTARA BAJA <i>GRADE</i> EH36 DENGAN <i>GRADE</i> A TERHADAP SIFAT MEKANIK	65
Risriki Widodo ¹ , Purwanto ² , Siswadi ³	65
KAJI EKSPERIMEN PERBAIKAN CACAT RONGGA BENDA CORAN MATERIAL FC 250 MELALUI PROSES PENGELASAN BERBASIS ELEKTRODA NIKEL	74
Reza Yadi Hidayat ¹ , Antonius Adi Soetopo ² , Syifa Khairani ² , Dede Buchori Muslim ³ , M. Nahrowi ⁴	74
PENGUJIAN <i>CUTTER ENDMILL</i> HSS DIAMETER 12 MM DENGAN PEMOTONGAN <i>DEPT OF CUT</i> TERHADAP BAJA AMUTIT DI MESIN <i>MILLING LAGUN FU 100 (LFR 25)</i>	81
Antonius Adi Soetopo ¹ , Mohamad Yazid Diratama ² , Wandi Daniswara ³	81
SENSORY PREFERENCE DETERMINATION OF GREEN TEA EXTRACTS FROM UNCONTROLLED AND RELAY-CONTROLLED BREWING PROCESSES USING RANK ORDER CENTROID AND SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING	90
Borneo Satria Pratama ¹ , Alfiquiyansyah ² , Arya Dwicahaya S ² , Fitri Hardiyanti Rukmana ² , Intan Dwi Hartati ² , Henrike Lehla Cahya Brutu ² , Winda ² , Sariati ³	90

DESIGN OF TAPERED WIND TURBINE USING VARIOUS NACA 24112 AIRFOILS IN SEMAYAN VILLAGE CENTRAL LOMBOK REGENCY

Hendry Sakke Tira ¹, Muhammad Ponco Zulfikar ²

^{1,2} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mataram

Jl Majapahit No 62, Mataram 83115 Nusa Tenggara Barat Indonesia

hendrytira@unram.ac.id¹

Abstract

This research focuses on designing and optimizing a tapered wind turbine employing NACA 24112 airfoils, specifically tailored for Semayan Village in Central Lombok West Nusa Tenggara province. Given the escalating global energy demand and the depletion of fossil fuels, the study aims to explore alternative energy solutions. The chosen horizontal axis turbine, equipped with an increased number of blades, seeks to maximize the power coefficient and overall efficiency. The NACA airfoil model, coupled with Q-Blade v0.963 software, was employed for simulations after conducting wind speed measurements in Semayan Village. The collected data indicated moderate wind speeds, aligning with the selection of the Taper blade design. The blade design process involved comprehensive system efficiency calculations and twist angle optimizations to enhance overall turbine performance and extend its lifespan. Rotor simulations revealed a noteworthy peak in the power coefficient (C_p), reaching 45% at Tip Speed Ratio (TSR) 7, indicating an optimal point for power generation. However, the study emphasizes the importance of selecting an appropriate TSR, as efficiency diminishes at higher TSR values. This research highlights the potential of wind energy as a viable and sustainable solution, particularly for regions with limited access to electricity. It advocates for the broader adoption of renewable energy sources to address the evolving energy landscape.

Key words : NACA 24112, semayan village, Q-blade, taper blade.

INTRODUCTION

Access to electricity remains a challenge in many rural and remote areas across the world, where conventional energy infrastructure is often lacking. This issue is particularly prevalent in the island of Lombok, Indonesia, where some regions, especially those in remote and rural locations, still lack access to reliable electricity [1]. Without connection to the national grid managed by the National Electricity Company (PLN), communities in these areas face limitations in economic activities, education, healthcare, and overall quality of life.

One solution to address this challenge is the development of renewable energy sources, particularly wind energy, which can be harnessed in areas with favorable wind resources [2]. Given Lombok's proximity to the ocean, the island experiences consistent winds that provide a viable resource for energy generation. Utilizing wind turbines in these areas can offer a sustainable solution to address the local electricity needs. This approach not only enables off-grid electrification for

remote communities but also aligns with global efforts toward sustainable development by reducing dependency on conventional, centralized energy sources [3].

In the context of rural electrification on Lombok, horizontal axis wind turbines (HAWT) have been identified as a suitable technology due to their ability to generate electricity efficiently under local wind conditions [4]. Numerous studies have been conducted to optimize HAWT efficiency, including adjusting blade numbers and refining blade shapes, both of which can significantly influence the power coefficient and, consequently, the total energy output [5]. By optimizing these factors, it is possible to achieve higher energy generation per turbine, reducing the number of turbines needed to meet local demands [6].

The design of wind turbine blades is a crucial aspect in maximizing performance. One commonly used blade design method involves the use of NACA airfoils, which are known for their effective aerodynamic properties and ability to generate the necessary lift force [7]. The aerodynamic characteristics of an airfoil, particularly

the lift coefficient (CL), play a significant role in determining the overall efficiency of the turbine [8].

In this study, the focus will be on a village, namely Semayan village, Central Lombok district, West Nusa Tenggara province. In Semayan Village, the wind conditions are generally influenced by seasonal wind patterns, especially during certain months. In Lombok, the wind typically comes from the southeast during the dry season, from May to October, with wind speeds ranging between 10 to 20 km/h. These conditions are favorable for wind energy generation, as the wind speed tends to be consistent and persistent during this period [9].

During the rainy season, from November to April, the winds become more variable, with lower intensities. However, there are still certain periods when the wind can be quite strong, particularly when westward winds occur. This results in shifting wind patterns, which can affect the efficiency of wind energy systems in the region [10]. Overall, the wind conditions in Semayan Village can be optimized with technology capable of harnessing seasonal wind variations for stable renewable energy generation.

Therefore, to identify the optimal blade design for the specific wind conditions in Semayan Village, this study employs specialized software, Q-Blade, which allows for accurate numerical simulations and optimization of blade geometry. Q-Blade facilitates the modeling of blade parameters such as thickness, curvature, and angles of attack, enabling precise adjustments to achieve maximum performance [11].

This study aims to design an efficient wind turbine blade configuration using NACA 24112 airfoils tailored to the wind conditions of Semayan Village in Central Lombok district. The anticipated outcome is to provide a practical solution that can be implemented to improve electricity access for remote and off-grid communities in Lombok. By addressing the unique energy needs of these areas, this research aims to contribute towards a more sustainable and inclusive energy landscape on the island, fostering local development and quality of life improvements.

EXPERIMENTAL METHOD

Wind speed measurement

Before designing a wind turbine, it is essential to determine the wind speed to identify the type of turbine blade to be used. In order to ascertain the wind speed, we utilize the Anemometer Mobile application, which has the capability to predict wind speed in specific areas at different times. In this

report, we collected wind speed data in Semayan Village, Praya Subdistrict, Central Lombok district, West Nusa Tenggara.

The average wind speed obtained in the village is 9.7 km/h. Based on table 1, wind speeds ranging from 1-17.9 km/h are still classified as moderate. Therefore, the type of blade we will design and that is suitable for moderate wind speeds is the Taper blade, which has a smaller size at the tip than at the base.

Parameters determination

Blade design is carried out by determining the initial parameters of the blade, namely the overall system efficiency. The overall system efficiency has four important aspects: blade efficiency, transmission efficiency, generator efficiency, and controller efficiency. A previous study indicated that approximately 59% of wind energy can be extracted by the blades, a value recognized as the Betz coefficient (C_p) [12]. In this design, two values of blade efficiency are considered: low efficiency (30%) and high efficiency (40%). For this design, the values of generator, transmission, and controller efficiency are set at 90%. The overall system efficiency is obtained by multiplying these four efficiencies, as indicated in equation 1, resulting in a system efficiency of 22% when the blade efficiency is 30% and 29% when the blade efficiency is 40%. After obtaining the system efficiency, we then use the desired electrical power capacity (W_e), which is 300 W, with an average wind speed of 9.7 km/s.

$$K = \eta_b \cdot \eta_g \cdot \eta_t \cdot \eta_k \dots\dots\dots (1)$$

Where:

- K = system efficiency
- η_b = blade efficiency
- η_g = generator efficiency
- η_t = transmission efficiency

In the design of this wind turbine, in addition to the data presented in Table 1, we also used data obtained from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) in the form of wind roses from 1998 to 2020. This annual data is considered to provide comprehensive information as a basis for this wind turbine design. The windrose chart for Central Lombok (1998-2020) shows wind direction frequency and speed distribution (figure 1). Calm conditions (below 4%) are minimal, while the most frequent winds, ranging from 6-15 knots, primarily come from the south and southeast. Higher wind speeds (16-20 knots) occur less frequently, with rare gusts above 20 knots in specific directions. This data is essential for aligning

wind turbine design with predominant wind patterns, enhancing energy efficiency and performance by adapting blade orientation to common wind speeds and directions.

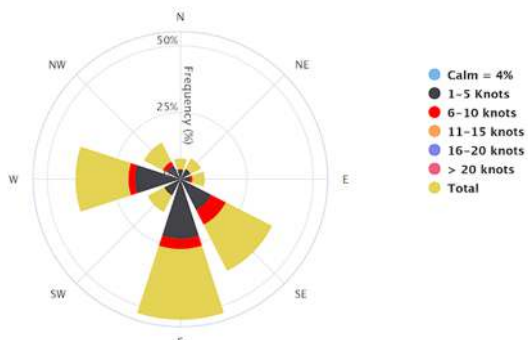


Figure 1 Windrose period at Central Lombok district 1998-2020 [13]

Table 1. Wind speed data

Friday, 17 June 2022		
No	Time (WITA)	Wind speed (km/h)
1	08.00	1.7
2	09.00	5.0
3	10.00	9.1
4	11.00	13.3
5	12.00	15.8
6	13.00	16.9
7	14.00	17.6
8	15.00	17.9
9	16.00	17.6
10	17.00	14.9
11	18.00	10.3
12	19.00	5.0
13	20.00	2.7
14	21.00	2.9
15	22.00	2.5
16	23	2.1
Average		9.7

Determining blade geometry

In determining the blade geometry, it is essential to establish the angle of attack (α) and Lift Coefficient (Cl). The angle of attack is the angle at which the wind strikes the airfoil, while the lift coefficient (Cl) is the coefficient of lift, where the lift force must be greater than the drag force coefficient to enable the blade to rotate. The values of the angle of attack and lift coefficient are obtained from simulations using the Q-Blade v0.963

software. The simulation results for the NACA 2412 airfoil are presented in figure 2 as follows.

The figure demonstrates the contour and thickness distribution of the airfoil shape, which are crucial for understanding the aerodynamic performance. The red line represents the NACA 2412 airfoil profile, which is defined by the NACA four-digit series for this airfoil type: "2" indicating the maximum camber of 2% of the chord length, "4" denoting the location of maximum camber at 40% along the chord, and "12" indicating a maximum thickness of 12% of the chord length. These characteristics are essential for ensuring efficient airflow and stable lift generation on wind turbine blades [14].

This visual representation helps in verifying the accuracy of the airfoil shape created using Q-Blade software, as it closely matches the original NACA 2412 specifications. Accurate airfoil geometry is crucial for the design process because slight deviations in shape can significantly affect the lift-to-drag ratio and, consequently, the overall efficiency of the turbine. The close alignment between the spline foil and the NACA 2412 profile confirms the reliability of the software in generating precise airfoil geometries suitable for experimental analysis [15].

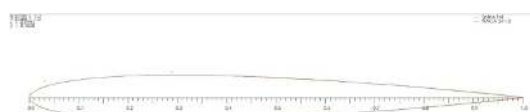


Figure 2 Airfoil design of NACA 4412

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows the Cl/Cd ratio. The Cl/Cd ratio is a critical indicator of the aerodynamic efficiency of an airfoil, as it represents the trade-off between lift (Cl) and drag (Cd) forces. A higher Cl/Cd ratio signifies a more efficient airfoil, as it can generate greater lift relative to the drag experienced. In the graph, the angle of attack (α) is plotted on the x-axis, ranging from -5 to +15 degrees, while the Cl/Cd ratio is shown on the y-axis. The graph helps identify the optimal angle of attack that maximizes the Cl/Cd ratio, which is crucial for selecting the most effective operational angle for the wind turbine blades in this design. The lift coefficient increases as the α rises, then decreases after reaching a certain point. This phenomenon is due to stall, where Cl reaches its optimum and does not increase further, while Cd continues to increase. The tip speed ratio (TSR) will be estimated at this stage, although it may change in the final simulation. The TSR estimation is done by referring to the range of 6

to 8 for a 3-blade wind turbine [16]. In this design, a TSR value of 7 is used. Subsequently, the partial radius and twist at each element are obtained. The obtained twist does not form a linear line, making the blade manufacturing process challenging. Therefore, an optimization of the twist angle with linearization of the curve is necessary.

The optimized twist is illustrated in figure 4. In figure 4, it can be observed that there is a systematic decrease in the twist value starting when the optimization value reaches 0.2. This decrease is associated with efforts to optimize the overall performance of the wind turbine. It is intended to enhance the efficiency and power generated by the wind turbine across various wind speeds. Another aspect is to reduce aerodynamic loads. The reduction in twist at a specific point can be employed to alleviate aerodynamic loads on the blade, particularly under certain operational conditions. This can aid in diminishing drag forces or optimizing the pressure distribution on the aerodynamic profile of the blade. Furthermore, the decrease in twist is a response to specific wind conditions [17]. Designs engineered to adapt their twist angles to particular wind speeds or directions can help maximize power generation in various wind conditions. Additionally, the reduction in twist plays a role in improving the stability of the wind turbine, especially when facing fluctuating wind speeds. Adjusting the twist angle can assist in minimizing pressure or stress that might occur on the blade [18]. With the decreasing twist values, it is anticipated that the blade's lifespan can be extended due to its aerodynamic shape that effectively accommodates wind speeds. Similarly, the load experienced by the blade is reduced as it aligns with the wind direction, resulting in a longer blade lifespan [19].

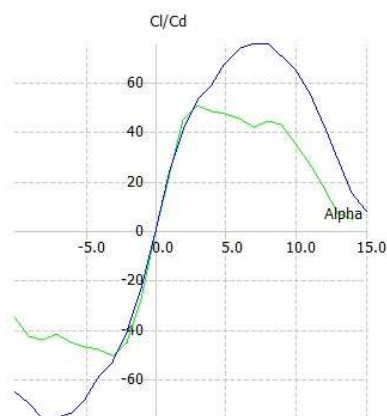


Figure 3 Cl/Cd vs Alpha

The The sharp peak at the start of the twist distribution, followed by a systematic decrease,

signifies an intentional design aimed at balancing lift and drag ratios along the blade span. This initial peak allows for an enhanced lift-to-drag ratio near the root of the blade, where wind speeds are generally lower due to the shorter radius from the center of rotation [20]. By concentrating twist in this region, the design ensures that even lower wind speeds contribute effectively to power generation.

As the optimization progresses and twist reduces, this trend aligns with efforts to minimize induced drag and vortex shedding towards the blade tip, where rotational speeds are higher. Lower twist at the blade's outer sections helps to reduce aerodynamic losses and prevents excessive pressure build-up that could cause structural stress or vibration under fluctuating wind conditions.

Additionally, this gradual twist reduction improves structural stability by limiting the torsional load variations that can arise from turbulent wind flows. This characteristic makes the blade more resilient to gusts and sudden shifts in wind direction, ensuring that it maintains optimal aerodynamic efficiency over a broader range of operational conditions [21]. Furthermore, with the decrease in twist towards the tip, the blade's mass and center of gravity are managed to enhance rotational stability, which can contribute to smoother and more efficient turbine performance

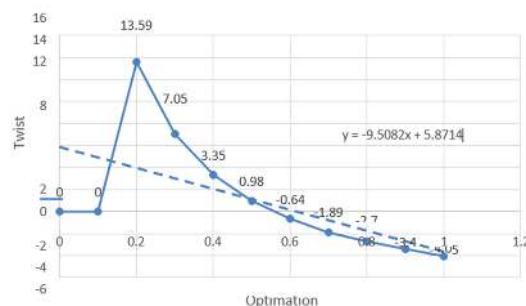


Figure 4 Optimization vs twist

Obtaining the geometric parameters of the blade, the rotor simulation is then conducted using the blade element momentum (BEM) method with Q-Blade v0.963 software. The parameters entered during the simulation include 100 iterations, air density of 1.225 kg/m³, and dynamic viscosity of approximately 1.64 x 10⁻⁵ Ns/m². The simulation results of the coefficient of power against tip speed ratio (Cp-TSR) are presented in figure 5. According to the simulation, the blade achieves a Cp of 45% at TSR 7.

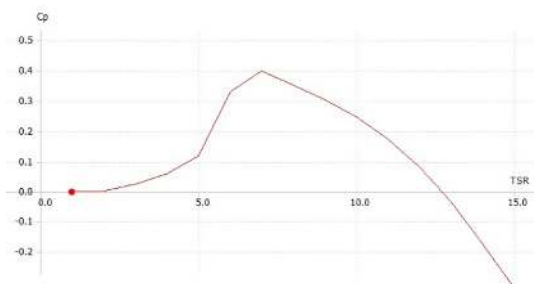


Figure 5 Tip speed ratio vs coefficient of power

From figure 5, it is evident that at $TSR = 1$, the C_p value is at a minimum. This indicates that no power is generated by the wind turbine under these conditions. This is because the wind turbine cannot efficiently capture wind energy at this TSR. However, there is then an increase in the C_p value until $TSR = 7$. As TSR increases from 1 to 7, C_p rises and reaches its peak at $TSR = 7$ with a C_p value of 0.4. This increase signifies that the wind turbine is starting to capture and convert more wind energy into power at $TSR = 7$. Subsequently, there is a decline in the C_p value with an increase in TSR. After reaching its peak at $TSR = 7$, C_p starts decreasing steadily with an increase in TSR. This indicates that when TSR is too high, the wind turbine experiences a reduction in efficiency and cannot effectively capture wind energy [22]. C_p even becomes negative at TSR greater than 13. This suggests that the wind turbine on the NACA 2412 blade in this scenario is experiencing overspeeding, where the rotation speed is excessively high. At this point, the wind turbine cannot efficiently convert wind energy into power, and the negative C_p indicates a power loss. This negative C_p indicates an adverse phenomenon of overspeeding, where the rotation speed becomes excessively high, leading to an inefficient conversion of wind energy. Therefore, selecting an optimal TSR is crucial for maximizing efficiency and power generation while avoiding the pitfalls of overspeeding.

CONCLUSION

In summary, the study focused on designing and optimizing a tapered wind turbine using NACA 24112 airfoils for Semayan Village, addressing the rising energy demand, finite fossil fuels, and environmental concerns. The horizontal axis turbine with increased blades aimed at maximizing power coefficient. Key considerations included the NACA airfoil model, Q-Blade v0.963 software for simulations, and wind speed measurements in Semayan Village. The Taper blade was chosen for moderate wind speeds. Blade design

involved determining initial parameters, calculating system efficiency, and optimizing the twist angle for enhanced performance and durability. Rotor simulations highlighted a C_p of 45% at $TSR = 7$, indicating optimal power generation, but diminishing efficiency at higher TSR values. This study underscores the potential of wind energy solutions for regions like Semayan Village, emphasizing the need for a renewable energy shift in areas with limited electricity access.

REFERENCES

- [1] Alnavis N. B., Wirawan R. R., Solihah K. I., and Nugroho V. H., Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia, *Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering*, Vol. 1, No. 2, 2024, pp. 119–139.
- [2] Yani A., Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Angin Tipe Propeller Terhadap Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pesisir Pantai), *Jurnal Jago*, Vol. 1, No. 2, 2021, pp. 39–44.
- [3] Holechek J. L., Geli H. M. E., Sawalhah M. N., and Valdez R., A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050?, *Sustainability*, Vol. 14, No. 8, 2022, pp. 1–22.
- [4] Ridwan M., Nuhasanah R., and Atmajaya T., Uji Kinerja Hubungan Variasi Bilah terhadap Daya Turbin Angin Pada Sumbu Horizontal, *Jurnal Pendidikan Tambusai*, Vol. 6, No. 2, 2022, pp. 1–5.
- [5] Hand B., Kelly G., and Cashman A., Aerodynamic design and performance parameters of a lift-type vertical axis wind turbine: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 139, 2021, p. 110699.
- [6] Wilberforce T., Olabi A. G., Sayed E. T., Alalmi A. H., and Abdelkareem M. A., Wind turbine concepts for domestic wind power generation at low wind quality sites, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 394, 2023, p. 136137.
- [7] Yasim A., Rizal A., and Widodo, Studi Numerik Karakteristik Hidrofoil NACA 63(4)021 Sebagai Pengembangan Bilah Turbin Arus Laut Kecepatan Rendah, *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, Vol. 16, No. 4, 2022, pp. 43–50.
- [8] Suryady S., and Nugroho E. P., Simulasi Faktor Keamanan dan Pembebanan Statik Rangka pada Turbin Angin Savonius, *Jukim Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, Vol. 1, No. 2, 2022, pp. 42–48.

- [9] Kaha A. V., Baskoro W. T., Sumaja K., Sukarasa I. K., Paramarta I. B., and Sandi I. N., Impact of Tropical Cyclone Seroja on Rainfall and Wind Speed in East Nusa Tenggara Province, Indonesian Physical Review, Vol. 7, No. 1, 2024, pp. 52–69.
- [10] Yasa I. W., Saadi Y., Sulistyono H., Setiawan E., Hartana H., and Negara I. D., Analisis Karakteristik Kedalaman Hujan dan Iklim di Pulau Lombok, Ganec Swara, Vol. 15, No. 2, 2021, pp. 1067–1074.
- [11] Tarigan R. A. P., Ariawan R., Maulana A. J., and Khorni W. A., Pengaruh Sudut Sudu Turbin Jenis Taper Terhadap Tip Speed Ratio (TSR) dan Power Coefficient (CP) pada Turbin Angin Horizontal Berbasis Q-Blade, Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science, Vol. 03, No. 01, 2022, pp. 7–12.
- [12] Apata O., and Oyedokun D. T. O., An Overview of Control Techniques for Wind Turbine Systems, Scientific African, Vol. 10, 2020, p. e00566.
- [13] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Climagraph & Windrose. Stasiun Klimatologi Lombok, n.d. Available: <https://staklim-ntb.bmkg.go.id/climagraph-windrose>, [Accessed: Nov. 8, 2024].
- [14] Zhang Z., Research on Aspect Ratio and Angle of Attack for Optimizing the Performance Of Airfoil NACA 24112, in International conference on Advancement in Materials, Manufacturing, and Energy Engineering, 2022, pp. 257-267.
- [15] Perdana D. W., and Effendy M., Studi Numerik dan Eksperimen Aerodinamika Airfoil NACA 24112, Creative Research in Engineering (CERIE), Vol. 1, No. 1, 2021, pp. 1–11.
- [16] Hermanses J. F., Rumbayan M., and Sugiarso B. A., Animasi Interaktif Pembelajaran Energi Listrik Turbin Angin, Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol. 9, No. 3, 2020, pp. 171–180.
- [17] Hernowo S., Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Sederhana dengan Panjang Sudu 1 meter, Jurnal Voering, Vol. 5, No. 1, 2020, pp. 15–21.
- [18] Zulfikar, Harahap P., and Laksono H. A., Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 Dan 8 pada Turbin Angin Savonius terhadap Tegangan dan Arus Generator Dc, RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, Vol. 2, No. 1, 2019, pp. 1–8.
- [19] Fadila A., Zakaria I., Fauzan M., Sahid, and Supriyo, Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga dengan Profil NACA 0006, Eksergi, Vol. 15, No. 3, 2019, pp. 102-114.
- [20] Pane M., and Samosir R., Perancangan Turbin Angin Vertikal Modifikasi Darrieus Menggunakan Geometri Airfoil Naca 2414, Journal of Mechanical Manufactures Materials and Energy, Vol. 7, No. 2, 2023, pp. 178-187.
- [21] Maulana E., Djatmiko E., Mahandika D., and Putra R. C., Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U untuk Kapasitas 100 W, Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi, 2021, pp. 183-190.
- [22] Sudrajat A., Hidayanti F., Repi V. V. R., and Widjayahakim D., Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Turbin Angin Yaw Direction, Jurnal Ilmiah GIGA, Vol. 23, No. 2, 2020, pp. 83-90.

PENGARUH *HEAT INPUT* PADA PENGELASAN *COMBINE GTAW-SMAW DISSIMILLAR* MATERIAL BAJA AISI 1045 DENGAN SS 304 TERHADAP SIFAT MEKANIK

Yusuf Rizal Fauzi ¹, Akbar Ela Heka ²

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin

Jl. Brig Jend. Hasan Basri, Pangeran, Kec. Banjarmasin Utara, Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan
70124

yusuf.rizal.fauzi@poliban.ac.id ¹

ABSTRAK

Praktik pencampuran logam yang sebanding atau berbeda terkait erat dengan kemajuan teknis industri bangunan yang semakin canggih dan cepat. Prosedur pengelasan yang unik ini menggunakan dimensi 200 x 200 x 6 mm untuk baja tahan karat AISI 1045 dan baja karbon SS 304. GTAW menggunakan ER 309 L, logam pengisi berdiameter 2,4 mm. Pengelasan yang berbeda material bertujuan untuk mengajarkan bagaimana masukan panas mempengaruhi sifat mekanik. Dalam percobaan ini, masukan panas berkisar antara 1,08 kJ/mm hingga 0,83 kJ/mm. Struktur mikro diperiksa, dan uji tarik dan kekerasan dilakukan. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa logam induk SS 304 retak pada tegangan rata-rata 886 MPa. Menurut hasil uji kekerasan, area di mana garis *fusion line* bertemu dengan logam induk lebih keras daripada logam dasar itu sendiri. Menurut analisis struktur mikro, area garis fusi SS 304 memiliki fase perlit dan ferit, area logam las mengandung austenit dan dendrit, dan bagian garis fusi AISI 304 mengandung ferit dan austenit. Terdapat hubungan yang pasti antara peningkatan nilai kekerasan dan pengaruh masukan panas pada HAZ dan garis fusi.

Kata kunci : *dissimilar, heat input, logam induk.*

Abstract

The practice of mixing comparable or dissimilar metals is inextricably linked to the building industry's increasingly sophisticated and rapid technical advancement. This one-of-a-kind welding procedure employs dimensions of 200 x 200 x 6 mm for AISI 1045 stainless steel and SS 304 carbon steel. GTAW uses ER 309 L, a 2.4 mm-diameter filler metal. Dissimilar welding aims to teach you how heat input influences mechanical properties. In this experiment, the heat input ranges from 1.08 kJ/mm to 0.83 kJ/mm. The microstructure was examined, and tensile and hardness tests were carried out. The tensile test results indicated that the SS 304 base metal fractured at an average stress of 886 MPa. According to the hardness test results, the area where the fusion line meets the base metal is harder than the base metal itself. According to the microstructure analysis, the SS 304 fusion line area has pearlite and ferrite phases, the weld metal area contains austenite and dendrites, and the AISI 304 fusion line section contains ferrite and austenite. There is a definite relationship between increased hardness value and the effect of heat input on the HAZ and fusion line.

Keywords : *dissimilar, heat input, base metal.*

PENDAHULUAN

Perkembangan pada teknologi tidak terlepas dari proses manufaktur atau fabrikasi yang berkaitan sangat erat dengan logam. Logam yang digunakan dalam proses manufaktur memiliki berbagai macam jenis seperti baja, aluminium, stainless steel, seng, kuningan, perunggu dan lain sebagainya. Pengelasan logam berbeda adalah suatu proses pengelasan yang dilakukan pada dua jenis logam atau paduan logam yang berbeda. Pengelasan

logam berbeda (*dissimilar metal welding*) merupakan perkembangan dari teknologi las modern akibat dari kebutuhan akan penyambungan material-material yang memiliki jenis logam yang berbeda.[1].

Beberapa tahun terakhir pengelasan logam beda jenis mendapatkan perhatian yang lebih. Pengelasan logam berbeda (*dissimilar metal welding*) merupakan penggabungan material yang memiliki jenis logam yang berbeda.[2] Hal yang dapat mempengaruhi pengelasan beda jenis (*dissimilar metal welding*) antara lain prosedur pengelasan itu

sendiri, kuat arus, jenis elektroda, pemilihan jenis kampuh dan proses pendinginan.[3].

Sesuai dengan kandungan komposisi karbonnya, baja digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu baja karbon rendah sedang dan tinggi. Baja AISI 1045 merupakan baja yang memiliki kandungan karbon sekitar 0,43-0,50 dan termasuk dalam baja karbon menengah. Baja AISI 1045 memiliki kandungan Karbon (C) = 0,4-0,45%, Slikon (Si) = 0,1-0,3%, Mangan (Mn) = 0,60-0,90%, Molibdenum (Mo) = 0,025%, Fosfor (P) = 0,04%, Sulfur (S) = 0,05%, dan termasuk baja paduan menengah dan banyak digunakan sebagai komponen otomatis misal komponen roda gigi pada kendaraan bermotor.[4] Sedangkan *Stainless Steel* 304 mempunyai komposisi kandungan karbon (C)=0,08%, khrom (Cr)= 18-20%, mangan (Mn)=2% dan nikel (Ni)=8-12%. Pengelasan baja dengan *stainless steel* disebut dengan pengelasan beda jenis (*dissimilar metal welding*).[5]

Saat ini hampir tidak ada logam yang tidak dapat di las, karena telah banyak teknologi baru yang di temukan dengan berbagai macam pengelasan. Penyambungan dua buah logam yang berbeda atau paduan logam yang berbeda (*Dissimilar Metal Welding*) merupakan perkembangan dari teknologi las yang modern berasal dari kebutuhan akan penyambungan material-material yang memiliki jenis logam yang berbeda.[6]

Heat input pada las sangat mempengaruhi struktur fasa, laju pendinginan serta distorsi.[7] Permasalahan yang akan di hadapi pada penggabungan dua logam berbeda adalah perbedaan titik lebur, koefisien muai, sifat fisis dan mekanis dari logam tersebut dengan adanya permasalahan tersebut maka pengelasan dua logam

yang berbeda memerlukan suatu prosedur pengelasan yang baik agar didapat mutu las yang maksimal[8].

Oleh sebab itu diperlukan upaya untuk meneliti pengaruh *dissimilar* pada pengelasan terhadap pengelasan logam berbeda baja AISI 1045 dengan SS 304 menggunakan pengelasan GTAW dan SMAW serta hasil pengelasan akan diuji kekuatan tarik dan kekerasannya, data pengujian akan dibahas.

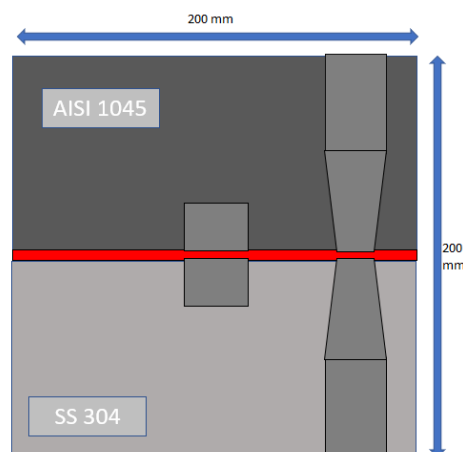
METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Workshop Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Banjarmasin dan pengujian dilaksanakan di Lab. Pengujian Bahan Program studi teknik mesin Politeknik Negeri Banjarmasin.

Metode pengelasan Combine merupakan metode pengembangan dalam pengelasan dua material baja untuk mendapatkan suatu sifat tertentu. Pengaplikasian metode pengelasan combine ini diperuntukan pada penyambungan baja yang membutuhkan tingkat kekuatan dan ketangguhan yang tinggi pada sambungannya.[9]

Pada tahap ini material yang digunakan adalah AISI 1045 dan baja tahan karat AISI 304 yang memiliki ukuran 200 mm x 200 mm x 6 mm, pada proses pengelasan menggunakan 2 metode, untuk bagian *rootpass* menggunakan GTAW dan untuk pengisian layer menggunakan SMAW elektroda LB 52U dengan posisi 1G.

Setelah itu dilakukan uji visual dan penetrant untuk melihat potensi terjadinya cacat las permukaan, hasil uji penetrant menunjukkan tidak ditemukannya cacat las pada permukaan hasil pengelasan. Setelah itu benda kerja dipotong untuk pembuatan spesimen uji tarik. Spesimen uji bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Layout pengelasan

Pengelasan ini menggunakan 2 logam yang memiliki komposisi yang berbeda antara baja karbon AISI 1045 dan baja tahan karat SS 304 untuk komposisi kimia logam tersebut dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

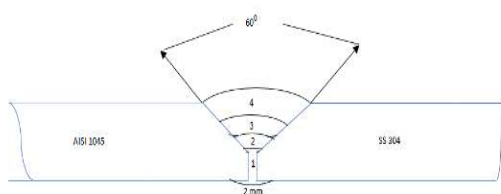
Tabel 1. Komposisi AISI 1045

Komposisi kimia AISI 1045 (wt.%)						
C	Si	Mn	Mo	P	S	
0,4-0,45	0,1-0,3	0,60-0,90	0,025	0,04	0,05	

Tabel 2. Komposisi SS 304

Komposisi kimia SS 304 (wt.%)						
C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
0,08	18-20	8-12	2	0,34	0,032	0,019

Pengelasan akan dilakukan dengan dua metode, yang pertama pada bagian *rootpass* ini menggunakan metode GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dengan *filler* ER 309 L berdiameter 2,4 mm standar AWS 5.9, parameter pengelasan yang mendukung berjalannya proses pengelesan menggunakan arus 90 A, tegangan yang digunakan 13 V serta polaritas menggunakan DCEP (*Direct Current Electrode Positive*). Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi 1G (*butt joint*). Selanjutnya yang kedua pada bagian hotpass menggunakan metode SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) menggunakan elektroda LB 52U dengan arus 90. Pada saat memulai proses pengelasan diberi penambahan plat pada 2 sisi material yang disebut *tab* lalu dilakukan *tack weld* yang bertujuan untuk menahan 2 buah logam pada posisinya agar tidak terjadinya penggesaran selama proses pengelasan. Pengelasan ini memiliki sebanyak 4 *layer*, *layer* 1 yaitu *root pass*, *layer* 2 dan 3 yaitu *hot pass*, yang terakhir *layer* 4 yaitu *capping* untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Sketsa layer pengelasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan ini data yang diperoleh antara lain data-data hasil uji kekerasan menggunakan metode *Vickers hardness test*, data hasil uji metalografi struktur mikro, data hasil uji tarik pada sambungan las dan data-data tersebut diperoleh berupa nilai.

Data hasil pengelasan

Untuk mencari persamaan masukan panas (*heat input*) menggunakan persamaan seperti berikut:

$$HI = \frac{V \times I \times 60}{1000 \times s}$$

Keterangan: HI = *Heat Input* (kJ/mm),

V = Tegangan las (Volt),

I = Arus las (Ampere),

s = Kecepatan pengelasan (mm/min)

Tabel 3. masukan panas rendah

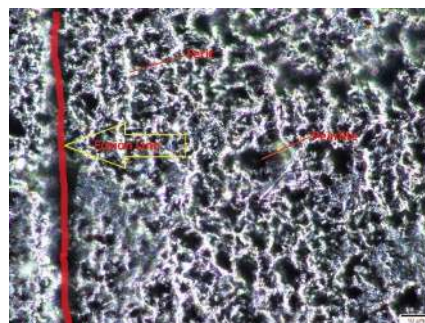
Urutan Pengelasan	Arus (A)	Tegangan (V)	Travel Speed (Mm/Min)	Heat Input (Kj/Mm)
<i>root pass</i>	90	13	90,21	0,81
<i>hot pass</i>	90	13	83,54	0,84
<i>hot pass</i>	90	13	80,21	0,87
<i>capping</i>	90	13	88,65	0,79
Rata-rata			85,6525	0,83

Tabel 4. masukan panas tinggi

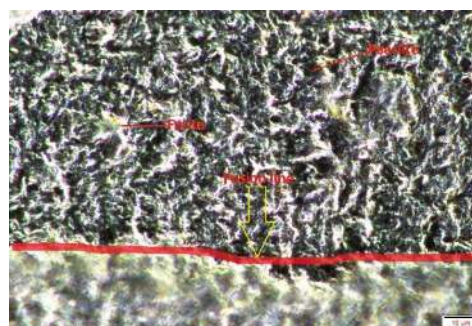
Arus (A)	Tegangan (V)	travel speed (mm/min)	heat input (kJ/mm)	Arus (A)
<i>root pass</i>	90	13	70,65	0,99
<i>hot pass</i>	90	13	64,43	1,09
<i>capping</i>	90	13	60,33	1,16
Rata-rata			65,14	1,08

Data yang diperoleh dari proses pengelasan dengan variasi masukan panas rendah menggunakan persamaan masukan panas didapatkan hasil 0,83 kJ/mm sedangkan untuk variasi masukan panas tinggi didapatkan hasil 1,08 kJ/mm.

Pengamatan struktur mikro

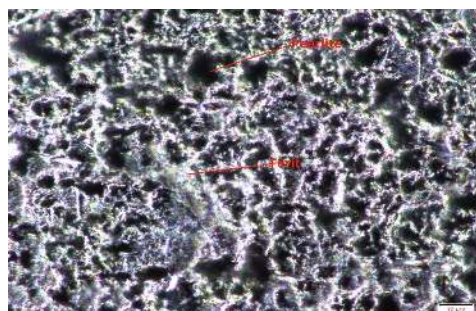


Gambar 3 Struktur mikro *fusion line* SS304 masukan panas rendah

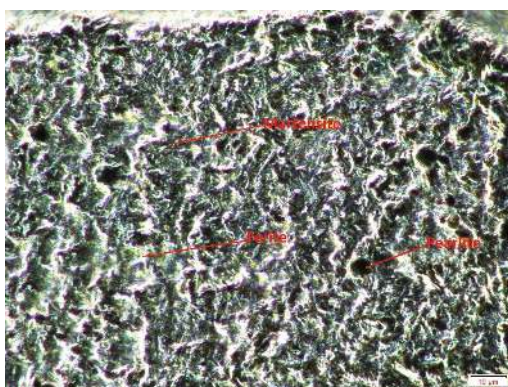


Gambar 4 Struktur mikro *fusion line* SS304 masukan panas tinggi

Struktur mikro daerah *fusion line* baja karbon SS304 bisa dilihat perbandingan antara variasi masukan panas tinggi dan masukan panas rendah terdapat 2 fasa yang terbentuk yaitu fasa ferit dan perlit daerah *fusion line* SS304 pada daerah HAZ yang menuju logam induk SS304. Penambahan arus dapat meningkatkan panas, peningkatan panas ini membuat struktur logamnya menjadi kasar dan semakin tinggi temperatur juga dapat memperbesar butir yang mempengaruhi nilai kekerasan pada batas *weld metal*, *fusion line* dan HAZ SS304. Butir ferit mengakibatkan karakteristik yang lunak terhadap material sedangkan fasa perlit meningkatkan ketangguhan dari material baja. Semakin banyak hadirnya fasa ferit dan perlit yang terkandung pada material, maka nilai kekuatan tariknya semakin rendah [9].



Gambar 5 Struktur Mikro Aisi 1045 Masukan Panas Rendah

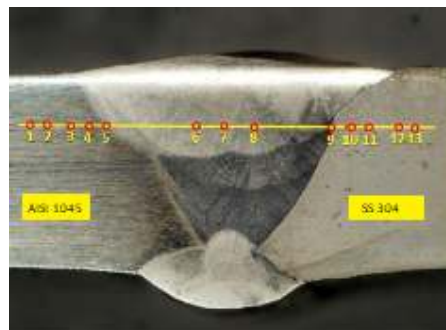


Gambar 6 Struktur mikro AISI 1045 masukan panas tinggi (a), (b)

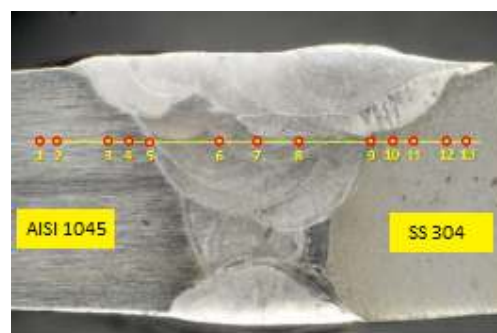
Struktur mikro daerah pada *fusion line* baja tahan karat AISI 1045 ini ada perbedaan dari kedua variasi masukan panas tinggi dan masukan panas rendah, terlihat pada variasi masukan panas tinggi fasa yang lebih mendominasinya adalah fasa ferit dan martensite dibandingkan dengan variasi masukan panas rendah fasa ferit cenderung lebih sedikit, pengaruh fasa yang terbentuk terhadap sifat

mekanik ini bisa dibuktikan dengan hasil uji kekerasan.

Uji kekerasan ini menggunakan metode *Vickers* dengan pembebanan 1 kgf/mm² dengan waktu penekanan 10 detik, uji kekerasan ini mengacu pada standar ASTM E384, untuk jumlah titik indentasi ada 13 titik. 2 titik indentasi di setiap *Heat Affected Zone* (HAZ) AISI 1045 dan SS 304, 1 titik indentasi pada *fusion line* dan 3 titik indentasi pada *weld metal* bisa dilihat pada Gambar 6a dan Gambar 6b.

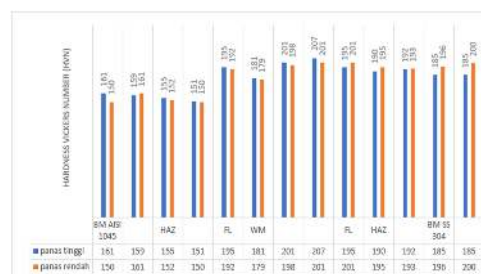


Gambar 6a. titik indentasi pada heat input tinggi



Gambar 6b. titik indentasi pada heat input rendah

Setelah menentukan titik indentasi, hasil uji kekerasan ini dibuat grafik agar bisa terlihat perbandingan setiap titik indentasinya. Pada Gambar 7 yang dilampirkan dibawah ini grafik penggabungan variasi masukan panas tinggi dan variasi masukan panas rendah serta mencantumkan juga nilai HVNnya.



Gambar 7. Grafik Hasil uji kekerasan

Nilai kekerasan pada kedua variasi tersebut memiliki nilai yang sangat beragam, apabila dikorelasikan dengan hasil pengamatan struktur mikro, hadirnya fasa ferit yang mempengaruhi sifat mekanik yaitu menurunkan nilai kekerasan pada baja. Pada daerah *fusion line* dan *Heat Affected Zone* (HAZ) pada AISI 1045 ini mengalami kenaikan nilai kekerasannya 192 HVN pada masukan panas rendah untuk masukan panas tinggi nilai kekerasannya 195 HVN menjadi sangat keras dibandingkan logam induknya yang hanya memiliki rentan nilai kekerasan 150 HVN hingga 161 HVN. Pada daerah HAZ dari baja karbon rendah mengalami reaksi berupa berdifusinya kromium ke dalam *Heat Affected Zone* (HAZ) dan terdifusi dari *weld metal* ke dalam logam induk, faktor ini menyebabkan kekerasan di batas *weld metal*, *fusion line*, dan *Heat Affected Zone* (HAZ) menjadi sangat keras dibandingkan logam induknya.

Sedangkan untuk daerah *fusion line* SS 304 mengalami penurunan ketika masukan panas tinggi, penurunan nilai kekerasan ini karena peningkatan kekerasan antara *Heat Affected Zone* (HAZ) dan daerah lasan lebih besar dalam baja karbon rendah dibandingkan dengan baja tahan karat karena konduktivitas panas yang lebih baik. Jika material baja tahan karat diberi perlakuan panas maka panas tersebut terpusat pada daerah yang terkena panas sehingga hanya sedikit panas yang disalurkan ke daerah sekitarnya. Pengelasan antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat untuk semua variasi tegangan listrik dan waktu pengelasan menghasilkan struktur butir *columnar* di daerah *Fusion Line*. [10].

Pada tahap uji tarik ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik hasil pengelasan *dissimilar* dan kekuatan *weld metal*nya. Kedua variasi masukan panas yang akan diuji tarik ini berjumlah 6 spesimen. Standar uji tarik menggunakan ASTM E8.



Gambar 8. Specimen pengujian Tarik

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Tarik heat input tinggi dan rendah

Spesimen	Yield Strength	Tensile Strength	Regangan	Patahan
Panas tinggi	893,33	932	2	base metal SS 304
Panas rendah	832	872	1,5	base metal SS 304

Panas tinggi	870,66	876	2	base metal SS 304
Panas rendah	814,66	840	2,5	base metal SS 304
Panas tinggi	846,66	872	2	base metal SS 304
Panas rendah	841,33	929	2,5	base metal SS 304

Semua patahan dari hasil uji tarik putus pada bagian *base metal* dan apabila dikorelasikan dengan hasil uji kekerasan maka bisa diketahui nilai kekerasan pada *base metal* baja karbon SS400 ini memiliki nilai kekerasan yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan *weld metal* dan *base metal* baja tahan karat SS 304. Hal ini didukung hasil penelitian Firmansyah, Dkk [11] yang menyatakan bahwa logam *stainless steel* lebih kuat dibandingkan dengan *base metal* baja karbon.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa masukan panas memberikan pengaruh sebagai berikut:

1. Pada uji kekerasan masukan panas sangat berpengaruh terhadap daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *fusion line* pada baja karbon SS400 dan baja tahan karat AISI 304 yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibanding dengan logam induknya.
2. Kekuatan tarik kedua variasi masukan panas tinggi dan masukan panas rendah cenderung memiliki nilai rata-rata yang hampir sama 893MPa untuk variasi masukan panas tinggi dan untuk variasi masukan panas rendah 880 MPa, semua spesimen patah di bagian *base metal* baja karbon SS304.
3. Pada pengamatan struktur mikro daerah *base metal*, *fusion line*, *Heat Affected Zone* (HAZ) variasi masukan panas tinggi dan variasi masukan panas rendah memiliki pengaruh terhadap nilai kekerasannya. Pada daerah *fusion line* baja karbon SS400 nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan logam induknya. Pada masukan panas tinggi fasa yang lebih mendominasi adalah fasa perlit sedangkan untuk masukan panas rendah yang mendominasinya adalah fasa ferit. Pada bagian *weld metal* variasi masukan panas memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasannya karena semakin besar masukan panas semakin banyak dendritik yang mengakibatkan semakin tingginya nilai kekerasan. Pada bagian *fusion line* baja tahan karat AISI 304 pada masukan panas yang tinggi nilai kekerasannya menurun

dibandingkan masukan panas rendah, penyebab dari penurunan ini hadirnya fasa ferit yang mendominasi di variasi masukan panas tinggi dibandingkan dengan masukan panas rendah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim laborototium pengujian bahan dan metrologi politeknik negeri banjarmasin yang sudah banyak membantu dalam penelitian ini dan terimakasih kepada rekan-rekan dosen, PLP serta mahasiswa yang sudah memberikan support dan kerjasamanya sehingga penelitian ini bisa terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Askar, S. Sinarep, and N. H. Sari, "Pengaruh Preheat Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja Jis Ss 400," *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 16–25, 2013, doi: 10.29303/d.v3i1.84.
- [2] M. Y. A. Repi, Apriliana Hidayati Nurdin, "Pengaruh Arus Listrik dan Filler Pengelasan Logam Berbeda Baja Karbon Rendah (St 37) dengan Baja Tahan Karat (Aisi 316l) terhadap Sifat Mekanis dan Struktur," *proseding SNATIF*, vol. 4, no. St 37, pp. 637–642, 2017, [Online]. Available: <http://jurnal.umk.ac.id/index.php/SNA/article/view/1403>.
- [3] A. R. Irwanto, "Perbandingan variasi gerakan elektroda pada proses shielded metal arc welding (smaw) terhadap struktur mikro dan kekuatan bending baja Karbon rendah," *Fak. Tek. Univ. Negeri Semarang*, 2016.
- [4] D. Ariska, "Analisa Perbandingan Kekuatan Bending dan Kekuatan Tarik pada Pengelasan Smaw Plat Baja St 37 Menggunakan Variasi Arus dan Kecepatan Pengelasan." Bengkalis: Politeknik Negeri Bengkalis, 2017.
- [5] A. Duniawan, "Pengaruh Gerak Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Uji Kekerasan Dari Hasil Las Baja SSC 41," *J. Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 128–134, 2015.
- [6] A. Rabbi and I. Imran, "Analisa Pengaruh Gerakan Elektroda pada Pengelasan SMAW terhadap Uji Kekerasan dan Kekuatan Bending Baja ST 37," in *Seminar Nasional Industri dan Teknologi*, 2018, pp. 131–140.
- [7] L. N. Y. M, S. Heru, and Q. Abdul, "Pengaruh Variasi Arus Las Smaw Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Sambungan Dissimilar Stainless Steel 304 Dan St 37," *J. Tek. Mesin*, vol. 24, no. 1, pp. 1–12, 2016, [Online]. Available: <http://journal2.um.ac.id/index.php/jurnal-teknik-mesin/article/view/511>.
- [8] M. Zaki Mahbub, "Pengaruh Masukan Panas thdp Distorsi dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Dissimilar Baja AISI 304...," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 24–33, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>.
- [9] S. Mikro, P. Baja, J. I. S. Ss, J. H. S. Ronggowaluyo, T. Timur, and K. Barat, "Program Studi Teknik Mesin , Fakultas Teknik , Universitas Singaperbangsa Karawang 24 Desmon , Semuel; Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smaw Dan Gtaw Terhadap Pengujian Kekerasan , Kekuatan Impak Serta Pengamatan Struktur Mikro Pada Baj," vol. 8, no. 1, pp. 24–33, 2022.
- [10] Haikal1, Moch.Chamim1, E. Suryono1, F. N. Hidayah1, and Triyono2, "PENGARUH PARAMETER PENGELASAN RESISTANCE SPOT WELDING TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK MULTI - LAYER IOGAM TAK SEJENIS BERBEDA KETEBALAN Program Studi Teknik Mesin , Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta Program Studi Teknik Mesin , Universitas Sebelas," vol. 7, no. 1, pp. 16–24, 2021.
- [11] W. Firmansyah, H. Suryanto, and Solichin, "Pengaruh Variasi Waktu Penekanan Pengelasan Titik Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pada Sambungan Dissimilar Baja Tahan Karat AISI 304 Dengan Baja Karbon Rendah ST 41," *J. Tek. Mesin*, no. 2, pp. 2–9, 2016.

PEMBANGKIT LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN BERTENAGA SURYA GUNA MEMENUHI KEBUTUHAN NELAYAN PANTAI MATRAS BANGKA

Rizal Teguh Hidayat¹, Boy Rollastin², Nanda Pranandita³

^{1,2,3} Prodi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Kawasan industri air kantung, Sungailiat, Sungailiat, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung
33215

rizalijul88@gmail.com¹

Abstrak

Sumber daya alam berupa panas matahari, dapat dijadikan sebagai alternatif pembangkit listrik dengan menggunakan suatu alat pembangkit listrik berupa panel surya. Di daerah-daerah tertentu masih banyak yang memerlukan pasokan daya listrik seperti contoh pada daerah Pantai Turun Aban Sungailiat Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Di lokasi tersebut belum ada pasokan daya listrik sama sekali, para nelayan yang ada di lokasi Pantai Turun Aban sering melakukan proses pengangkutan hasil tangkapan pada kondisi malam hari. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan, para nelayan tersebut dapat menggunakan alternatif pembangkit listrik berupa panel surya. Penelitian ini mengkaji tentang proses analisis kinerja pembangkit listrik bertenaga surya. Panel surya menghasilkan daya sebesar 115,28 watt dalam 1 hari. Waktu yang dibutuhkan untuk pengisian daya pada aki adalah 5,81 jam/hari dan waktu ketahanan aki selama 4,65 jam dalam 1 hari.

Kata kunci : pembangkit listrik, panel surya, lingkungan

Abstract

Natural resources in the form of solar heat, can be used as an alternative to electricity generation by using a power plant tool in the form of solar panels. In certain areas there are still many who need a supply of electric power, for example in the Turun Aban Sungailiat Beach area, Bangka Belitung Islands Province. At that location there is no electric power supply at all, the fishermen at the Turun Aban Beach location often carry out the process of transporting catches at night conditions. Therefore, to meet their needs, these fishermen can use alternative power plants in the form of solar panels. This research examines the process of analyzing the performance of solar-powered power plants. The solar panel produces 115.28 watts of power in 1 day. The time required for charging the battery is 5.81 hours/day and the battery endurance time is 4.65 hours in 1 day.

Key words : power generation, solar panel, environment

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan energi dan potensi alam yang melimpah yang dapat dimanfaatkan. Oleh karena itu energi dan potensi alam dapat dimanfaatkan menjadi alternatif penghasil listrik. Panas matahari merupakan potensi alam yang dapat digunakan sebagai penghasil energi listrik [1]. Namun pada saat ini, ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik masih sangat tinggi atau dalam kata lain sumber energi tidak terbarukan. Energi fosil masih menjadi pilihan utama dengan persentase mencapai 33,58%, batu bara 37,15% dan gas bumi 20,13%. Di sisi lain, penggunaan energi terbarukan masih sangat rendah hanya 9,15% [2].

Energi surya merupakan energi terbarukan yang diperoleh dengan menggunakan peralatan tertentu untuk mengubah energi panas matahari menjadi sumber daya lain [3]. Energi surya dapat dimaksimalkan menggunakan suatu alat, yaitu panel surya. Panel surya adalah alat yang dikembangkan para ilmuwan yang menggunakan efek fotovoltaik untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik [4]. Tegangan listrik yang dihasilkan panel surya saat tidak ada beban sebesar 0,6 volt dan 0,45 volt saat ada beban [5].

Kepulauan Bangka Belitung memiliki potensi energi primer yang banyak sehingga dapat dimanfaatkan yang mana diantaranya yaitu, panas matahari 2,8 MW dan kecepatan angin 1,7 MW. Hal ini sesuai dengan Rencana Umum Energi Kepulauan Bangka Belitung yang memiliki tujuan untuk mencapai 17,21% pada penggunaan energi

terbarukan pada tahun 2025 dan 30,97% pada tahun 2050 [6].

Di wilayah pesisir, intensitas angin dan sinar matahari cukup kuat, seperti salah satu pantai di Kepulauan Bangka Belitung yaitu Pantai Turun Aban. Pantai Turun Aban adalah pantai yang sering dijadikan sebagai tempat untuk berangkat dan berlabuhnya perahu para nelayan. Nelayan tersebut sering membongkar muatannya pada pagi dan malam hari, namun pada saat malam hari nelayan sulit melakukan bongkar muatan karena tidak ada aliran listrik yang masuk, mengingat jarak jalur listrik utama yang cukup jauh. Nelayan harus bersusah payah untuk memanfaatkan perangkat penerangan yang mahal seperti baterai dan generator untuk mendapatkan arus listrik.

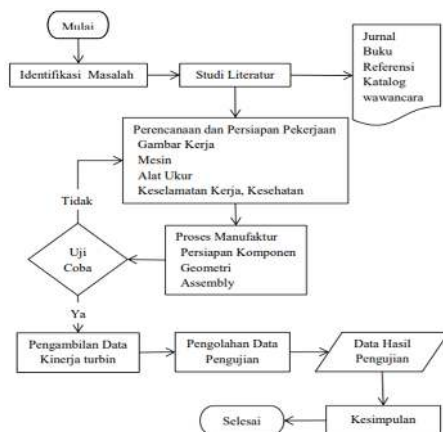
Penelitian ini bertujuan untuk membantu penerangan kepada para nelayan saat melakukan pembongkaran muatan pada malam hari.

METODE PENELITIAN

Metode yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah dengan menyusun kegiatan dalam bentuk diagram alir, dengan tujuan agar kegiatan lebih terarah dan terkendali, sehingga dapat mencapai tujuan yang diharapkan.

Gambar 1 menggambarkan diagram alir penelitian.

1. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2. Pengumpulan Data

Tujuan pengumpulan data adalah untuk menemukan data yang akan memberikan kontribusi pada penelitian. Pengumpulan data dilakukan melalui metode survei lapangan dan wawancara

dengan warga sekitar Pantai Tulum Aban Desa Matras, Bangka.

Alat dan Bahan

Berikut alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

Alat

1. Mesin las
2. Gerinda tangan
3. Mesin bor tangan
4. Kunci pas
5. Palu
6. Meteran
7. Siku
8. Helm las
9. Sarung tangan
10. Kaca mata
11. Spidol
12. Tang rivet
13. Kuas

Bahan

1. Besi siku L

Besi siku adalah besi dengan sudut 90o dan penampang berbentuk L. Besi siku juga memiliki beberapa keunggulan, salah satu keunggulannya adalah ketahanannya terhadap karat [7].

2. Bessi hollow

Besi hollow adalah bentuk besi yang sering dibuat dari bahan galvanis, *stainless steel*, dan baja, dengan kontur persegi. Besi hollow umumnya digunakan dalam operasi konstruksi seperti membangun pagar rumah, membuat kanopi dan rangka mesin, dan dalam berbagai aplikasi lainnya [8].

3. Plat 1 mm

Plat digunakan sebagai penutup dari kerangka mesin agar komponen-komponen terhindar dari gangguan luar yang dapat merusak komponen pembangkit listrik.

4. Panel surya

Panel surya merupakan suatu alat untuk mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, sel surya menghasilkan listrik yang digunakan untuk mengisi baterai [9].

5. Aki

Aki digunakan sebagai alternative penerangan dan memiliki kemampuan untuk menyimpan energi yang diperoleh dari pengecasan [10].

6. Solar charge controller

Solar Charge Controller adalah sebuah komponen pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berfungsi sebagai pengatur tegangan dan arus yang mengalir dari panel surya ke baterai. Solar Charge Controller juga berfungsi untuk menjaga baterai agar tidak mengalami pengisian daya yang berlebihan [5].

7. Inverter

Inverter adalah alat elektronik yang menghasilkan input arus searah (DC) dan output arus bolak-balik (AC). [11].

8. Kabel

Kabel digunakan sebagai penghubung sumber aliran listrik ke semua perangkat elektronik.

9. Cat hitam, orange dan biru

Cat berfungsi untuk melindungi rangka dan menara dari karat sehingga dapat bertahan lama.

10. Thinner

Thinner digunakan sebagai bahan campuran cat sehingga cat menghasilkan kualitas yang baik.

11. Elektroda RB 26 Ø2.6 mm

Elektroda berfungsi untuk menghubungkan kerangka dan menara sesuai dengan desain yang telah ditetapkan.

12. Engsel

Engsel berfungsi untuk menghubungkan dua komponen supaya dapat bergerak membuka dan menutup pada bagian pintu.

13. Mata gerinda potong, penghalus dan finishing

Mata gerinda digunakan sebagai penghalus, pemotong maupun pembersihan suatu komponen.

14. Mata bor

Mata bor berfungsi untuk membuat lubang pada suatu bagian komponen yang akan digunakan pada pembuatan alat pembangkit listrik.

15. Baut dan mur

Baut dan mur digunakan sebagai penghubung suatu komponen dengan komponen lainnya sehingga terjadi suatu pengikatan antar komponen.

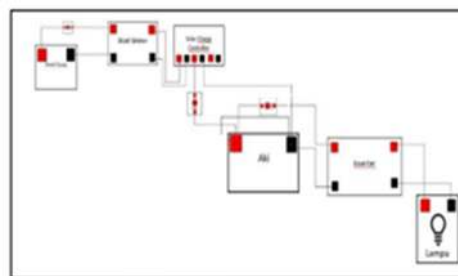
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar Mesin

Hasil akhir pembuatan mesin pembangkit listrik ramah lingkungan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Akhir Pembuatan Mesin Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan



Gambar 3. Rangkaian Instalasi Kelistrikan

Hasil Pengujian

Sebagai dasar untuk mengukur kinerja panel surya dan daya yang masuk ke aki, serta meninjau hasil kinerjanya, pengukuran panas matahari dan aki selama tujuh hari. Tabel 1 menunjukkan hasil data pengujian Panel Surya dan Tabel 2 menunjukkan hasil data pengujian aki.

Tabel 1 Hasil Pengujian Panel Surya

No	Arus (I)	Tegangan (V)
1	1,16	13,71
2	0,35	14,26
3	0,69	14,72
4	0,68	14,73
5	0,81	14,55
6	0,7	13,12

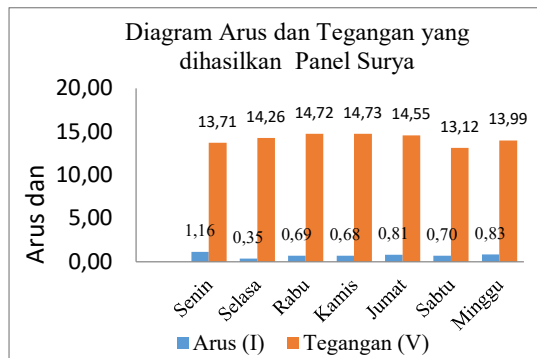
7	0,83	13,99
Rata-rata	0,74	14,16

Tabel 2 Pengujian Aki

No	Arus (I)	Tegangan (V)
1	1,66	13,13
2	1,71	13,53
3	1,73	13,56
4	1,73	13,51
5	1,73	13,60
6	1,74	13,40
7	1,73	13,50
Rata-rata	1,72	13,46

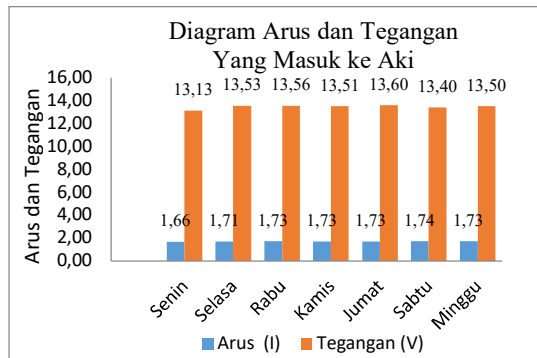
Diagram Pengujian

Diagram pengujian panel surya dan daya yang masuk ke Aki dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Diagram Pangujian Panel Surya

Menurut hasil pengujian yang dilakukan pada panel surya, nilai arus dan tegangan terbesar adalah 1,16 ampere pada hari senin dan 14,73 volt pada hari kais. Cuaca yang tidak dapat diramalkan mempengaruhi naik turunnya arus dan tegangan yang terjadi selama proses pengujian.



Gambar 5 Diagram Pengujian Aki

Berdasarkan hasil pengambilan data pada baterai, arus dan tegangan tertinggi pada baterai adalah 1,74 ampere pada hari Sabtu dan 13,60 volt pada hari jumat. Arus dan tegangan turbin angin dan panel surya memiliki pengaruh yang besar terhadap arus dan tegangan baterai. Akibatnya arus dan tegangan turbin angin dan panel surya sebanding dengan arus dan tegangan baterai.

Perhitungan Hasil Pengujian

Perhitungan Hasil Pengujian Panel Surya

Perhitungan Perhitungan pengujian yang telah dilakukan pada panel surya dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

- P : Daya Listrik (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Arus (Ampere)

Rumus tersebut diasumsikan pada rata-rata pengujian selama 7 hari. Maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$P = 14,16 \times 0,74$$

$$P = 10,48 \text{ Watt} \times 11 \text{ jam (waktu pengecasan)}$$

$$P = 115,28 \text{ Watt}$$

Menurut hasil pengujian rata-rata selama tujuh hari, panel surya dapat menghasilkan daya rata-rata 14,74 watt.

Panel dapat menghasilkan rata-rata 10,48 Watt listrik. Daya rata-rata tersebut dikalikan dengan 11 jam waktu pengisian daya, dari pukul 07.00 hingga 18.00 WIB. Kesimpulan yang diperoleh adalah panel surya dapat menghasilkan daya sebesar 115,28 watt per hari yang dikonsumsi.

Perhitungan Hasil Pengujian Aki

Untuk menentukan waktu pengisian daya aki digunakan rumus sebagai berikut:

$$T = C/I \dots\dots\dots (2)$$

- T : Lama Waktu Pengisian (jam)
- C : Kapasitas Baterai (Ah)
- I : Arus rata-rata (ampere)

$$T = \frac{70 \text{ Ah}}{1,72} = 40,7 \text{ jam}$$

$$T = 40,7 / 7 \text{ hari}$$

$$T = 5,81 \text{ jam/hari}$$

Berdasarkan rata-rata pengujian selama 7 hari, dapat disimpulkan bahwa rata-rata waktu yang

diperlukan untuk pengisian baterai adalah 40,7 jam, dan waktu yang diperlukan untuk pengisian penuh dalam satu hari adalah 5,81 jam. Angka ini didapat dengan membagi hasilnya dengan 7 hari.

Perhitungan Waktu Pemakaian Aki

Untuk menentukan waktu pemakaian aki digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Waktu pemakaian} &= \frac{\text{Kapasitas aki}}{\text{I rata-rata}} - 20\% \quad (3) \\ &= \frac{70 \text{ Ah}}{1,72} - 20\% \\ &= 40,7 - 20\% \\ &= 32,56 \end{aligned}$$

Kemudian dari hasil rata-rata waktu pemakaian aki dibagi menjadi 7 hari

$$= 32,56/7 = 4,65 \text{ jam.}$$

KESIMPULAN

Daya yang dihasilkan oleh panel surya adalah 115,28 watt, waktu yang dibutuhkan untuk pengisian daya ke aki adalah 5,81 jam/hari dan 4,65 jam waktu pemakaian aki dalam 1 hari dari hasil pengujian panel surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih banyak kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah mendanai penelitian kami sebagai bagian dari penelitian pengabdian masyarakat. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada para pengajar, keluarga, dan teman-teman yang telah berpartisipasi dalam studi pengabdian masyarakat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antonov Bachtiar, Wahyudi Hayyatul, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras," *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 34–45, 2018.
- [2] Tomi Alamsyah, Anyong Hiendro, Zainal Abidin, "Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Menggunakan Panel Mono-Crystalline dan Poly-Crystalline Di Kota Pontianak dan Sekitarnya", *Jurnal Teknik Elektronika*, vol. 2, no. 1, pp. 1-10, 2019.

- [3] Valdi Rizki Yandri, "Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik Di Indonesia," *Jurnal Ilmu Fisika, Politeknik Universitas Andalas*, vol. 4, no. 1, pp. 14–19, 2012.
- [4] Fatur Rahman, Mamat Rokhmat, Indra Wahyudi Fathonah, " Analisis Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Kapasitas Daya Keluaran", *Engineering Journal of Telkom University*, vol. 7, no. 2.
- [5] Bambang Hari Purwoto, Jatmiko, Muhamad Alimul Fadilah, Ilham Fahmi Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif," *Jurnal Teknik ELEKTRO*, vol.18, no. 1, pp. 10-14.
- [6] Siri Rahma Wati, Ari Subarkah, Debby Rahmadhanti, Haryudi Purwansyah, Wahri Sunanda, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Angin Di desa Jada Bahrin". In *PROCEEDING OF NATIONAL COLLOQUIUM RESEARCH AND COMMUNITY SERVICE*, vol. 5, pp. 66-69, 2021.
- [7] Bagus Saputra, Alnino Jimi Kastuarie, dan Aditia Saputra, "Rancang Bangun Mesin Penggiling Padi", *Laporan Akhir Proyek Akhir*, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat, 2020.
- [8] Febiana Meijon, Fadul, "BAB II TINJAUAN PUSTAKA", pp. 4–17., 2019.
- [9] Dian Furqani Alifyanti, Juara Mangapul Tambunan, *Jurusan Teknik Elektro STT PLN Jakarta, Jurusan Teknik Elektro STT PLN Jakarta*, "Penganturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 WATT ", vol. 1, no. 1, pp. 79-95.
- [10] Firman Agung Nugroho., Kharisma Bani Adam, S.T., M.T., P. D., Angga Rusdinar, S.T., M.t., P. D., " Sistem Pengisian Baterai Aki Pada Automated Guided Vehicle Menggunakan Solar Panel", *e-Proceeding of Engginering*, vol. 7, no. 3, pp.1-9, 2020.
- [11] Abdul Muis Prasetya, Sofian, "Iplementasi Inverter Pure Sine Wave Unuk pemanfaatan Energi Surya", *THETA OMEGA: Journal of Electrical Engineering, Computer, and Information Tecnology*, vol. 2, no.1, pp. 50-54, 2021.

PERANCANGAN MESIN EXTRUDER FILAMEN 3D PRINTING BERBAHAN SAMPAH PLASTIK KAPASITAS 40 KG/JAM

Deri Teguh Santoso ¹, Fadillah Anugrah Saputra ², Rianita Puspa Sari ³

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

³ Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl. H.S. Ronggowaluyo, Telukjambe Timur, Karawang 41361

deri.teguh@ft.unsika.ac.id ¹

Abstrak

Plastik telah mengalami peningkatan produksi yang pesat selama 70 tahun terakhir. Awalnya pada tahun 1950 dunia hanya memproduksi 2 juta ton dan sekarang produksinya lebih dari 450 juta ton. Kurang lebih sekitar seperempat sampah plastik dibuang begitu saja dan tidak dikelola dengan baik yaitu Sekitar 82 juta ton. Dengan kata lain sampah tersebut tidak dibuang ditempat pembuangan yang baik, tidak di daur ulang ataupun dibakar. Penelitian ini melalui beberapa tahapan yaitu studi literatur, pengumpulan data, desain extruder, perhitungan elemen mesin, analisis dan pembahasan. Terdapat enam jenis material yang akan dijadikan objek pemilihan bahan extruder diantaranya SS 410, SS 422, AISI 4140, AISI 4340, AISI 1144, dan AISI 1045. Dilakukan perencanaan pada elemen mesin sehingga didapatkan nilai von mises stress dan deflection untuk menentukan nilai yang sesuai dengan perencanaan desain extruder. Diperoleh kesimpulan bahwa Nilai Von Misses Stress tertinggi diperoleh pada material seluruh material dengan variasi panjang dan lebar material yaitu 700 dan 45 mm. Semakin tinggi dimensi panjang dan diameter, memberikan nilai von mises stress yang tinggi pula. Serta nilai deflection tertinggi diperoleh pada material Stainless Steel 410 dengan variasi panjang dan lebar material yaitu 700 dan 45 mm. Semakin tinggi Dimensi panjang suatu material, dapat memberikan nilai defleksi yang tinggi pula.

Kata kunci : extruder, sampah, von mises, deflection.

Abstract

Plastics have experienced a rapid increase in production over the last 70 years. Initially, in 1950, the world only produced 2 million tons, and now production is more than 450 million tons. Around a quarter of plastic waste is thrown away and needs to be appropriately managed, namely around 82 million tons. In other words, the waste is not disposed of in a proper disposal site, not recycled or burned. This research underwent several stages: literature study, data collection, extruder design, machine element calculations, analysis and discussion. Six types of materials will be used as objects for selecting extruder materials, including SS 410, SS 422, AISI 4140, AISI 4340, AISI 1144, and AISI 1045. Planning is carried out on the machine elements so that von Misses stress and deflection values are obtained to determine the appropriate values. Extruder design planning. It was concluded that the highest Von Misses Stress value was obtained for all materials with variations in material length and width, namely 700 and 45 mm. The higher the length and diameter dimensions, the higher the von Misses stress value. The highest deflection value was obtained on Stainless Steel 410 material with variations in length and width of the material, namely 700 and 45 mm. The higher the length dimension of a material, the higher the deflection value.

Key words : extruder, waste, von mises, deflection.

PENDAHULUAN

Sampah plastik menjadi salah satu permasalahan yang dialami oleh negara di seluruh

dunia, dikarenakan sulit terurai dan masih kurangnya penanganan lebih lanjut. Sampah plastik dapat mengubah habitat dan proses alami, mengurangi kemampuan ekosistem untuk beradaptasi terhadap perubahan iklim, dan secara langsung berdampak

pada penghidupan jutaan orang, kemampuan produksi pangan, dan kesejahteraan sosial. Plastik telah mengalami peningkatan produksi yang pesat selama 70 tahun terakhir. Awalnya pada tahun 1950 dunia hanya memproduksi 2 juta ton dan sekarang produksinya lebih dari 450 juta ton [1].

Kurang lebih sekitar seperempat sampah plastik dibuang begitu saja dan tidak dikelola dengan baik yaitu sekitar 82 juta ton. Sampah tersebut tidak dibuang pada tempat pembuangan sampah yang sesuai, maupun tidak dilakukan daur ulang seperti *recycle, reuse, reduce*. Sekitar 19 juta ton sampah telah mencemari lingkungan, 13 juta ton diantaranya mencemari lingkungan darat, dan 6 juta ton sisanya mencemari sungai atau garis pantai. Sisa sampah plastik yang bocor ke lingkungan perairan terakumulasi di sungai dan danau. [2]. United Nations pun menuliskan bahwa rata-rata, 430 juta ton plastik diproduksi di dunia, dengan dua pertiga plastik tersebut hanya digunakan dalam jangka waktu yang sangat singkat. Seperti pembungkus untuk coklat batangan, bungkus keripik dan peralatan plastik untuk makan siang kami. Setiap hari lebih dari 2.000 truk sampah berisi plastik dibuang ke laut, sungai, dan danau. Akibatnya, polusi plastik akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2060 jika tidak ada tindakan yang diambil.

Untuk menangani sampah plastik perlu dilakukan dengan konsep 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*) [3,4,5]. *Reuse* adalah menggunakan kembali barang-barang yang terbuat dari plastik, *Reduce* adalah mengurangi pembelian atau penggunaan barang-barang dari plastik, terutama barang-barang yang sekali pakai dan *Recycle* adalah mendaur ulang barang-barang yang terbuat dari plastik. Dari konsep 3R tersebut maka beberapa penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan kembali plastik yang telah dibuang ke lingkungan, dalam hal ini menggunakan konsep *Recycle* [6]. Untuk dapat mengatasi meningkatnya jumlah sampah plastik, berbagai upaya dilakukan untuk mendaur ulangnya. Penggunaan plastik daur ulang diharapkan dapat mengurangi jumlah sampah plastik di dunia. Salah satu teknologi yang berkembang dan penerapan plastik sebagai bahan utama adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) [7]. Pada FDM, material berupa filamen plastik dipanaskan hingga mendekati titik leleh kemudian diekstrusi sesuai desain yang ada [8]. Hal tersebut bisa menanggulangi sampah plastik yang menjadi permasalahan saat ini.

Namun, permasalahan yang terjadi dalam proses pembuatan filamen ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari filamen yang dihasilkan mesin *filament extruder*. Variasi kecepatan pencetakan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas dimensi 3D hasil pencetakan menggunakan filamen yang terbuat dari

limbah botol PET. Hal Ini bisa berupa pertimbangan dalam memilih parameter pencetakan pada *printer* 3D menggunakan filamen dari botol bekas [9].

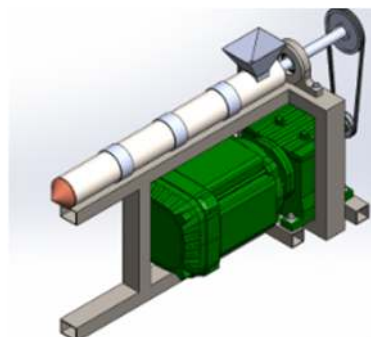
Selain itu, kekuatan *design screw* pada *filament extruder* juga perlu diteliti agar performa *screw* bisa tahan dalam kondisi operasi [10,11]. Agar tidak mudah mengalami *crack* dan memiliki umur yang panjang dalam penggunaannya. Inklusi pengotor berperan sebagai pusat tegangan tinggi (*severe stress concentration*) yang akan mempengaruhi ketahanan *fatigue* dari *screw* dan memfasilitasi inisiasi dari perambatan retak fatik. Adanya pembebanan dinamis berupa tarik-tekan menyebabkan material *screw* mengalami kelebihan tegangan pada daerah tertentu dan akhirnya menghasilkan retak dan patahan [12].

METODE PENELITIAN

1. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan beberapa langkah untuk menyelesaikan permasalahan, yaitu sebagai berikut:

- a. Studi Literatur
Langkah pertama dalam perancangan ini adalah studi literatur yang mana mencari informasi juga teori yang bersangkutan dengan target perancangan Dan juga referensi sebagai acuan awal dalam mendesain filamen extruder.
- b. Pengumpulan Data
Pengumpulan data mengenai berat jenis material plastik. Serta Material yang akan digunakan *Screw Extruder*.
- c. Desain Extrude
Pemodelan dan desain *extruder* menggunakan *solidworks*, seperti yang dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Desain Extruder

- d. Perhitungan Elemen Mesin

Perhitungan elemen mesin untuk mengetahui torsi, momen dan gaya gaya yang bekerja pada *screw extruder*. Perhitungan torsi pada *shaft screw* pada saat *screw* berputar dengan input dari *pulley*.

- e. Analisis
Melakukan analisis hasil perhitungan dan desain untuk menentukan desain yang paling optimal.
- f. Kesimpulan
Setelah semua hal tersebut dilakukan selanjutnya adalah tahap kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

2. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2023 s.d. Desember 2023. Tempat yang dipilih untuk melaksanakan penelitian ini, yaitu Lab Produksi Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang.

3. Spesifikasi Material Extruder

Dalam melakukan penelitian pada *screw*, penelitian ini menggunakan variabel material. Tabel 1 dibawah merupakan material yang akan digunakan yaitu:

Tabel 1. Spesifikasi Material

Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (GPa)
Stainless Steel 410	1225	1525	200
Stainless Steel 422	1000	1580	190
AISI 4140	415	655	210
AISI 4340	470	745	205

Tabel 2. Design of Experiment

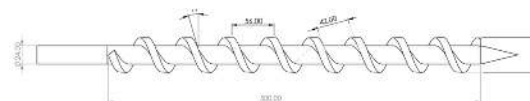
No	Material	Panjang
1	410 Stainless Steel	700 mm
2		600 mm
3		500 mm
4	Stainless Steel - Grade 422	700 mm
5		600 mm
6		500 mm
7	AISI 4140	700 mm
8		600 mm
9		500 mm
10	AISI 4340	700 mm

11	600 mm
12	500 mm

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Desain Screw Extruder

Desain *Screw Extruder* dibuat berdasarkan rasio panjang (L) dan diameter sekrap atau barrel (D) terhadap ukuran barrel (rasio L/D). Secara umum rasio L/D menggunakan rasio 18:1, 20:1, 24:1, 30:1, 36:1, dan 40:1, yang biasanya digunakan skala industri untuk *mass production*. Sehingga semakin besar rasio yang digunakan, semakin tinggi kemampuan menghasilkan produk, namun sumber energi yang digunakan menjadi semakin tinggi untuk menggerakkan dan memanaskan material plastik pada *screw extruder* tersebut. Penelitian ini menggunakan dibawah rasio umum, dengan alasan mesin extruder dapat lebih kecil dan dipakai dalam skala laboratorium. Rasio L/D yang digunakan pada penelitian ini dengan 3 level yaitu 12,5:1, 14:1, dan 15,5:1, yaitu *gap rasio* masing-masing 1,5 dibawah rasio umum (rasio 18:1).



Gambar 2. Desain Screw Extruder (variasi panjang 700, diameter 45)

$$\frac{L}{D} = \frac{L_{Flight}}{D}$$

$$12.5 = \frac{L_{Flight}}{40}$$

$$L_{Flight} = 500 \text{ mm}$$

L_{Flight} merupakan panjang dimensi kerja proses ekstrusi dari *screw* dengan geometri berbentuk ulir. Panjang L_{flight} pada perhitungan kali ini nilainya sama dengan panjang *screw extruder*.

Desain Output Extruder

Dalam perhitungan output extruder dapat di definisikan oleh persamaan dibawah ini

$$Q = \text{Drag flow } (Q_D) - \text{Pressure Flow } (Q_P)$$

Maka dari itu perlu mendefinisikan Q_D dan Q_P agar bisa mendapatkan output dari persamaan diatas. Dimensi dan Rpm dari sebuah extruder mempengaruhi hasil *output extruder*. Sebelum mendapatkan hasil output perlu menentukan dimensi dan Rpm dari extruder. Rpm mempengaruhi kecepatan aliran pada proses ekstrusi yang dimana kecepatan aliran pada *channel screw* (V_z) mempengaruhi *drag flow* (Q_D) dari *extruder*. Pada

penelitian ini Rpm 50 yang digunakan, sudut $\cos \phi$ merupakan *helix angle* pada *screw* pada Gambar 2, maka:

$$V_z = \pi \times D \times N \times \cos \phi$$

$$V_z = 3.14 \times 40 \text{ mm} \times 50 \times \cos 17.77^\circ$$

$$V_z = 2962,4 \text{ mm}/\text{min}$$

Hasil dari kecepatan aliran pada channel screw (V_z) tersebut input pada persamaan drag flow Q_D di bawah ini:

$$Q_D = \frac{W \times H \times V_z}{2}$$

$$Q_D = \frac{42 \text{ mm} \times 7.5 \text{ mm} \times 2962,4 \text{ mm}/\text{min}}{2}$$

$$Q_D = 466578,2 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Setelah mendapatkan nilai drag flow Q_D tahap selanjutnya mendefinisikan Pressure flow Q_P , Namun sebelum itu diperlukan nilai *pressure* (ΔP) pada *channel screw dies* atau *nozzle* dengan memeperhitungkan variabel viskositas plastik saat diberikan *shear rate* (η). Sebagai sampel menggunakan material *polyethylene terephthalate* (PET) dengan nilai $\eta = 0.7$

$$\Delta P = \frac{Q_D \times \eta}{\pi \times R^4}$$

$$\Delta P = \frac{466578,2 \text{ mm}^3/\text{min} \times 0.7}{3.14 \times (1.75 \text{ mm})^4}$$

$$\Delta P = 0,65 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Setelah mendapatkan nilai Pressure pada channel screw, persamaan pressure flow (Q_P) dapat didefinisikan hasilnya.

$$Q_P = \frac{W \times H^3 \times \sin \phi}{12 \times \eta} \times \frac{\Delta P}{L}$$

$$Q_P = \frac{42 \text{ mm} \times (7.5 \text{ mm})^3 \times \sin 17.77^\circ}{12 \times 0.7}$$

$$\times \frac{0,65 \text{ N}/\text{mm}^2}{540 \text{ mm}}$$

$$Q_P = 2,239 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Setelah mendapatkan hasil dari persamaan *drag flow* (Q_D) dan *pressure flow* (Q_P) maka kita bisa mengetahui besaran dari output extruder dengan mengurangi hasil *drag flow* dengan *pressure flow*. Jika mengasumsikan jenis material plastik yang

digunakan yaitu PET dengan massa jenis sebesar $1,38 \times 10^{-6} \text{ kg}/\text{mm}^3$.

$$Q = \text{Drag flow } (Q_D) - \text{Pressure Flow } (Q_P)$$

$$Q = 466578,2 \text{ mm}^3/\text{min} - 2,239 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$Q = 466576,0 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$Q_{(\text{Kapasitas})} = Q \times \text{berat jenis plastik}$$

$$Q_{(\text{Kapasitas})} = 466576 \text{ mm}^3/\text{min} \times 1,38 \times 10^{-6} \text{ kg}/\text{mm}^3$$

$$Q_{(\text{Kapasitas})} = 0,664 \text{ kg}/\text{min}$$

Torsi pada Screw Extruder

Nilai Torsi pada *screw extruder* akan digunakan untuk untuk *input external loads* pada analisis *static* dengan menggunakan *finite element method*. Untuk mengetahui stress yang terjadi pada screw.

Untuk mengetahui torsi yang bekerja kita perlu menentukan spesifikasi motor listrik yang digunakan. Motor listrik yang akan digunakan diasumsikan memiliki spesifikasi 250 watt dengan 2700 Rpm agar bisa mentransmisikan putaran sebesar 50 Rpm maka perlu ada sistem penggerak dengan menggunakan *reducer*, *pulley* dan *belt*.

Perhitungan rasio *reducer* digunakan untuk mereduksi ukuran Rpm agar ukuran Rpm lebih lamban terlebih dahulu sebelum di transmisikan melalui mekanisme *pulley belt*. Rpm yang diinginkan yaitu sebesar 100 rpm.

$$\text{Reducer ratio} = \frac{N_{\text{Motor listrik}}}{N_{\text{pulley driven}}}$$

$$\text{Reducer ratio} = \frac{2700}{100}$$

$$\text{Reducer ratio} = 1:27$$

Setelah mengetahui besaran putaran yang diinginkan pada *pulley driven* (N_1) yaitu sebesar 100 rpm, maka bisa ditentukan diameter *pulley driven* (D_2) agar mentransmisikan putaran sebesar 50 rpm pada *screw extruder*. Maka Jika N_1 merupakan putaran setelah melalui *reducer* (100 rpm) dengan diameter *pulley driven* (D_1) 100 mm. Jika rpm yang diinginkan untuk menggerakkan *pulley driver* (D_2) pada *extruder screw* yaitu:

$$\frac{N_{\text{pulley driven}}}{N_{\text{pulley driver}}} = \frac{D_{\text{pulley driven}}}{D_{\text{pulley driver}}}$$

$$\frac{100 \text{ Rpm}}{50 \text{ Rpm}} = \frac{100 \text{ mm}}{D_2}$$

$$D2 = \frac{100 \text{ mm} \times 50 \text{ Rpm}}{100 \text{ Rpm}}$$

$$D2 = 50 \text{ mm}$$

Maka untuk mendapatkan nilai putaran sebesar 50 rpm maka diperlukan *pulley driven* dan *pulley driver* dengan masing masing berdiameter 50 mm dan 100 mm.

Setelah mendapatkan rpm yang ditransmisikan melalui *belt dan pulley* terhadap *screw extruder*. Torsi (T) yang bekerja terhadap *screw* bisa didefinisikan sebagai berikut.

$$T = \frac{P \times 60}{2 \pi N}$$

$$T = \frac{250 \text{ watt} \times 60}{2 \pi 50 \text{ Rpm}}$$

$$T = 47,77 \text{ N.m}$$

Torsioal Shear Stress

Extruder screw yang diberikan torsi akan mengalami *torsional shear stress*. Untuk mendapatkan nilai besaran *torsional shear stress* yang terjadi pada *screw extruder* maka perlu mengetahui terlebih dahulu momen inersia pada *screw extruder*. Pada perhitungan ini nilai *polar momen of inertia* (J) didapatkan dengan adanya hubungan pada diameter dalam atau *core* (D) dari *extruder screw* sebesar 24 mm (dapat dilihat pada Gambar 2), dikarenakan diameter dalam berbentuk *solid*.

$$J = \frac{\pi}{32} D_{core}^4$$

$$J = \frac{3,14}{32} (24)^4$$

$$J = 32555,5200 \text{ mm}^4$$

Maka didapatkan momen inersia sebesar 32555,52 mm. Lalu besaran momen inersia dan besaran torsi yang telah dihitung sebelumnya diinput pada persamaan untuk mencari *torsional shear stress*. Dimana nilai *jari-jari* (r_{core}), diperoleh dari setengah nilai dari diameter *core* (D_{core}).

$$\tau = \frac{T \times r_{core}}{J}$$

$$\tau = \frac{47770,7 \text{ N.mm} \times 12 \text{ mm}}{32555,52 \text{ mm}}$$

$$\tau = 17,6083 \text{ N/mm}^2$$

Didapatkan besaran *torsional shear stress* yang terjadi pada *screw extruder* adalah sebesar 17,6083 N/mm².

Bending Momen

Bending moment yang terjadi pada *screw* adalah pada saat ketika proses ekstrusi *screw extruder* mendapatkan beban dari plastik. Maka dari itu perlu mengetahui beban yang bekerja pada *screw extruder*. Beban pada *screw extruder* didapat dari $Q_{kapasitas}$ sebesar 0,644 kg dengan dikalikan dengan percepatan gravitasi 9,8 m/s² maka didapatkan gaya pada *screw extruder* sebesar 6,3112 N.



Gambar 3 Diagram Benda Bebas pada Screw

Pada gambar Diagram benda bebas *screw extruder* beban yang diterapkan adalah gaya beban sebesar 6,3 N yang didapatkan dari $Q_{kapasitas}$ untuk mendapatkan *bending moment* yang terjadi pada *screw* dengan panjang *screw* sebesar 500 mm.

$$\sum F_y = 0$$

$$V - Ra = 0$$

$$6,3 \text{ N} - Ra = 0$$

$$Ra = 6,3 \text{ N}$$

$$V = -6,3 \text{ N}$$

$$\sum M = Ra(x) - V(L)$$

$$\sum M = 6,3112 \text{ N} \times (0) - 6,3112 \text{ N} \times (500 \text{ mm})$$

$$\sum M = -3155,5 \text{ N.mm}$$

Maka dengan beban sebesar 6,3 N dan panjang *screw extruder* sebesar 500 mm maka didapatkan dari perhitungan hasil momen lentur sebesar -3155,6 N.mm. Setelah mendapatkan nilai momen lentur yang terjadi pada *screw extruder* selanjutnya menghitung *bending moment* yang terjadi pada *screw extruder*. Dengan spesifikasi *screw extruder* yang digunakan sebesar diameter 24 mm.

$$\sigma = \frac{32M}{\pi D_{core}^3}$$

$$\sigma = \frac{32 \times 3155,6 \text{ N.mm}}{3,14 \times 24^3}$$

$$\sigma = 2,3263 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan dengan momen lentur sebesar 3155,6 N.mm dan diameter *core screw extruder* sebesar 24 mm maka didapatkan hasil *bending moment* sebesar 2,3263 N/mm².

Von-Misses Stress

Nilai *von-misses stress* pada *screw extruder* mendapatkan *combine load* antara bending momen

dan *torsional shear stress* maka untuk mendapatkan hasil tegangan maksimum. Dengan diketahuinya beban yang ada dan hasil dari *bending moment* dan *torsional shear stress* dengan masing-masing nilai sebesar 3,096 N/mm² dan 17,6083 N/mm². Maka untuk mencari *von-misses stress* perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan dibawah:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3(\tau^2)}$$

$$\sigma_{max} = \sqrt{(2,3263 \text{ N/mm}^2)^2 + 3(17,6083 \text{ N/mm}^2)^2}$$

$$\sigma_{max} = 52,8762 \text{ N/mm}^2$$

Maka nilai untuk *von-misses stress* pada panjang *screw extruder* 500 mm adalah sebesar 52,876 N/mm². Selanjutnya dapat diulangi untuk perhitungan panjang *screw extruder* 600 mm dan 700 mm. Adapun untuk variasi diameter luar *screw* tidak berpengaruh dikarenakan *torsional shear stress* pada diameter *core*.

Deflection

Untuk mencari *deflection* yang terjadi pada *screw extruder*, menggunakan nilai dari *modulus of elasticity* (E), sebagai contoh perhitungan menggunakan material *Stainless Steel 410* memiliki nilai modulus of elasticity (E) sebesar 200 GPa. Sebelum itu perlu menghitung *section moment of inertia* (I) yaitu:

$$I = \frac{\pi x r^4}{4}$$

$$I = \frac{3,14 x 24^4}{4}$$

$$I = 16277,76 \text{ mm}^4$$

Maka, hasil *section moment of inertia* (I) diinputkan pada rumus defleksi berikut:

$$\delta = \frac{P x L^3}{3EI}$$

$$\delta = \frac{6,3112 \text{ N} x 500 \text{ mm}^3}{3 x 200000 \text{ MPa} x 16277,76 \text{ mm}^4}$$

$$\delta = 0,08076 \text{ mm}$$

Maka nilai defleksi dari material, Panjang 500 mm serta material *Stainless Steel 410* dengan panjang 500 mm sebesar 0,08077 mm. Selanjutnya dapat diulangi untuk perhitungan panjang *screw extruder* 600 mm dan 700 mm.

Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Perhitungan dilakukan secara lengkap sesuai dengan Design of Experiment (Tabel 2) yang dilakukan, yaitu dengan variasi material yang memiliki modulus of elasticity (E) dan variasi

panjang *screw extruder*. Untuk hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Material	Von Misses Stress (MPa)	Deflection (mm)
<i>Stainless Steel 410</i> (Panjang 500 mm)	52,8762	0,08076
<i>Stainless Steel 410</i> (Panjang 600 mm)	52,8987	0,13955
<i>Stainless Steel 410</i> (Panjang 700 mm)	52,9253	0,22160
<i>Stainless Steel 422</i> (Panjang 500 mm)	52,8762	0,08501
<i>Stainless Steel 422</i> (Panjang 600 mm)	52,8987	0,14689
<i>Stainless Steel 422</i> (Panjang 700 mm)	52,9253	0,23327
AISI 4140 (Panjang 500 mm)	52,8762	0,07691
AISI 4140 (Panjang 600 mm)	52,8987	0,13291
AISI 4140 (Panjang 700 mm)	52,9253	0,21105
AISI 4340 (Panjang 500 mm)	52,8762	0,07879
AISI 4340 (Panjang 600 mm)	52,8987	0,13615
AISI 4340 (Panjang 700 mm)	52,9253	0,21619

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang yang dilakukan maka diperoleh:

1. Nilai *Von-Misses Stress* tertinggi diperoleh pada material seluruh material dengan variasi panjang 700 mm. Semakin tinggi dimensi panjang dan diameter, memberikan nilai *von-misses stress* yang tinggi pula. Hal ini memberikan pengaruh terhadap performa mesin *extruder* yaitu semakin tinggi nilai *von-misses stress* maka semakin rentan terhadap faktor kegagalan yang dialami oleh *screw extruder* seperti patah dan deformasi plastik.
2. Nilai *Deflection* tertinggi diperoleh pada material *Stainless Steel 422* dengan variasi panjang 700 mm. Semakin tinggi Dimensi panjang suatu material, dapat memberikan nilai defleksi yang tinggi pula. Hal ini memberikan pengaruh terhadap performa mesin *extruder* yaitu semakin tinggi nilai defleksi maka semakin besar perubahan *screw extruder* yang dihasilkan karena deformasi plastik akibat dari beban berlebih. Jika semakin besar defleksi

yang terjadi, semakin sulit *screw extruder* berputar terhadap *barrel extruder*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Ritchie, V. Samborska and M. Roser, "Our World In Data," 2023. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#research-writing>. [Accessed 16 Desember 2023].
- [2] H. Ritchie, "Our world In Data," 5 October 202. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/how-much-plastic-waste-ends-up-in-the-ocean>. [Accessed 16 Desember 2023].
- [3] Scells, H., Zhuang, S. and Zuccon, G., 2022, July. Reduce, reuse, recycle: Green information retrieval research. In Proceedings of the 45th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (pp. 2825-2837).
- [4] Safitri, H.F.D. and Sari, Y.P., 2021, May. Studi Komparasi Metode 3R (Reduce, Reuse, Recycle) Pada Pengolahan Sampah Di Indonesia. In Prosiding University Research Colloquium (pp. 552-558).
- [5] Ediana, D. and Fatma, F., 2018. Analisis Pengolahan Sampah Reduce, Reuse, Dan Recycle (3R) Pada Masyarakat Di Kota Payakumbuh. *Jurnal Endurance*, 3(2), pp.238-246.
- [6] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan," *Indonesian Journal Of Urban And Environmental Technology*, vol. 8 No. 2, pp. 141-147, 2016.
- [7] Saputra, T.H., Hutama, A.S., Ningsih, A. and Pamasaria, H.A., 2023, May. Parameter optimization of FDM type 3D printing against dimensional accuracy with recycled filament plastic LDPE (low density polyethylene). In AIP Conference Proceedings (Vol. 2674, No. 1). AIP Publishing.
- [8] H. S. I. Atsani and H. Mastriswadi, "Recycled Polypropylene Filament for 3D Printer: Extrusion Process Parameter Optimization," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 722, 2020.
- [9] H. S. Budiono, F. Hilmy and I. Taufik, "The Effect of Printing Speed Variations on Dimensional Stability of 3D Printing," *Jurnal E-Komtek*, Vols. 7, No.2, pp. 187-194, 2023.
- [10] Atsani, S.I., 2019. Desain Dan Pengujian Extruder Untuk Pembuatan Filamen 3d Printer Berbahan Recycled Polypropilene (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [11] Nugroho, F.E., 2021. Analisa Pengaruh Kemiringan Sudut Screw Extruder Terhadap Keakuratan Diameter Filament 3D Printer Berbahan Recycled Abs, Recycle Hdpe, Dan Polypropylene (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- [12] E. Febriyanti, A. Febrianto and Sutarjo, "Analisis Kegagalan Screw Penyebab Kerusakan Decanter Shaft Pada Unit Pengolahan Minyak," *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, vol. 11 No. 3, pp. 185-192, 2018.

ANALISIS PENGARUH VARIASI AMPERE PENGELASAN FCAW ANTARA BAJA GRADE EH36 DENGAN GRADE A TERHADAP SIFAT MEKANIK

Risiki Widodo¹, Purwanto², Siswadi³

^{1,2,3} Teknik Transportasi Laut, Universitas Maritim AMNI

Jl. Soekarno Hatta No.180, Palembang, Kec. Pedurungan, Kota Semarang, Jawa Tengah 50246

risikiwidodoo@gmail.com¹

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dampak dari variasi *ampere* pada hasil pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) material *Grade* EH36 tebal 24 mm dengan material *Grade* A tebal 16 mm posisi *flat* (1G) pada *main deck* kapal. Dalam penelitian ini akan dianalisis pengaruh variasi *ampere* terhadap uji radiografi, struktur makro dan sifat mekanis. Variasi *ampere* yang digunakan 160 A, 200 A dan 250 A. Pada hasil pengujian radiografi tidak ditemukan cacat pengelasan pada *weld metal*. Hasil analisis variasi *ampere* yang digunakan pada pengelasan FCAW material *Grade* EH36 dengan material *Grade* A dengan *shielding gas* CO₂ 100% mengakibatkan kenaikan nilai *heat input* pada spesimen pengelasan, variasi 160 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,57 Kj/mm, variasi 200 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,60 Kj/mm dan variasi 250 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,67 Kj/mm. Pada hasil pengamatan struktur makro tidak ditemukan cacat pengelasan. Hasil interpretasi pengujian radiografi pada hasil pengelasan FCAW pada spesimen C1 sampai C3 dengan *shielding gas* CO₂ 100% tidak ditemukan diskontinuitas di area pengelasan (*weld metal*). Semua spesimen dinyatakan memenuhi standar berketerimaan ASME *section IX* paragraf QW 191.1.2. Hasil pengujian tarik (*tensile strength*) pada hasil pengelasan FCAW menghasilkan rata-rata nilai kekuatan tarik pada variasi arus 160 A sebesar 445,71 MPa, variasi arus 200 A sebesar 453,56 dan variasi arus 250 A sebesar 445,71 MPa sehingga kekuatan tarik melebihi nilai kekuatan tarik logam induk terlemah *Grade* A sesuai ASME *Section IX*.

Kata kunci : FCAW, *Grade* EH36, *Grade* A, kuat tarik, radiografi, struktur makro

Abstract

The purpose of this research is to determine the impact of amperage variation on the results of FCAW (*Flux Core Arc Welding*) of *Grade* EH36 material with a thickness of 24 mm and *Grade* A material with a thickness of 16 mm in the *flat* position (1G) on the *main deck* of the ship. This study will analyze the effect of amperage variation on radiographic tests, macro structure, and mechanical properties. The amperage variations used are 160 A, 200 A, and 250 A. The radiographic test results showed no welding defects in the *weld metal*. The analysis of the amperage variations used in FCAW welding of *Grade* EH36 material with *Grade* A material using 100% CO₂ *shielding gas* resulted in an increase in *heat input* values in the welding specimens, with the 160 A variation producing an average *heat input* value of 1.57 Kj/mm, the 200 A variation producing an average *heat input* value of 1.60 Kj/mm, and the 250 A variation producing an average *heat input* value of 1.67 Kj/mm. Observations of the macro structure revealed no welding defects. The interpretation of the radiographic tests on the FCAW welds of specimens C1 to C3 with 100% CO₂ *shielding gas* showed no discontinuities in the *weld area* (*weld metal*). All specimens were declared to meet the acceptance standards of ASME *section IX* paragraph QW 191.1.2. The results of the *tensile strength* test on FCAW welding produced an average *tensile strength* value at a current variation of 160 A of 445.71 MPa, at a current variation of 200 A of 453.56 MPa, and at a current variation of 250 A of 445.71 MPa, thus the *tensile strength* exceeds the *tensile strength* value of the weakest base metal *Grade* A according to ASME *Section IX*.

Keywords : FCAW, *Grade* EH36, *Grade* A, *tensile strength*, radiography, macro structure.

PENDAHULUAN

Industri maritim dan perkapalan merupakan salah satu sektor utama dalam perekonomian global yang memiliki peran penting dalam perdagangan internasional, Galangan kapal merupakan suatu tempat yang khusus dibuat untuk mendukung proses pembangunan, perbaikan dan perawatan kapal serta juga dapat digunakan untuk membangun wahana maritim lainnya yang sesuai dengan fasilitas yang tersedia. Pengelasan adalah tahap inti dari rangkaian proses fabrikasi. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam Paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan merupakan proses menggabungkan dua potongan baja bersama-sama dengan memanaskannya ke titik dimana material pengisi (*filler*) melebur dengan logam dasar dan menjadi satu bagian yang tersambung [1].

Pengelasan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, yaitu SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), FCAW (*Flux Core Arc Welding*) dan metode -metode lainnya. Proses pengelasan FCAW memiliki beberapa keuntungan yaitu Tingkat deposisi yang tinggi, lebih sederhana dari SAW, tidak membutuhkan skill operator yang tinggi seperti GMAW, produktifitas lebih tinggi dari SMAW, wujud permukaan yang bagus [2].

Pada proses pengelasan *Flux Core Arc Welding* (FCAW) biasanya perusahaan menggunakan gas pelindung CO₂. Hal tersebut dikarenakan gas pelindung CO₂ mempunyai peran sebagai pelindung pada weld metal sehingga tidak terkontaminasi oleh zat pengotor di atmosfer sekitar. Cacat pengelasan yang sering terjadi berupa retak, porositas *incomplete fusion* dan *slag inclusion*. Material pelat baja ABS umumnya digunakan dalam industri kelautan untuk pembuatan bagian struktural kapal, tongkang, dan peralatan kelautan. Plat baja ABS Grade EH36 dan plat baja Grade A adalah jenis plat kapal yang digunakan dalam pembangunan *Barge Mounted Power Plant* (BMPP) 60MW.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dampak dari variasi arus 160 A, 200 A dan 200 A dengan *shielding gas* CO₂. Hasil pengelasan dari kedua material kan dilakukan analisis *heat input*, uji struktur makro, uji tarik dan uji radiografi. Penulis menggunakan hasil pengelasan antara material *Grade* EH36 dengan ketebalan 24 mm material *Grade* A dengan ketebalan 16 mm pada *Insert Plate main deck* kapal dengan tujuan untuk menahan pembebanan struktur di atasnya.

METODE PENELITIAN

1. Flux Cored Arc Welding

Metode FCAW merupakan teknik pengelasan yang modern dalam industri manufaktur dengan hasil las yang berkualitas, dan minim cacat las serta dapat digunakan dalam semua posisi pengelasan.

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan jenis pengelasan yang menggunakan proses otomatis maupun semi-otomatis yang memanfaatkan elektroda gulung (*wire roll*) untuk mencairkan logam. Kawat las atau elektroda yang digunakan untuk pengelasan FCAW mempunyai bentuk tubular yang dipasok ke dalam daerah pengelasan secara kontinu dan terdapat material *flux* di dalam elektroda yang berbentuk tubular tersebut [3].



Gambar 1 Mesin FCAW dan Wire Feeder

Mesin las FCAW menggunakan gas pelindung selama proses pengelasan, gas pelindung yang digunakan adalah CO₂ 100% dengan *flow rate* 10 L/min.

Baja Karbon

Baja karbon adalah baja yang menggunakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C). Selain karbon, sering juga ditambahkan unsur chrom (Cr), nikel (Ni), vanadium (V), molybdaen (Mo) untuk mendapatkan sifat lain sesuai aplikasi dilapangan [6]. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbonnya, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tetapi perpanjangannya menurun [4].

Pada penelitian ini digunakan material *Grade* EH36 dan material *Grade* A, keduanya merupakan baja karbon rendah. Komposisi kimia dan sifat mekanik material *Grade* EH36 pada tabel 1 dan tabel 2 sedangkan komposisi kimia dan sifat mekanik pada material *Grade* A pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 1. Chemical Composition Baja Grade EH36

Chemical Composition BKI Grade EH36	
Chemical Composition	(%)
C_{max}	0,18
Mn	0,90-1,60
SI_{max}	0,50
P_{max}	0,035
S_{max}	0,035
AI (acid soluble) $_{max}$	0,015
Nb	0,02-0,05
V	0,05-0,10
TI_{max}	0,02
C_{max}	0,35
Cr_{max}	0,20
Ni_{max}	0,40
Mo_{max}	0,08

Tabel 2. Mechanical Properties Baja Grade EH36

Mechanical Properties BKI Grade EH36	
Mechanical Properties	(N/mm ²)
Yield Strenght	355
Tensile Strenght	490-630

Tabel 3. Chemical Composition Baja Grade A

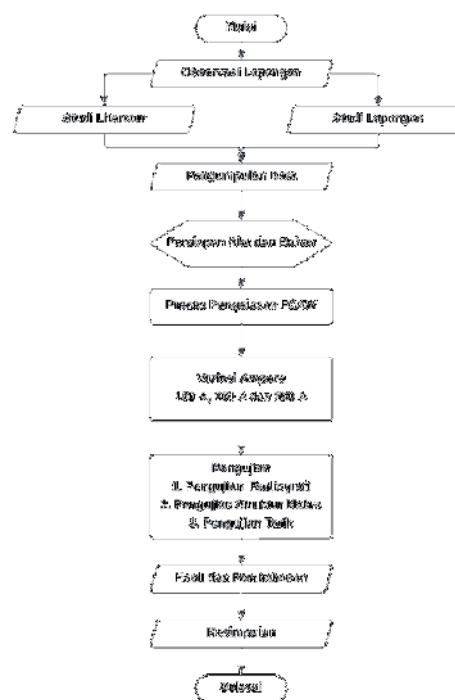
Chemical Composition BKI Grade A	
Chemical Composition	(%)
C_{max}	0,21
SI_{max}	0,50
Mn_{max}	2,5 x C
P_{max}	0,035
S_{max}	0,035

Tabel 4. Mechanical Properties Baja Grade A

Mechanical Properties BKI Grade A	
Mechanical Properties	(N/mm ²)
Yield Strenght	235
Tensile Strenght	400-520

Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan observasi lapangan untuk mengetahui informasi dari objek yang akan diteliti. Tahap berikutnya melakukan studi literatur dan studi lapangan dilanjutkan mengumpulkan data-data yang berhubungan dan bisa dijadikan pendukung dalam penelitian. Eksperimen pengelasan diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan kemudian dilanjutkan proses pengelasan FCAW. Spesimen hasil pengelasan selanjutnya dilakukan uji radiografi, struktur dilanjutkan dengan melakukan analisis hasil. Alur penelitian dapat dilihat pada *flow chart* sebagai berikut:

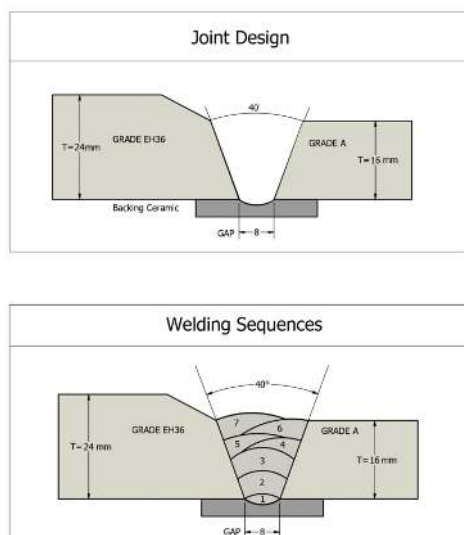
**Gambar 1. Flowchart Penelitian**

Persiapan Alat dan Bahan

Material yang telah dipotong dengan gas potong *oxy-acetylene* berupa material *Grade EH36* dengan dimensi 400 mm x 145 mm x 24 mm sejumlah 18 buah *double bevel*, material *Grade A* dengan dimensi 400 mm x 145 mm x 16 mm sejumlah 18 buah *bevel 20°*, *strongback* dengan dimensi 200 mm x 100 mm x 12 mm sejumlah 36 buah dan *extension bar* dengan dimensi 50 mm x 50 mm x 16 mm sejumlah 108 buah dengan *bevel 20°*. Persiapan alat-alat kerja penunjang pengelasan untuk mendukung proses pengelasan, antara lain:

1. Mesin FCAW OTC Dyna Auto XD-500SII
2. *Wire Roll ESAB Dual Shield (AWS A5-20 E71T-1C/9C-J)*
3. *Electric Preheat*
4. Gerinda tangan
5. *Pneumatic chipping hammer*
6. Tang potong
7. Sikat baja
8. *Welding gauge*
9. *Sketchmath*
10. *Tapper*
11. *IR thermometer*
12. APD (alat pelindung diri)

Parameter Pengelasan



Gambar 2. Weld Preparation Details (Sketch)

Spesifikasi Material	: Baja Grade EH36 dan Baja Grade A
Type of Steel	: Carbon Steel
Dimensi	: 400 mm X 145 mm X 24 mm – Grade EH36
	: 400 mm X 145 mm X 16 mm – Grade A
Proses Pengelasan	: FCAW (Flux Cored Arc Welding)
Tipe Sambungan	: Butt Joint Single V-Groove
Filler Metal	: A5.20 – E71T-1C/9C-J
Shielding Gas	: CO ₂ 100%
Posisi Pengelasan	: 1-G
Arus Pengelasan	: DC RP
Backing	: Ceramic
Preheat Temperature	: 60°C
Interpass Temperature	: 205°C
Bevel	: 20°
Gap	: 8 mm
Interpass Cleaning	: Chipping and Grinding
Welder	: Juni Cahyadi
Sertifikat Welder	: 007/LR/QA-PAL/DKN/V/2021

Proses Pengelasan

Langkah kerja pada proses pengelasan metode FCAW menggunakan *Shielding gas* CO₂ 100% dengan *flow rate* 10 L/min dan *ampere* (160 A, 200 A dan 250 A) sebagai berikut:

1. Melakukan pemasangan *backing ceramic*;

2. Melakukan pemanasan pada material *Grade EH36* dengan *electric preheat* sampai suhu mencapai 60°C;
3. Melakukan *rootpass* sesuai parameter pengelasan;
4. Melakukan pembersihan terak dengan *pneumatic chipping hammer* dan *grinding* selanjutnya lakukan pengamatan visual pada *layer* serta cacat jika ditemukan cacat pengelasan;
5. Melakukan penggerindaan sepanjang jalur las untuk pengisian *layer* selanjutnya;
6. Lakukan Langkah 3 sampai 5 pada *layer* kedua sampai dengan *layer* ketujuh;
7. Setelah selesai pengelasan *layer* terakhir (*capping*) lakukan pembersihan dengan sikat baja dan amati kembali serta cacat jika ditemukan cacat pengelasan.



Gambar 3. Proses Fitting Spesimen, Kontrol Suhu Pengelasan dan Hasil Lasan

Pembentukan Spesimen Uji

Spesimen yang akan dilakukan pengujian struktur makro dan kuat tarik selanjutnya dilakukan marking dan dipotong menggunakan *metal cutting bandsaw* untuk menghindari efek panas. Setelah spesimen dipotong sesuai desain dilanjutkan proses *machining* dengan mesin sekrap (*shaping machining*) dan mesin frais (*milling*) untuk membentuk *coupon test* sesuai dengan gambar dan dimensi.



Gambar 4. Marking Spesimen, Proses milling dan Proses Shaping

Masukan Panas

Heat input adalah perpindahan energi panas per unit satuan panjang pada proses pengelasan. Energi panas diakibatkan oleh parameter pengelasan yaitu arus, tegangan, sentuhan elektroda dengan logam induk dan kecepatan pengelasan. *Heat input* merupakan faktor penting dalam pengelasan karena dapat mempengaruhi laju pendinginan. Laju pendinginan akan berperan pada pembentukan struktur metalurgi daerah HAZ dan *weld metal* serta sifat mekanis dari sambungan [5]. Masukan panas disebabkan beberapa faktor seperti tegangan, kecepatan dan arus selama proses pengelasan, dengan rumus sebagai berikut:

$$HI = \frac{\text{Volts} \times \text{Amp}}{\text{Travel speed} \times 1000} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

HI = Masukan panas (J/mm atau J/in)

V = Tegangan busur las (Volt)

I = Arus Las (Ampere)

Travel speed = Kecepatan pengelasan (mm/s atau in/s).

Uji Radiografi (Radiography)

Pengujian radiografi adalah pengujian dengan bantuan sinar X atau gamma untuk mengetahui diskontinuitas dari sebuah material yang ditunjukkan dalam bentuk film. Pengujian ini untuk mengetahui indikasi cacat pada sambungan pengelasan FCAW dengan menggunakan gas pelindung CO₂ 100% antara material *Grade* EH36 dengan material *Grade* A pada variasi 160 A, 200 A dan 250 A. Proses pengujian dengan metode radiografi dapat dilakukan setelah sertifikat radiografi dari lokasi pengujian diterbitkan. *Radiation source* yang digunakan yaitu Ir-192 dan *film* yang digunakan dari AGFA dengan tipe D7 (4 X 15 in). Teknik penyinaran (*Single Wall Exposure Single Viewing*) SWSW dengan durasi 90 detik dan menggunakan 1 buah IQI (*Image Quality Indicator*). Selanjutnya pemrosesan *film* dilakukan di laboratorium dan dilanjutkan interpretasi dan evaluasi film sesuai hasil yang ada.



Gambar 5. Gamma Ray dan Film Casette

Uji Struktur Makro (Metallography)

Pengujian *metallography* (*makro test*) bertujuan untuk mengetahui bentuk visual sambungan las, logam induk dan HAZ baik menggunakan bantuan kamera atau tidak. *Test piece* yang telah di *machining* sesuai desain terlebih dahulu di haluskan dengan kertas gosok (*grid* 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 dan 1200). Selanjutnya dilakukan proses *etching* untuk mengkorosikan permukaan *test piece* dengan larutan etsa nital (HNO₃ dan alkohol 98%). Selanjutnya permukaan *test piece* dapat diobservasi untuk mengamati struktur makro pada hasil lasan.

Uji Kuat Tarik (Tensile)

Pengujian Tarik merupakan pengujian mekanik yang paling dasar yang bersifat merusak yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan mekanik dari suatu material dengan cara menarik suatu benda uji, dengan menarik benda uji tersebut akan dapat diketahui bagaimana kemampuan suatu material mampu menahan suatu beban yang diberikan. Pengujian ini untuk mengetahui kekuatan kuat tarik pada sambungan pengelasan FCAW dengan menggunakan gas pelindung CO₂ 100% antara material *Grade* EH36 dengan material *Grade* A pada variasi 160 A, 200 A dan 250 A. Sebelum dilakukan proses pengujian kuat tarik pada mesin *Universal Test Machine* (UTM), *test piece* yang berjumlah 6 buah dilakukan pengukuran dimensi untuk masing-masing *test piece* berserta panjang awal dan hasil pengukuran dicatat pada lembar kerja. Selanjutnya *test piece* dijepit pada mesin UTM dan diberikan pembebanan sampai putus. Selanjutnya *test piece* yang telah putus dilepas dari penjepit mesin UTM dan dilakukan pengukuran panjang dari *test piece* tersebut. Pengujian dilakukan sesuai standar [6].



Gambar 6. Mesin UTM

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Masukan Panas

Spesimen yang telah selesai dilakukan pengelasan sesuai parameter akan didapatkan nilai *travel speed* dan *heat input*. Penggunaan kodifikasi dipilih untuk memudahkan dalam identifikasi. Spesimen dengan variasi 160 A diberi kode C1, untuk spesimen dengan variasi 200 A diberi kode C2 dan untuk spesimen dengan variasi 250 A diberi kode C3. Tabel nilai masukan panas untuk masing-masing spesimen sebagai berikut:

Tabel 5. Welding Detail Spesimen C1

Layer (s)	Ampere (A)	Voltage Range (V)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
Root	160	23	115,38	1,91
Filler 1	160	23	126,58	1,74
Filler 2	160	23	142,86	1,54
Filler 3	160	23	148,51	1,48
Filler 4	160	23	177,51	1,24
Capping 1	160	23	136,36	1,65
Capping 2	160	24	156,25	1,41
Rata-rata				1,57

Tabel 6. Welding Detail Spesimen C2

Layer (s)	Ampere (A)	Voltage Range (V)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
Root	200	25	122,95	2,44
Filler 1	200	25	162,16	1,85
Filler 2	200	25	144,23	2,08
Filler 3	200	25	217,39	1,38
Filler 4	200	25	267,86	1,12
Capping 1	200	25	232,56	1,29
Capping 2	200	25	291,26	1,03
Rata-rata				1,60

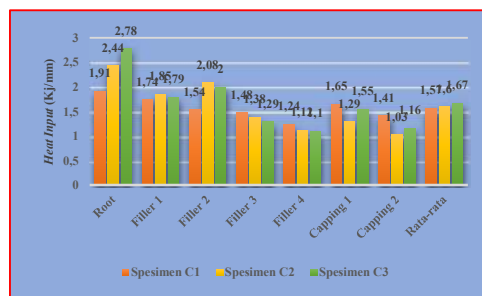
Tabel 7. Welding Detail Spesimen C3

Layer (s)	Ampere (A)	Voltage Range (V)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
Root	250	28	150,75	2,78
Filler 1	250	30	252,1	1,79
Filler 2	250	29	217,39	2,00
Filler 3	250	29	337,08	1,29
Filler 4	250	29	394,74	1,10
Capping 1	250	29	280,37	1,55
Capping 2	250	29	375	1,16
Rata-rata				1,67

Heat input dalam pengelasan FCAW menggunakan batasan maksimal dan minimal berdasarkan TWI CSWIP 3.1 – *Welding Inspector WIS5 Section 10 Introduction to Welding Processes 10.2 Heat Input* [7]. Prinsip-prinsip umum untuk pengelasan manual dan semi-otomastis, sebagai berikut:

1. Pengelasan vertikal ke atas cenderung memberikan masukan panas tertinggi dikarenakan ada kebutuhan gerakan mengayun untuk mendapatkan profil yang sesuai dan kecepatan las relatif lambat.
2. Pengelasan vertikal ke bawah cenderung memberikan masukan panas terendah karena dapat menggunakan kecepatan las yang cepat.
3. Pengelasan horizontal-vertikal adalah posisi pengelasan dengan masukan panas yang relatif rendah karena *welder* tidak bisa mengayun dalam posisi ini.
4. Pengelasan *overhead* cenderung memberikan masukan panas yang rendah karena kebutuhan untuk menggunakan arus yang rendah dan kecepatan las yang cepat.
5. Pengelasan pada posisi datar (*downhand*) dapat menghasilkan masukan panas yang rendah atau tinggi karena *welder* memiliki lebih banyak fleksibilitas terhadap kecepatan las yang digunakan.
6. Dari proses pengelasan busur, SAW memiliki potensi untuk memberikan masukan panas tertinggi dan laju deposisi tertinggi dan TIG, MIG/MAG menghasilkan masukan panas yang sangat rendah.
7. Nilai masukan panas yang umum untuk masukan panas pengelasan yang terkontrol antara 1,0 – 3,5 kJ/mm.

Sesuai prinsip-prinsip umum tersebut, masukan panas pada pengelasan FCAW dengan *shielding gas* CO₂ 100% dapat diterima karena masih dalam batasan nilai masukan panas yang terkontrol.

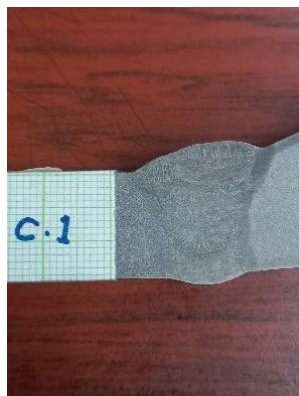


Grafik 1. Perbandingan Heat Input

2. Analisis Struktur Makro

Pengujian ini adalah salah satu dari pengujian *destructive test* (DT) yang bertujuan untuk

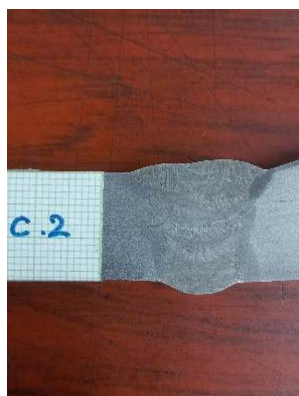
mengetahui fusi lasan dan cacat pengelasan pada daerah *weld metal*. Analisis pengamatan struktur makro menggunakan bantuan kamera ponsel untuk pengambilan sampel gambar. Hasil dari pengujian struktur makro dapat dilihat pada gambar 8, 9 dan 10.



Gambar 7. Hasil Foto dari Spesimen C1

Tabel 8. Hasil Uji Struktur Makro Spesimen C1

Keterangan	
Test Piece Identification	C1
Shielding Gas	CO ₂ 100 %
Flow Rate	10 L/min
Ampere	160 A
Fusion	OK
Weld Metal	OK
Defect Size	-
Result	ACCEPT



Gambar 8. Hasil Foto dari Spesimen C2

Tabel 9. Hasil Uji Struktur Makro Spesimen C2

Keterangan	
Test Piece Identification	C2
Shielding Gas	CO ₂ 100 %
Flow Rate	10 L/min
Ampere	200 A
Fusion	OK
Weld Metal	OK
Defect Size	-
Result	ACCEPT



Gambar 9. Hasil Foto dari Spesimen C3

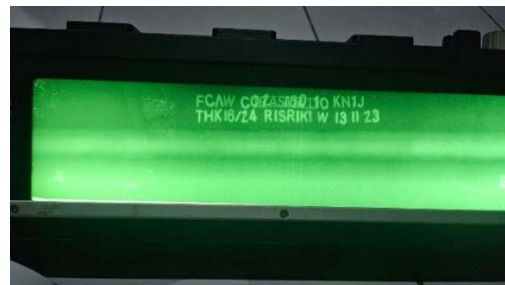
Tabel 10. Hasil Uji Struktur Makro Spesimen C3

Keterangan	
Test Piece Identification	C3
Shielding Gas	CO ₂ 100 %
Flow Rate	10 L/min
Ampere	250 A
Fusion	OK
Weld Metal	OK
Defect Size	-
Result	ACCEPT

Dari semua gambar dalam tabel dengan *shielding gas* CO₂ 100% dapat dilihat adanya perbedaan hasil lasan pada masing masing spesimen. Pada tabel 8 sampai tabel 10 dengan gas pelindung CO₂ 100% dapat dilihat semua sambungan mengalami fusi dengan baik dan tidak ditemukan adanya cacat pada *weld metal*.

3. Analisis Pengujian Radiografi

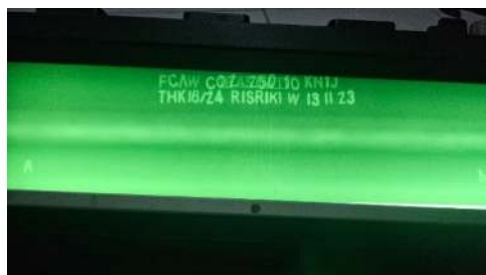
Pengujian radiografi digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas dibawah permukaan benda uji menggunakan radiasi sinar X atau sinar gamma. Pada pengujian radiografi dalam penelitian ini menggunakan Teknik *exposure* yaitu *single wall exposure single viewing* (SWSV). Hasil pengujian radiografi dapat dilihat pada gambar 11, 12 dan 13.



Gambar 10. Foto Hasil Radiografi Spesimen C1



Gambar 11. Foto Hasil Radiografi Spesimen C2



Gambar 12. Foto Hasil Radiografi Spesimen C3

Tabel 11. Hasil Pengujian Radiografi

Part or Weld identification	Thickness	Type of Indication	Remark
C1	16/24	–	ACC
C2	16/24	–	ACC
C3	16/24	–	ACC

Hasil interpretasi pengujian radiografi pada hasil pengelasan FCAW pada spesimen C1 sampai C3 dengan *shielding gas* CO₂ 100% tidak ditemukan diskontinuitas di area pengelasan (*weld metal*). Semua spesimen dinyatakan memenuhi standar berketerimaan ASME *section IX* paragraf QW 191.1.2.

4. Analisis Pengujian Kuat Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menguji kekuatan (*tensile strength*) suatu material secara lambat dengan diberikan beban gaya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan hasil pengelasan antara material baja *Grade* EH36 dengan material baja *Grade* A. Berikut ini kriteria keberterimaan pengujian tarik (*Acceptance Criteria*) yang dijelaskan dalam ASME *section IX*:

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan spesimen patah pada daerah logam dasar (*base metal*).
2. Kekuatan tarik minimum dari material baja yang berbeda kuat tariknya ditetapkan dari logam dasar yang terlemah.
3. Kekuatan tarik dari logam lasan, bila standar yang digunakan menentukan logam lasan dengan kekuatan tarik yang lebih rendah dari pada logam dasar (*base metal*).

4. Apabila spesimen uji putus pada logam dasar diluar zona lasan atau fusi maka kuat tarik tidak boleh lebih dari 5% dibawah nilai kekuatan tarik minimal logam dasar (*base metal*).

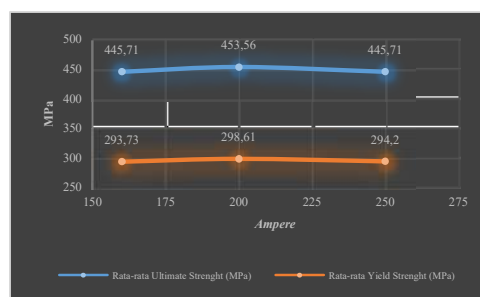
Tabel 12. Hasil Pengujian Tarik

Spesimen		Yield Strength (Kgf/mm ²)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Breaking
C1	TP1	30,0	46,0	Base Metal Grade A
	TP2	29,7	44,9	Base Metal Grade A
C2	TP1	30,9	46,3	Base Metal Grade A
	TP2	30,0	46,2	Base Metal Grade A
C3	TP1	30,2	45,4	Base Metal Grade A
	TP2	29,8	45,5	Base Metal Grade A

Tabel 13. Nilai rata-rata Kekuatan Luluh dan Kekuatan Tarik

Spesimen	Nilai rata-rata Uji Tarik	
	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)
C1	293,73	445,71
C2	298,61	453,56
C3	294,20	445,71

1 Kilogram-force per square millimeter (Kgf/mm²) = 9,8066 Megapascal (MPa)



Grafik 2. Kekuatan Luluh dan Tarik VS Ampere Spesimen C1, C2 dan C3

Berdasarkan nilai rata-rata pengujian tarik spesimen dengan *shielding gas* CO₂ 100% dapat diterima sesuai dengan standar ASME *section IX*, dimana nilai kekuatan tarik pada hasil pengelasan material *Grade* EH36 dengan *Grade* A melebihi nilai kekuatan tarik logam induk yang dipergunakan sebagai acuan yaitu nilai kekuatan tarik dari material *Grade* A. Hasil uji tarik hasil pengelasan material *Grade* EH36 dengan *Grade* A menghasilkan patahan pada *base metal Grade* A pada semua spesimen uji.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian terhadap variasi *ampere* pada pengelasan FCAW pada material *Grade* EH36 ketebalan 24 mm dengan material *Grade* A ketebalan 16 mm dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis *heat input* hasil pengelasan FCAW variasi arus 160 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,57 KJ/mm, variasi arus 200 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,60 KJ/mm dan variasi arus 250 A menghasilkan nilai rata-rata *heat input* 1,67 KJ/mm.
2. Hasil analisis pengujian struktur makro hasil pengelasan FCAW tidak ditemukan cacat dipermukaan (*surface*) dan cacat dibawah permukaan (*sub surface*) pada variasi arus 160 A, 200 A dan 250 A.
3. Hasil analisis pengujian radiografi hasil pengelasan FCAW tidak ditemukan cacat dibawah permukaan (*sub surface*) pada variasi arus 160 A, 200 A dan 250 A.
4. Hasil pengujian tarik pada hasil pengelasan FCAW menghasilkan rata-rata nilai kekuatan tarik (*tensile strenght*) pada variasi arus 160 A sebesar 445,71 MPa, variasi arus 200 A sebesar 453,56 MPa dan variasi arus 250 A sebesar 445,71 MPa sehingga kekuatan tarik melebihi nilai kekuatan tarik logam induk (*base metal*) terlemah *Grade* A sesuai ASME Section IX.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan kepada PT. PAL Indonesia dan pihak-pihak terkait yang telah membantu kelancaran proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. S. Sindhu and S. S. Chatha, "Role of shielded metal arc welding consumables on pipe weld joint," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 2, pp. 746-750, 2012.
- [2] T. Kannan and N. Murugan, "Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 176, no. 1-3, pp. 230-239, 2006.
- [3] H. R. Ghazvinloo and A. H. Raouf, "Effect of gas-shielded flux cored arc welding parameters on weld width and tensile properties of weld metal in a low carbon steel," *J. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 8, pp. 658-663, 2010.
- [4] Wiryosumarto, Harsono, and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 8th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [5] A. Sadek, R. N. Ibrahim. J. W. H. Price, T. Shehata, and M. Ushio, "Effect of welding parameters of FCAW process and shielding gas type on weld bead geometry and hardness distribution (materials, metallurgy & weldability)," *Trans. JWRI*, vol. 30, no. 2, pp. 45-52, 2001.
- [6] ASME Section IX, *Qualification Standard for Welders, Brazers, and Fusing Operators*, vol. 9. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York, 2015.
- [7] TWI CSWIP 3.1-Welding Inspector WIS5.

KAJI EKSPERIMEN PERBAIKAN CACAT RONGGA BENDA CORAN MATERIAL FC 250 MELALUI PROSES PENGELASAN BERBASIS ELEKTRODA NIKEL

Reza Yadi Hidayat¹, Antonius Adi Soetopo², Syifa Khairani², Dede Buchori Muslim³, M. Nahrowi⁴

¹ Rekayasa Perancangan Mekanik, Jurusan Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

² Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

³ Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

³ Teknologi Pengecoran Logam, Jurusan Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung

Jalan Kanayakan No. 21 Dago, Bandung Jawa Barat

ryadihidayat@gmail.com¹

Abstrak

Berdasarkan studi kasus dilapangan ditemukan produk hasil pengecoran yang mengalami cacat permukaan berupa rongga dan kemudian dilakukan perbaikan dengan metoda pengelasan berbasis elektroda nikel. Perbaikan ini dilakukan untuk menutup cacat rongga sehingga didapatkan bentuk benda coran yang sempurna. Material yang telah dilakukan proses pengelasan memiliki kekerasan yang berbeda dengan base materialnya sehingga menyulitkan dalam proses pemesinan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pengelasan terhadap kemampuan material besi tuang kelabu yang dilakukan pengelasan ditinjau dari aspek keausan *cutting tools* dan *chip formation*. Sampel yang digunakan berbahan besi tuang kelabu yang diberi kampuh las pada permukaannya. Pengelasan menggunakan elektroda nikel CIN-1 dengan metode pengelasan SMAW (*shielded metal arc welding*). Pemotongan dilakukan dengan proses milling konvensional menggunakan *dovetail cutter* HSS. Pengamatan dilakukan melalui pengujian kekerasan pada base material, PMZ (*partially melted zone*), dan *weld metal* yang dilanjutkan dengan pengujian struktur mikro, pengukuran keausan serta *chip* yang terbentuk. Berdasarkan hasil pengamatan material FC 250 yang dilakukan proses pengelasan pada *based material* terlihat struktur mikro yang terbentuk berupa perlit dengan grafit berupa *flake* (serpih) yang tipis dan panjang. Struktur mikro pada PMZ terbentuk martensit dan karbida, sedangkan struktur mikro pada *weld metal* terdiri dari matriks *austenit* dengan persebaran partikel grafit yang merata. Struktur mikro yang terbentuk mempengaruhi nilai kekerasan pada material. Dari pengamatan, kekerasan antara *weld metal* dan *based material* tidak jauh berbeda yaitu 219 HV dan 224 HV. Kekerasan pada PMZ sebesar 385 HV.

Kata kunci : cacat rongga, besi tuang kelabu, hardness, dovetail cutter, uji metalografi.

Abstract

Based on the case study in the field, it was found that the casting product had surface defects in the form of cavities and was then repaired using a nickel electrode-based welding method. This repair was carried out to close the cavity defects so that a perfect casting shape was obtained. The material that has been welded has a different hardness from the base material, making it difficult to machining. This study aims to analyze the effect of welding on the ability of gray cast iron material that has been welded in terms of cutting tool wear and chip formation. The sample used was made of gray cast iron with a weld bead on its surface. Welding used a CIN-1 nickel electrode with the SMAW (shielded metal arc welding) welding method. Cutting was carried out using a conventional milling process using an HSS dovetail cutter. Observations were made through hardness testing on the base material, PMZ (partially melted zone), and weld metal which was continued with microstructure testing, wear measurement and chips formed. Based on the results of observations of FC 250 material that was welded on the base material, the microstructure formed was pearlite with graphite in the form of thin and long flakes. The microstructure in PMZ is formed by martensite and carbide, while the microstructure in weld metal consists of an austenite matrix with even distribution of graphite particles. The microstructure formed affects the hardness value of the material. From the observation, the hardness between weld metal and base material is not much different, namely 219 HV and 224 HV. The hardness in PMZ is 385 HV.

Key words : cavity defects, gray cast iron, hardness, dovetail cutter, metallographic test.

PENDAHULUAN

Proses pemesinan merupakan salah satu tahapan yang ada didalam proses manufaktur yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan suatu mesin dilakukan dengan proses pemesinan [1]. Proses pemesinan merupakan proses lanjutan dalam pembentukan benda kerja atau mungkin juga merupakan proses akhir setelah pembentukan logam menjadi bahan baku berupa besi tempa atau baja paduan atau dibentuk melalui proses pengecoran yang dipersiapkan dengan bentuk yang mendekati kepada bentuk benda yang sebenarnya.

Penggunaan bahan logam terutama besi cor sudah digunakan dalam lingkup yang luas. Besi tuang kelabu merupakan jenis besi cor yang paling banyak digunakan. Adapun sifat-sifat yang menguntungkan pada besi tuang kelabu antara lain mudah dalam proses pengecoran, tahan aus atau gesekan, faktor redam yang tinggi dan kekuatan tekan (*compressive strength*) yang tinggi, selain keuntungan-keuntungan tersebut, besi tuang kelabu juga mempunyai beberapa kekurangan antara lain mempunyai sifat getas, keuletan rendah, dan kurang mampu menahan tegangan akibat siklus pengelasan [2].

Kekurangan-kekurangan yang ada pada besi tuang kelabu tersebut menyebabkan besi tuang kelabu mempunyai sifat mampu las yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor yang lain. Proses pengelasan besi cor dapat dilakukan dengan menggunakan las busur terlindungi, las gas, las suhu kamar, las busur karbon, las busur gas mulia dan las termit [3]. Proses pengelasan besi cor banyak mempergunakan pengelasan dengan metode las busur listrik dengan elektroda terlindungi (*shielded metal arc welding*). Kajian pengaruh pengelasan besi cor FC 30 dengan metode *preheat* dan *post weld heat treatment* menggunakan elektroda paduan nikel telah dilakukan oleh Darul dan Helmy [4]. Proses perbaikan cacat dengan las dapat menghasilkan retak akibat terbentuknya besi cor putih, martensit yang disertai retak rambut (*fissures*), dan tegangan sisa serta sifat inheren dari besi cor [5].

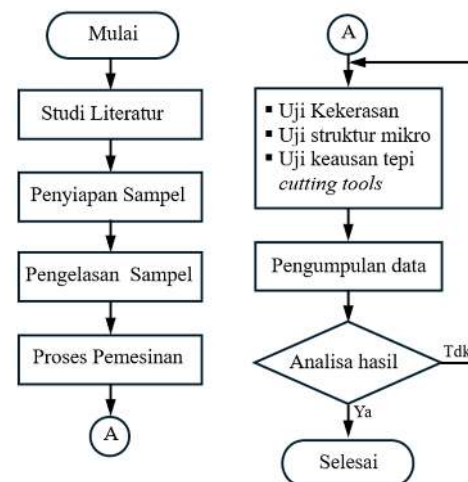
Produk yang terbuat dari logam mempunyai bentuk yang beraneka ragam. Karena bentuknya yang beraneka ragam tersebut maka proses pemesinan yang dilakukannya pun bermacam-macam sesuai dengan bidang yang dihasilkan yaitu silinder atau rata. Dalam proses pemesinan, benda kerja merupakan jenis material dengan sifat mekanis tertentu yang dipotong secara kontinu oleh pahat potong untuk menghasilkan bentuk sesuai keinginan,

oleh sebab itu perlu penyesuaian material pahat. Dalam proses pemesinan *cutting tools* memegang peranan penting.

Pemilihan material yang benar akan memperpanjang umur pahat dan menentukan hasil suatu proses. Proses pembentukan geram dengan cara pemesinan berlangsung dengan mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses ini maka jelas diperlukan material *cutting tools* yang lebih unggul daripada material benda kerja. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh pengelasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur material FC 250 dan perbedaan kekerasan yang terjadi terhadap *machinability* material ragum FC 250 ditinjau dari *cutting tools* dan *chip formation*.

METODE PENELITIAN

Langkah langkah penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut



Gambar 1 Metodologi penelitian

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu besi tuang kelabu FC 250 berjumlah lima set dengan tebal 10 mm. Komposisi kimia dan sifat mekanis dari bahan tersebut merujuk pada [6] dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Komposisi kimia besi tuang kelabu dalam persen

C	Si	Mn	P	S	Cr
3,15	1,52	0,50	0,01	0,06	0,05

Tabel 2 Sifat mekanis besi tuang kelabu FC 250

Sifat Mekanis	Nilai
Kekerasan	170 – 229 HBN
Tegangan tarik (min)	25000 psi [17,5 kg/mm ³]
Tegangan geser (min)	2000 lb [910 kg]
Defleksi (min)	0,17 inch [4,3 mm]

4.1. Proses Pemesinan

Proses pemesinan adalah proses pembentukan geram (*chip*) akibat *tools*, yang dipasangkan pada mesin perkakas yang bergerak relatif terhadap benda kerja yang dicekam pada daerah kerja mesin perkakas. Elemen dasar proses pemesinan yaitu:

a. Kecepatan potong (*cutting speed*) ; v (m/min)

Kecepatan potong (*cutting speed*) ditentukan oleh kombinasi material pisau dan material benda kerja. Adapun rumus kecepatan potong untuk mesin frais yaitu:

$$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$$

Dimana,

V = Kecepatan potong [m/min]

D = Diameter *cutter* [mm]

n = Putaran spindle per menit [rpm].

b. Kecepatan makan (*feed rate*) ; vf (mm/min)

Feed rate dalam proses frais ditentukan oleh:

1. Jumlah gigi *cutter*
2. Gerak pemakanan yang bekerja tiap gigi (*feed per tooth*)
3. Putaran spindle

$$Vf = n \times fz \times Z$$

Dimana:

Vf = Kecepatan pemakanan [mm/min]

n = Putaran spindle mesin [rpm]

Fz = Gerak makan per gigi

Z = Jumlah gigi pada *cutter*.

c. Kedalaman potong (*depth of cut*)

Pemodelan Kedalaman potong (*depth of cut*) adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong

d. Kecepatan penghasil geram (*rate of metal removal*) ; Z (cm³/min)

Volume penghasil jumlah geram dalam satu menit.

$$Z = \frac{w \times a \times Vf}{1000}$$

Dimana,

W = Lebar pemotongan [mm]

a = Kedalaman pemotongan [mm]

Vf = Kecepatan makan [mm/min].

4.2. Cutting Tools

Cutting tools yang digunakan pada mesin perkakas untuk melakukan proses pemesinan, merupakan komponen utama. Penggunaan pisau frais tergantung dari jenis pekerjaan yang akan dilakukan pengefraisan.

Keunggulan tersebut dilihat dari segi (Rochim, 1993):

1. Kekerasan
2. Keuletan
3. Ketahanan dan beban kejut termal
4. Sifat adhesi yang rendah
5. Daya larut elemen atau komponen material *cutting tools* yang rendah.

Berikut merupakan urutan *material cutting tools* dari yang paling lunak tetapi ulet sampai paling keras tetapi getas (Rochim, 1993):

- a. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)
- b. HSS (*High Speed Steels; Tool Steels*)
- c. Paduan Cor Nonferro (*Cast Nonferrous Alloys;*)
- d. Karbida (*Cemented Carbides; Hardmetals*)
- e. Keramik (*Ceramics*)
- f. CBN (*Cubic Boron Nitrides*)
- g. Intan (*Sintered Diamonds dan Natural Diamond*)

Elektroda dan Proses Pengelasan

Jenis elektroda (*filler metal*) yang digunakan dalam pengelasan ini adalah AWS A5.15 – ENi- CI (paduan nikel) dengan diameter 3,2 mm. Kandungan tipe logam las dan sifat mekanis dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut:

Tabel 3 Komposisi kimia nikel based filler metal

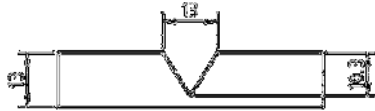
Fe	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu
0,55	1,00	0,01	0,3	0,001	0,01	85 Balance	-

Tabel 4 Sifat mekanis Eni-CI (AWS A5.15)

Sifat Mekanis	Nilai
Tegangan tarik	275 N/mm ²
Pemuluran	8 %
HV	140 - 160

Proses pengelasan yang digunakan yaitu SMAW. Jenis pengelasan ini biasa disebut pengelasan batang atau elektroda berpenutup, yaitu proses pengelasan manual yang menghasilkan busur

antara elektroda habis pakai berpenutup fluks dan benda kerja. Proses ini menggunakan penguraian lapisan fluks untuk menghasilkan gas pelindung dan menyediakan elemen fluks untuk melindungi tetapan logam las cair dan kolam las [7]. Jenis sambungan yang digunakan seperti yang terlihat pada Gambar 2, dengan parameter seperti pada Tabel 5.



Gambar 2 Desain kampuh las

Tabel 5 Parameter pengelasan

Material Benda Kerja	
Bahan	Besi tuang kelabu
Panjang	150 mm
Lebar	100 mm
Tebal	10 mm
Karakteristik Las Spesimen	
Tegangan	21 – 24 volt
Arus	90 – 100 Ampere
Kecepatan Pengelasan	60 – 80 detik
Filler Metal	
Kawat las	CIN-1
Diameter kawat	3,2 mm
Posisi dan Arah Pengelasan	
Arah Pengelasan	Kanan ke kiri
Posisi Pengelasan	Flat position

Proses Permesinan

Proses pemesinan menggunakan mesin frais konvensional dengan *dovetail cutter* HSS Ø 35x600. Parameter proses pemesinan merujuk pada [8] seperti pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6 Parameter proses pemesinan

Parameter Pemesinan	Perhitungan	
Kecepatan potong (Vc)	$V_c = \frac{\pi \times \phi \times n}{1000}$	17 m/min
Kecepatan spindel (Rpm)	$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times \phi}$	154,6 rpm
Kecepatan pemakanan	$F = n \times f \times z$	185,5 mm/min
Kedalaman pemakanan	-	1 mm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur yang terbentuk setelah semua proses yang diberikan. Pengujian struktur mikro terletak pada daerah logam induk (*based material*), PMZ

(*partially melted zone*), logam las (*weld metal*). Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 100x pada mikroskop optik. Dari hasil pengamatan diperoleh data hasil pengujian struktur mikro. Struktur mikro *base material* perbesaran 100x dengan etsa 2% nital selama dua detik dapat dilihat Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Struktur mikro material dasar

Pada daerah *base material* terlihat matriks yang terbentuk berupa *perlite* dengan grafit berupa *flake* (serpih) yang tipis dan panjang. Sedangkan matriksnya berupa *perlite*. Pada daerah *base material* ini material tidak ikut melebur dan bercampur dengan filler metal. Struktur matriks yang terbentuk ini menyebabkan nilai kekerasan yang tinggi pada *based material*. Struktur mikro *Weld metal* perbesaran 100x dengan etsa 2% nital selama dua detik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Struktur mikro weld metal

Setelah mengetahui besaran putaran yang diinginkan pada *pulley driven* (N_1) yaitu sebesar 100 rpm, maka bisa ditentukan diameter *pulley driven* (D_2) agar mentransmisikan putaran sebesar 50 rpm pada *screw extruder*. Maka Jika N_1 merupakan putaran setelah melalui reducer (100 rpm) dengan diameter *pulley driven* (D_1) 100 mm. Hasil pengamatan struktur mikro di bagian *weld metal* ini terdiri dari matriks *austenit* dengan persebaran partikel grafit yang merata. Elektroda nikel dapat mengendapkan karbon, diambil dari *based material* dan ini adalah bentuk bebas sebagai grafit. Struktur mikro *partially melted zone* dengan etsa 2 % nital selama dua detik dapat dilihat pada Gambar 5. *Partially melted zone* pada lasan merupakan batas antara HAZ dan *weld metal*. Daerah tersebut terjadi karena panas yang terjadi sangat tinggi dan mencapai temperatur cair *based material*. Logam cair pada *partially melted zone* sama dengan cairan pada komposisi *eutektik* pada besi cor, logam cair ini

dapat membeku dengan laju pendinginan yang tinggi sehingga menghasilkan struktur besi cor putih (karbida) yang bersifat keras dan getas. Struktur mikro pada daerah mencair terdiri dari campuran martensit dan karbida. Tingginya nilai kekerasan yang terbentuk berakibat pada rendahnya ketangguhan *partially melted zone* yang berdekatan dengan daerah fusi. Pembentukan struktur keras dihasilkan oleh difusi karbon dari grafit ke daerah matriks disekitarnya. Pada daerah PMZ matriks logam di dekat grafit primer akan meleleh selama proses las. Pada bagian ini sangat kaya karbon oleh karena itu, laju pendinginan yang cepat pada saat pengelasan akan menyebabkan terbentuknya karbida dan *martensit* dari cairan saat logam las dingin.



Gambar 5 Struktur mikro *partially melted zone*

Pengujian Kekerasan

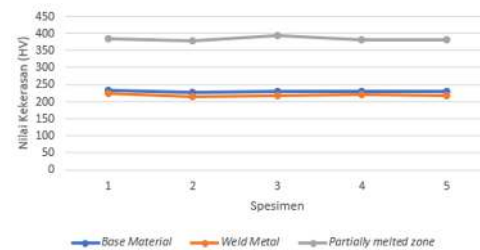
Variasi kekerasan hasil pengujian pada seluruh bagian lasan merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk mengevaluasi spesimen. Pengambilan data pada uji kekerasan dilakukan dengan lima titik indentasi pada masing-masing bagian kemudian diambil rata-ratanya masing bagian kemudian diambil rata-ratanya seperti pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7 Pengujian kekerasan

Spesimen uji	Based material (HV)	Weld metal (HV)	Partially melted zone (HV)
1	229	224	384
2	216	214	380
3	223	219	395
4	223	221	383
5	229	217	383

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, PMZ memiliki nilai kekerasan tertinggi. Hal ini dikaitkan dengan struktur mikro yang terbentuk pada daerah ini terdiri dari sementit dan juga *martensit*. Sementit memiliki kekerasan 65 – 68 HRC. Pada *weld metal* memiliki nilai kekerasan yang sebanding dengan *based material* hal ini disebabkan karena struktur *austenite* yang terbentuk. Pada daerah *weld metal* rata-rata nilai kekerasan yang didapat sebesar

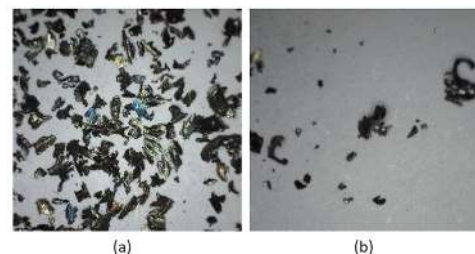
219 HV. Dengan kekerasan sebesar 219 HV apabila dikonversi kedalam satuan HB maka memiliki nilai kekerasan sebesar 212 HB. Nilai kekerasan pada *weld metal* ini apabila dibandingkan dengan nilai kekerasan besi cor FC 250 data dari ASTM 40 masih masuk kedalam range kekerasan *grey cast iron* yaitu 180 – 302 HB. Grafik pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik pengujian kekerasan

Chip Information

Karakteristik *chip* yang dihasilkan dari proses pemesinan *based material* dan hasil lasan adalah sama yaitu *discontinuous chip*. Akan tetapi untuk ukuran dari *chip* yang dihasilkan berbeda, hasil lasan akan menghasilkan *discontinuous chip* yang lebih besar dan panjang dibanding *based material*. Kondisi hasil *chip* besi tuang kelabu dan *nickel filler metal* dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Kondisi chip hasil pemesinan, (a) besi tuang kelabu, (b) *nickel filler metal*

Cutting Tools

Selama proses pemesinan berlangsung terjadi interaksi antara *cutting tools* dengan benda kerja. Pada saat proses pemesinan terjadi keausan, keausan bukan hanya proses tunggal, tetapi beberapa proses berbeda yang dapat berlangsung secara independen atau bersamaan. Pahat dapat mengalami kegagalan dengan tiga macam cara berbeda, yaitu perpatahan nyata, deformasi plastis dan keausan bertahap. Dua cara pertama mewakili kegagalan dini dari pahat. Keausan bertahap adalah hal yang tidak dapat dicegah dan biasanya telah diperkirakan secara alami pada proses pemotongan logam. Keausan pahat digunakan untuk mengevaluasi kinerja *cutting*

tools. Pada penelitian ini ditemukan fenomena yang menyebabkan keausan pada *cutting tools*.

1. Abrasive Wear

Proses abrasif terjadi karena material benda kerja mengandung matriks dari fase yang keras, dimana kekerasannya lebih besar daripada permukaan material *cutting tools*. Partikel keras pada benda kerja yang menggesek bersama-sama dengan aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama *cutting tools* akan menimbulkan abrasif. Pada saat pemesinan menggunakan HSS, mekanisme keausan abrasif yang terjadi pada permukaan cawah (*carter*) secara substansial mirip dengan yang terjadi pada bagian *flank*. Partikel keras yang ada dalam struktur besi tuang kelabu yang berupa karbida akan menyebabkan kerusakan pada permukaan *cutting tools* HSS yang sebagian besar strukturnya terdiri atas martensit atau karbida dengan persentase pengikat cobalt yang cukup besar. Proses abrasif merupakan faktor dominan yang menjadi penyebab keausan pada pahat HSS dengan kecepatan potong yang relatif rendah (sekitar 10 m/min – 20 m/min).

2. Deformasi Plastis

Kekuatan *cutting tools* untuk menahan tegangan tekan (*compressive stress*) merupakan sifat material dari *cutting tools* yang dipengaruhi oleh temperatur. Deformasi plastis disebabkan oleh tekanan dan temperatur yang tinggi pada bidang aktif *cutting tools* dimana kekerasan dan kekuatan material *cutting tools* akan turun bersamaan dengan naiknya temperatur. Deformasi akibat tegangan tekan dimulai pada bagian pojok pahat.

3. Surface Burning

Surface burning pada *cutting tools* ditandai dengan perubahan warna dari permukaan *cutting tools*. Secara visual perubahan warna yang terjadi adalah dari warna coklat cerah berangsur-angsur berubah menjadi lebih gelap hingga menjadi warna biru kehitaman. Perubahan warna ini merupakan indikator bahwa kerusakan termal.

4. Flank Wear dan Carter Wear

Karena bentuk dan letaknya yang spesifik, keausan pada bidang geram disebut dengan keausan kawah (*crater wear*) dan keausan pada bidang utama atau mayor dinamakan keausan tepi (*flank wear*). *Flank* merupakan sisi samping muka *cutting tools* dimana terletak tepi potong utama. Ini merupakan bagian *cutting tools* yang berkontak langsung dengan benda kerja dan menahan gaya pemakanan.

Keausan ini bermula dari tepi potong dan terus melebar.

Pengukuran Keausan Pada Bagian Flank

Dengan menggunakan parameter nilai V_c , Doc , Rpm dan F_z yang sama dengan pemakanan sebanyak 10 kali pada material akan menimbulkan keausan pada *dovetail cutter* sebesar 0,645 mm. Menurut ISO 3685 batas aus sisi atau tepi *cutting tools* adalah 0,3 mm. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan mesin frais terhadap pemesinan kering besi tuang kelabu yang dilakukan proses pengelasan menggunakan *cutter dovetail* HSS didapat data pada kondisi pemotongan spesimen ketiga sudah melebihi batas aus pahat yaitu 0,345 mm. Kondisi keausan pahat dengan kondisi $V_c=17$ m/min, $rpm = 154$ mm/min, $F_z=185$ mm/min, dan $a = 1$ mm dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Kondisi keausan pahat

Spesimen	Urutan pemakanan	V_b [mm]	Waktu [min]
1	Ke-1	0,081	3,45
	Ke-2	0,134	6,9
2	Ke-3	0,222	10,35
	Ke-4	0,27	13,8
3	Ke-5	0,345	17,25
	Ke-6	0,39	20,7
4	Ke-7	0,461	24,15
	Ke-8	0,516	27,6
5	Ke-9	0,596	31,05
	Ke-10	0,645	34,5

Dapat dilihat pertumbuhan pada batas aus tepi (*flank wear*) terjadi setelah proses pemakanan ke- 5 dengan waktu pemotongan selama 17 menit 25 detik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pengelasan pada ragum R125 mengakibatkan terjadinya perbedaan kekerasan pada daerah *weld metal*, *partially melted zone* dan *based material*. Kekerasan tertinggi berada pada daerah *partially melted zone* sebesar 385 HV sedangkan pada daerah *weld metal* memiliki kekerasan yang sebanding dengan *based material* sebesar 219 HV. Mikrostruktur yang terbentuk akibat proses pengelasan yaitu:
 - Pada bagian *weld metal* terbentuk struktur mikro *austenite* dengan sebaran *grafit flake* yang merata.

- b. Pada bagian *partially melted zone* terbentuk mikrostruktur *martensit* dan juga karbida.
- c. Pada bagian *based material* struktur mikro yang terbentuk berupa *grafit flake* dengan sebaran merata.
2. Perbedaan kekerasan yang terjadi akibat proses pengelasan serta kondisi pemotongan dengan kecepatan potong, putaran spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan yang sama berdampak terhadap *cutting tools* yang menyebabkan timbulnya fenomena *abrasive wear* yang mengakibatkan terjadinya keausan pada bidang utama (*flank wear*), keausan pada bidang geram (*crater wear*), deformasi plastis dan terjadi *surface burning* pada *cutting tools*. Perbedaan material benda kerja dan struktur mikro menyebabkan perbedaan karakteristik *chip* yang terbentuk.
- [8] T. Rochim, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, 1st ed. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1993.
- [9] Agus, D., & Purnomo, H. (2018). "Analisis Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Hasil Repair Welding Besi Cor Kelabu FC 250." *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 85-92.
- [10] Suratman, M. (2019). "Teknik Mengelas Logam Besi Cor dengan Las Busur Listrik." Pustaka Grafika, Bandung.
- [11] Suratman, M. (2019). "Teknik Mengelas Logam Besi Cor dengan Las Busur Listrik." Pustaka Grafika, Bandung.
- [12] Suyitno, B., & Pratama, R. (2020). "Optimasi Parameter Pengelasan Repair pada Besi Cor FC 250 Menggunakan Elektroda Nikel." *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 13(2), 71-78.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih atas kerjasama dan kolaborasi dari seluruh staf Laboratorium Pengecoran Logam dan Laboratorium Pemesinan Dasar Politeknik Manufaktur Bandung yang telah mendukung penelitian ini secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Rochim, *Klasifikasi Proses Gaya dan Daya Pemesinan*, Buku 1. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2007.
- [2] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Keempat. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1999. [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/86075>.
- [3] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, vol. 8. 2000.
- [4] D. Iman and H. Purwanto, "Pengaruh Pengelasan Besi Cor FC Dengan Metode Preheat dan Post Weld Heat Treatment Menggunakan Elektroda Paduan Nikel," vol. 17, no. 1, pp. 13–17, 2021.
- [5] M. S. Permana, R. Suratman, and B. Tarigan, "Bagaimana Memperbaiki Cacat Permukaan pada Komponen yang Terbuat dari Besi Cor," *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XI*, no. SNTTM XI, pp. 1647–1656, 2012.
- [6] *ASTM A 159-83 (2001) Standar Spesifikasi for Automotive Gray Iron Castings*. 2001.
- [7] D. L. Olson, T. A. Siewert, S. Liu, and G. R. Edwards, *ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering*, vol. 6. 1993.

PENGUJIAN CUTTER ENDMILL HSS DIAMETER 12 MM DENGAN PEMOTONGAN DEPT OF CUT TERHADAP BAJA AMUTIT DI MESIN MILLING LAGUN FU 100 (LFR 25)Antonius Adi Soetopo¹, Mohamad Yazid Diratama², Wandi Daniswara³¹ Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung² Teknologi Pembuatan Perkakas Presisi, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung³ Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Jalan Kanayakan No. 21 Dago, Bandung Jawa Barat

thopo@polman-bandung.ac.id¹**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara parameter pemesinan dan keausan pahat (*flank wear*) dalam proses milling baja amutit (SKS3) menggunakan cutter endmill High-Speed Steel (HSS) diameter 12 mm. Parameter pemesinan yang diteliti meliputi kecepatan potong ($V_c = 14$ m/min dan 18 m/min), laju pemakanan ($F = 30$ mm/min dan 75 mm/min), dan kedalaman potong ($DoC = 0.5, 1, 1.5, 2$ dan 2.5 mm). Metode regresi linier digunakan untuk membangun model matematis yang menghubungkan parameter-parameter tersebut dengan keausan pahat. Data eksperimen diperoleh melalui serangkaian pengujian pemesinan dengan variasi parameter yang telah ditentukan. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa keausan pahat atau *flank wear* (V_b) dipengaruhi secara signifikan oleh kecepatan potong (V_c), laju pemakanan (F), dan kedalaman potong (DoC), dengan nilai konstanta dan eksponen yang didapatkan melalui transformasi logaritmik dan analisis regresi. Model regresi yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam memprediksi keausan pahat, meskipun terdapat perbedaan antara nilai V_b teoritis dan V_b aktual. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak terukur dalam eksperimen, seperti variasi dalam material benda kerja atau kondisi lingkungan. Penelitian ini juga memberikan bahwa *cutter endmill* HSS diameter 12 mm terbukti mampu menjalankan proses pemotongan kedalaman pada material baja amutit di mesin *milling* Lagun FU 100 dengan kedalaman potong 5mm.

Kata kunci : baja SKS3, *cutter* HSS, *flank wear*, keausan pahat, parameter pemesinan, pemesinan milling, regresi linie.

Abstract

This study aims to analyze the relationship between machining parameters and tool wear (*flank wear*) in the milling process of amutite steel (SKS 3) using a 12 mm diameter High-Speed Steel (HSS) endmill cutter. The machining parameters studied included cutting speed ($V_c = 14$ m/min and 18 m/min), feed rate ($F = 30$ mm/min and 75 mm/min), and depth of cut ($DoC = 0.5, 1, 1.5, 2$ and 2.5 mm). The linear regression method was used to build a mathematical model relating these parameters to tool wear. Experimental data were obtained through a series of machining tests with predetermined parameter variations. The regression analysis results showed that tool wear or *flank wear* (V_b) was significantly affected by cutting speed (V_c), feed rate (F), and depth of cut (Doc), with constant and exponent values obtained through logarithmic transformation and regression analysis. The regression model obtained has a good level of accuracy in predicting tool wear, although there is a difference between the theoretical and actual V_b values. This discrepancy may be caused by factors not measured in the experiment, such as variations in workpiece material or environmental conditions. This research also provides that the 12 mm diameter HSS endmill cutter is proven to be capable of carrying out the depth-of-cutting process on amutite steel material in the Lagun FU 100 milling machine with the specified depth-of-cut.

Key words : tool wear, *flank wear*, linear regression, milling machining, machining parameters, SKS3 steel, hss cutter.

PENDAHULUAN

Pengujian *tools* HSS (*High Speed Steel*) *endmill* 12 mm merupakan aspek krusial dalam dunia manufaktur dan pemesian modern. Alat ini umum digunakan dalam berbagai pemesian *milling*, memainkan peran vital dalam menentukan kualitas produk akhir dan efisiensi proses produksi. Seiring dengan meningkatnya tuntutan akan presisi dan produktivitas, kebutuhan untuk mengoptimalkan kinerja alat pemotong. Pemilihan cutter *endmill* HSS (*High Speed Steel*) didasarkan pada beberapa pertimbangan penting yang mencakup aspek teknis, ekonomis, dan operasional. Dari segi teknis, HSS memiliki ketahanan termal yang baik dimana mampu mempertahankan kekerasannya hingga temperatur 600°C dan tahan terhadap *thermal shock*, sehingga ideal untuk operasi pemesian dengan kecepatan menengah. HSS *endmill* 12 mm dihadapkan pada beragam kondisi operasi, mulai dari variasi kecepatan potong hingga perbedaan karakteristik material yang dikerjakan [1]. Perkembangan teknologi material, baik dalam hal alat pemotong maupun benda kerja, juga mendorong perlunya evaluasi berkelanjutan untuk mendapatkan performa optimal [2].

Dalam pengujian ini, alat yang digunakan adalah *endmill High-Speed Steel* (HSS) berdiameter 12 mm yang diproduksi oleh pabrikan Jepang, Nachi. *Endmill* HSS ini memiliki tingkat kekerasan antara 681 hingga 711 HB atau setara dengan 63 hingga 65 HRC, yang menjadikannya pilihan yang tepat untuk proses pemesian dengan ketahanan terhadap keausan yang baik [3].

Pengujian ini menggunakan material baja Amutit (SKS3), yang merupakan salah satu jenis baja perkakas untuk pekerjaan dingin (*cold work tool steel*). Baja Amutit memiliki kekerasan sebesar 190 HB atau setara dengan 12 HRC, sehingga cocok untuk digunakan dalam proses pembentukan mesin. Material ini sering diaplikasikan dalam pembuatan alat *blanking*, *punching*, *shearing*, *coining*, *punch*, *dies*, serta berbagai alat *press tools* lainnya. Baja Amutit juga termasuk dalam kategori baja paduan, yang setara dengan standar DIN 100MnCrW4, AISI O1, dan JIS SKS3 [3]. Baja ini memiliki komposisi unsur utama, yaitu karbon (C) sebesar 0,95%, mangan (Mn) 1,1%, kromium (Cr) 0,5%, vanadium (V) 0,12%, wolfram (W) 0,55%, dan silikon (Si) 0,3%, yang memberikan kekuatan dan ketangguhan pada material ini dalam aplikasi teknik [5].

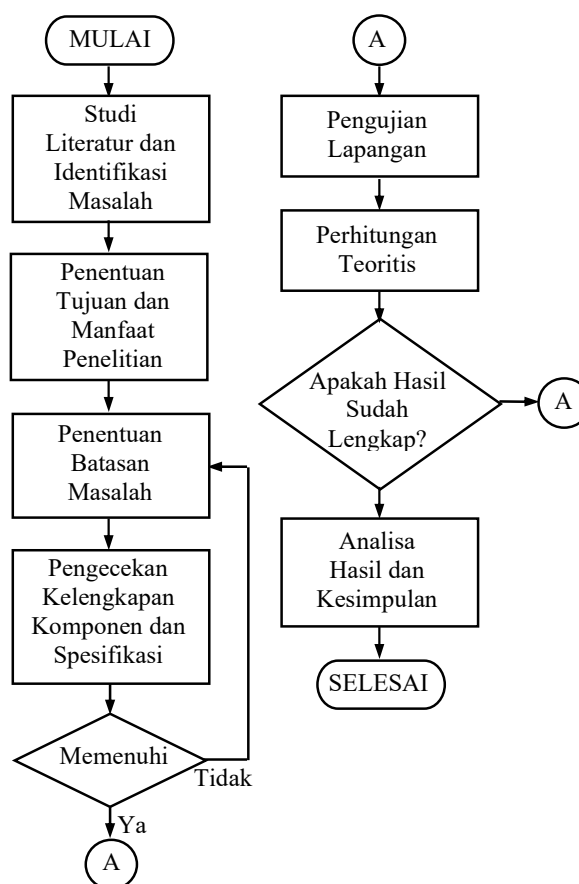
Penggunaan alat potong *endmill* HSS diameter 12 dan material baja Amutit merupakan suatu komponen yang sering digunakan dalam proses produksi maupun pembelajaran praktikum di Politeknik Manufaktur (Polman) khususnya jurusan

Teknik Manufaktur. Kombinasi material ini memberikan keseimbangan yang baik antara ketahanan alat dan kemampuan pemesian, menjadikannya pilihan yang umum dalam industri dan pendidikan teknik di Polman.

Pada permasalahan tersebut maka dibuatlah penelitian dan ujicoba terhadap kemampuan alat potong *Endmill* HSS diameter 12 mm terhadap material baja amutit (SKS 3) pada mesin *milling universal* lagun FU 100. Pengujian ini dilakukan untuk mencari faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi laju keausan *cutter endmill* HSS diameter 12 mm. Penelitian ini juga membantu dan mengembangkan mahasiswa tentang pemahaman mesin *milling universal* lagun FU 100 dengan menggunakan alat potong *Endmill* HSS diameter 12 mm dalam mencapai titik optimal pada saat pemotongan material baja amutit.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Metodologi penelitian

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan material baja SKS 3 atau nama dagangnya baja amutit dan *cutter endmill* HSS-Co diameter 12 mm. Komposisi kimia dan *material properties* dari bahan tersebut merujuk pada [4] dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1 Komposisi kimia baja amutit dalam persen

C	Si	Mn	V	W	Cr
0,95	0,3	1,1	0,12	0,55	0,5

Tabel 2 *Material properties endmill* HSS-Co 12 mm

<i>Material Properties</i>	Nilai
<i>Tensile strength</i> (Mpa)	3250 Mpa
<i>Density</i> (kg/m ³)	8180 kg/mm ³
<i>Yield strength</i> (Mpa)	3800 Mpa
<i>Elastis Modulus</i> (Gpa)	210 Gpa

Proses Pemesinan

Proses pemesinan menggunakan mesin *milling* lagun FU 100 (LFR 25) dengan *cutter endmill* HSS-Co Ø 12mm.



Gambar 2 Mesin *milling* Lagun FU 100 (LFR 25)



Gambar 3 *cutter endmill* HSS-Co Ø 12mm

Parameter Permesinan

Parameter pemesinan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut [6][7]:

1. Spindle speed

$$n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times d} \text{ (put/min)(1)}$$

Pengujian ini menggunakan variasi $V_c = 14$ m/min menghasilkan 350 put/min dan $V_c = 18$ m/min menghasilkan 490 put/min (disesuaikan pada daftar rpm yang mendekati di mesin *milling* lagun FU 100).

2. Kecepatan pemakanan

$$V_f = n \times f_z \times Z$$

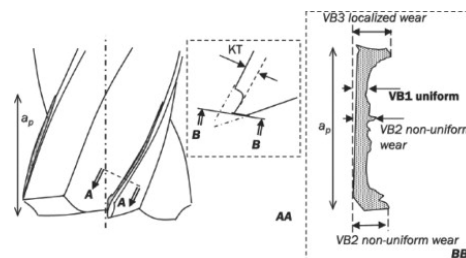
Diketahui pengujian ini menggunakan variasi $F = 30$ mm/min dan 75 mm/min.

3. *Depth of Cut*

Pengujian ini menggunakan kedalaman pemakanan dengan variasi pemakanan sebesar 0.5, 1, 1.5, 2, dan 2.5 mm.

Pengukuran Keausan *Flank wear* (Vb)

Keausan pahat, atau *flank wear* adalah fenomena dimana sisi flank dari pahat mengalami keausan akibat gesekan terus-menerus dengan permukaan benda kerja selama proses pemotongan [8][9]. Keausan ini merupakan salah satu penyebab utama dari kegagalan alat potong, yang dapat mempengaruhi kualitas permukaan benda kerja serta efisiensi dan biaya pemesinan. Standar ISO 8688 Bagian 1 dan 2 (ISO 1989) menjelaskan pola keausan utama dan lokasi keausan alat, yang juga ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 4 *Flank Wear* pada *cutter endmill*

Dalam mengetahui nilai keausan yang terjadi dalam setiap pemotongan menggunakan sebuah digital mikroskop atau *dyno lite*.



Gambar 5 *Dyno Lite*

Model Empiris Flank wear (Vb)

Jenis Pemodelan keausan *cutter* secara empiris melibatkan pengembangan model matematis berdasarkan data hasil eksperimen. Menurut samy el sayed oraby dalam disertasinya menyatakan bahwa salah satu hubungan fungsional antara respons pemotongan dan parameter pemotongan sering kali tidak diketahui secara pasti [10]. Tantangannya adalah untuk sementara waktu memperkirakan hubungan tersebut untuk fungsi respons yang belum diketahui, kemudian, menggunakan kriteria tertentu untuk menilai apakah model yang diasumsikan sudah memadai atau belum. Secara umum, permasalahan ini dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut [10]:

$$R = V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_p \dots\dots\dots(3)$$

Dimana R adalah respon pemotongan dan V adalah variabel independen. Menurut Friedeman menyarankan bahwa hubungan antara umur *cutter* dan variabel kecepatan pemotongan (Vc) m/min, kecepatan pemakanan (F) mm/min, dan kedalaman potong (DoC) mm, dapat berbentuk persamaan. Persamaan ini disebut persamaan Taylor yang diperluas. diketahui model yang dapat digunakan untuk memprediksi keausan *flank wear* adalah [10]:

$$Vb = C. Vc^p. F^m DoC^n \dots\dots\dots(4)$$

Dimana c, p, m, dan n adalah konstanta yang akan diprediksi dari analisis regresi menggunakan data eksperimen. Bentuk ini dapat dilinierkan dengan menggunakan transformasi logaritmik sehingga bentuknya menjadi linier. Berikut transformasi logaritmik agar bias menjadi linear:

$$\log (vb) = \log (C) + m. \log (Vc) + n. \log (F) + p. \log (DoC) \dots\dots\dots(5)$$

Sebelum melakukan analisis regresi diperlukan untuk memeriksa data apakah dapat dilakukan analisis regresi, adapun syarat yang harus dipenuhi antara lain [11]:

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk memeriksa apakah data residual (perbedaan antara nilai yang diamati dan nilai yang diprediksi) dari model regresi berdistribusi normal. Adapun metode yang digunakan, seperti uji Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk yang digunakan untuk menguji apakah data residual berdistribusi normal dan metode Normal P-P Plot digunakan untuk menunjukan grafik apakah data residual mengikuti distribusi normal [12].

2. Uji Multikolinearitas

Multikolinearitas terjadi ketika dua atau lebih variabel independen sangat berkorelasi, yang dapat menyebabkan masalah dalam estimasi koefisien regresi. Indikator multikolinearitas berupa Variance Inflation Factor (VIF), $VIF > 10$ mengindikasikan adanya multikolinearitas tinggi dan Tolerance, Nilai tolerance < 0.1 menunjukkan adanya multikolinearitas [12].

3. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi digunakan untuk memeriksa apakah ada hubungan antara residual yang berdekatan dalam data time series. Autokorelasi yang signifikan dapat mengindikasikan bahwa model regresi tidak valid. Indikator uji autokorelasi berupa nilai Durbin-Watson mendekati 2 menunjukkan tidak adanya autokorelasi dan nilai yang jauh dari 2 (misalnya < 1 atau > 3) mengindikasikan adanya autokorelasi [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kekerasan Material dan Cutter

Pengujian ini dilakukan sebagai langkah awal sebelum melakukan pengambilan data. Data ini bertujuan untuk memastikan material yang digunakan sesuai dan dapat dilakukan untuk pengambilan data pengujian. Dalam pengujian ini, material yang digunakan adalah baja amutit atau SKS 3. Pengujian ini untuk memastikan bahwa material yang digunakan adalah baja SKS 3. Dalam pengujian kekerasan material ini dilakukan di laboratorium manufaktur sektor fabrikasi. Pengujian ini menggunakan mesin *Future Tech FX-R* dengan jenis penyettingan HRB (*hardness rockwell B*) dan indentor yang digunakan adalah indentor baja. Hal yang perlu diperhatikan adalah permukaan dari material yang akan diuji perlu bersih dari goresan agar dapat hasil yang maksimal. Berikut hasil pengujiannya:

Tabel 3 Hasil kekerasan baja Amutit SKS3/Amutit

SKS3/Amutit	
HB1	190
HB2	200
HB3	200
HBavg	197

Didapatkan hasil dari pengujian kekerasan material setelah dikonversi menjadi hardbrinell adalah 197 HB.



Gambar 6 Pengukuran kekerasan baja amutit

Selanjutnya dalam pengujian ini, *tool* yang digunakan adalah endmill HSS Co berdiameter 12 mm. Pengujian ini untuk memastikan bahwa *tool endmill* ini sesuai dengan kekerasan seharusnya. Dalam pengujian kekerasan material ini dilakukan ditempat yang sama yaitu di laboratorium manufaktur sector fabrikasi. Pengujian ini menggunakan mesin *Future Tech FX-R* dengan jenis penyettingan yang berbeda yaitu HRC. Dalam pengujian ini *tool* diletakan di v blok agar *tool* tidak bergerak pada saat pengujian. Berikut hasil dari pengujiannya:

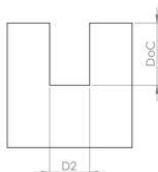
Tabel 4 Hasil kekerasan cutter endmill HSS 12 mm

Endmill HSS Co	
HRC	65
HRC	65
HRC	60
HRCavg	63

Didapatkan hasil dari kekerasan *tool endmill* adalah 63 HRC.

Hasil Depth of Cut yang didapatkan

Hasil kedalaman pemakanan pada parameter pertama yang didapatkan setelah proses pemesinan tertera pada tabel 5:



Tabel 5 Hasil Doc parameter 1

Doc (mm)	Doc Act (mm)	D2 (mm)
0,5	0,5	12
1	1	12
1,5	1,5	12
2	2	12
2,5	2,5	12

Diketahui parameter yang digunakan dalam mendapatkan hasil *depth of cut* ini adalah *velocity cutting* (V_c) = 14 m/min, *Feed rate* = 30 mm/min. Didapatkan hasil dari pengukuran menggunakan *dept gauge* untuk mengukur kedalaman pemakanan dan jangka sorong untuk mengukur lebar alur hasil pemotongan kedalaman yang terjadi dan hasil *depth of cut aktual* adalah sama. Maka dapat disimpulkan hasil yang diterima baik dan tidak adanya selisih yang terjadi pada saat pemesinan.

Kemudian hasil kedalaman pemakanan pada parameter pertama yang didapatkan setelah proses pemesinan tertera pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil Doc parameter 2

Doc (mm)	Doc Act (mm)	D2 (mm)
0,5	0,5	12
1	1	12
1,5	1,5	12
2	2	12
2,5	2,5	12

Diketahui parameter yang digunakan dalam mendapatkan hasil *depth of cut* ini adalah *velocity cutting* (V_c) = 18 m/min, *Feed rate* (F) = 75 mm/min. Didapatkan hasil dari pengukuran menggunakan *dept gauge* untuk mengukur kedalaman pemakanan dan jangka sorong untuk mengukur lebar alur hasil pemotongan kedalaman yang terjadi dan hasil *depth of cut aktual* adalah sama. Maka dapat disimpulkan hasil yang diterima baik dan tidak adanya selisih yang terjadi pada saat pemesinan.

Dari kedua data tersebut dapat dilihat bahwa *cutter endmill* HSS diameter 12 mm mampu untuk memotong kedalaman material baja amutit dengan mesin *milling* lagun FU 100 dengan baik. Dengan parameter yang telah ditetapkan dan kemampuan mesin yang tersedia menghasilkan kedalaman pemotongan yang sesuai dengan apa yang diharapkan.

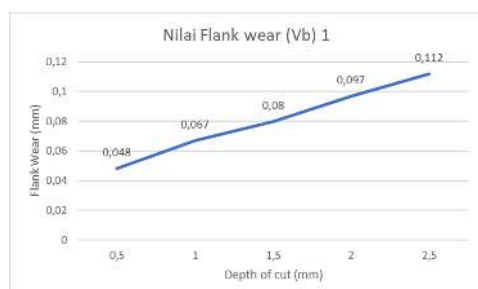
Hasil Pengukuran Flank Wear pada Cutter endmill HSS diameter 12 mm

Karakteristik Pengukuran keausan ini didapatkan dari pengukuran hasil dyno lite setelah terjadi pemotongan. Nilai v_b ini didapatkan dari parameter pertama dengan V_c = 14 m/min, F = 30 mm/min dan rpm = 350 put/min.

Tabel 7 Hasil Doc terhadap Vb parameter ke 1

DoC (mm)	Vb (mm)				
	Vb1	Vb2	Vb3	Vb4	Vb Avg
0,5	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
1	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067

1,5	0,085	0,075	0,075	0,085	0,080
2	0,107	0,094	0,094	0,094	0,097
2,5	0,115	0,104	0,115	0,115	0,112



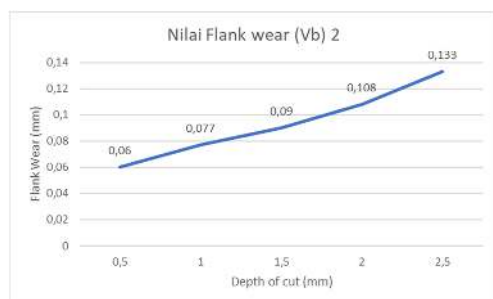
Gambar 7 Grafik flank wear (Vb) parameter ke 1

Berdasarkan hasil pengujian dan dilihat dari grafik bahwa keausan cutter meningkat seiring bertambahnya *depth of cut* (DoC). Pada DoC 0,5 mm dan 1 mm, keausan masih dalam batas normal dengan selisih kecil antara tepi cutter. Namun, pada DoC 1,5 mm, 2 mm, dan 2,5 mm, selisih keausan antar tepi mulai signifikan, dengan tepi no 1 dan 4 menunjukkan keausan lebih besar. Keausan tertinggi terjadi pada DoC 2 mm, khususnya di tepi no 1, sedangkan pada DoC 2,5 mm, tepi no 2 memiliki keausan terkecil. Ini menunjukkan bahwa peningkatan DoC mempengaruhi distribusi keausan pada cutter secara tidak merata.

Selanjutnya didapatkan dari parameter kedua dengan $V_c = 18$ m/min, $F = 75$ mm/min dan rpm = 490 put/min.

Tabel 8 Hasil Doc terhadap Vb parameter ke 2

DoC (mm)	Vb (mm)				
	Vb1	Vb2	Vb3	Vb4	Vb Avg
0,5	0,057	0,057	0,067	0,057	0,060
1	0,078	0,078	0,075	0,078	0,077
1,5	0,085	0,094	0,085	0,096	0,090
2	0,102	0,102	0,114	0,114	0,108
2,5	0,137	0,131	0,131	0,131	0,133



Gambar 8 Grafik flank wear (Vb) parameter ke 2

Berdasarkan hasil pengujian parameter kedua, keausan cutter cenderung meningkat dengan

bertambahnya *depth of cut* (DoC). Pada DoC 0,5 mm, nilai *flank wear* masih dalam batas normal, meskipun lebih besar dibandingkan parameter awal. Pada DoC 1 mm, tepi no 3 mengalami keausan paling kecil dengan selisih 0,017 mm dari DoC 0,5 mm. Pada DoC 1,5 mm, keausan semakin meningkat dengan selisih 0,013 mm dari DoC 1 mm. Pada DoC 2 mm, tepi no 3 dan 4 mengalami keausan tertinggi sebesar 0,114 mm. Pada DoC 2,5 mm, tepi no 1 memiliki keausan terbesar sebesar 0,137 mm, dengan selisih 0,025 mm dari DoC 2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan DoC secara signifikan mempengaruhi keausan cutter, terutama pada tepi tertentu.

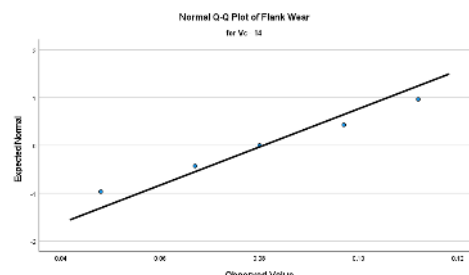
Hasil Uji Normalitas

	Test of Normality						
	Cutting Speed	Statistic	df	Sig.	Statistic	Sig.	
Flank Wear	14	0.141	5	0.200	0.990	5	0.980
	18	0.149	5	0.980	0.980	5	0.972

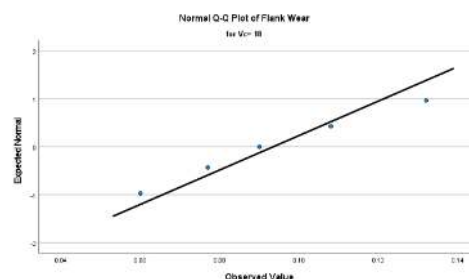
*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 9 Hasil uji normalitas

Pengujian ini diolah menggunakan software SPSS dan didapatkan bahwa Diketahui bahwa nilai *p-value* dari uji Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk > 0.05, maka data residual dianggap berdistribusi normal.



Gambar 10 Grafik Hasil Uji Normalitas Vc 14m/min



Gambar 11 Grafik Hasil Uji Normalitas Vc 18m/min

Diketahui pada gambar 9 bahwa nilai dari Vc 14 m/min dan Vc 18 m/min pada uji normalitas Kolmogorov-Smirnov memiliki nilai yang sama yaitu 0,200 dan nilai untuk uji normalitas menurut Shapiro-Wilk dengan Vc 14 m/min memiliki nilai 0,980 dan Vc 18 m/min memiliki nilai 0,972. Pada grafik ini bahwa data keausan *cutter* terdistribusi normal karena memiliki nilai p value > 0,05. Pada titik-titik plot ini terlihat tidak jauh mengikuti dari garis lurus, sehingga data ini menunjukkan sebagai data keausan *cutter* terdistribusi normal dan salah satu syarat uji regresi linear ganda sudah terpenuhi.

Hasil Uji Multikolinearitas

Model	Coefficients ^a					
	Unstandardized Coefficients B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	Collinearity Statistics Tolerance VIF
1 (Constant)	-1.410	.060		-23.415	0.990	
LOG F	.164	.036	.256	4.607	1.000	1.000
LOG DoC	.494	.029	.955	17.199	0.980	1.000 1.000

a. Dependent Variable: LOG_Vb

Gambar 12 Hasil Uji Multikolinearitas

Diketahui nilai toleransi harus berada di antara 0,0 – 1. Jika dilihat dari table nilai dari semua variable tidak ada yang kurang dari angka 0,0 maupun lebih dari angka 1. VIF juga harus lebih rendah dari angka 10. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data pengujian ini tidak mengalami multikolinearitas dan syarat uji regresi linear berganda terpenuhi.

Hasil Uji Autokorelasi

Model Summary ^b					
Mode	R	R Square	Adjusted R Square	Std Error of the Estimate	Durbin Watson
1	0,989 ^a	0,978	0,972	0,02241	1,345

a. Predictors: (Constant), Log_DoC, Log_F

b. Dependent Variable : Log_Vb

Gambar 13 Hasil Uji Autokorelasi

Diketahui bahwa nilai dari Durbin Watson menunjukkan nilai 1,345. Angka ini lebih besar dari 1 dan lebih kecil dari angka 3. Secara ringkas $1 < 1,345 < 3$. Karena nilai dari Durbin Watson berada diantara dua angka batasan autokorelasi, maka dapat disimpulkan bahwa data ini tidak mengalami autokorelasi dan syarat uji regresi linear berganda telah terpenuhi.

Hasil Flank Wear (Vb) teoritis

Diketahui rumus yang digunakan untuk mendapatkan hasil *flank wear* pada saat pengujian, sebagai berikut:

$$Vb = C \cdot Vc^p \cdot F^m \cdot Doc^n$$

Kemudian didapatkan konstanta dari

$$C = 10^{-1,410} = 0,038$$

$$p = 0,01$$

$$m = 0,16$$

$$n = 0,49$$

Konstanta tersebut didapat dari hasil pengolahan *software* SPSS dari data parameter *velocity cutting* (Vc), *federate* (F), dan *depth of cut* (DoC) yang dilakukan. Didapatkan hasil dari perhitungan diatas dapat dilihat pada table 9, sebagai berikut:

Tabel 9 hasil Vb teoritis untuk parameter ke 1 & 2

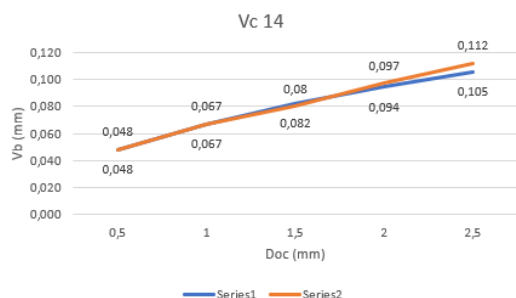
Vc (m/min)	Doc (mm)	F (mm/min)	Vb teoritis (mm)
14	0,5	30	0,048
14	1	30	0,067
14	1,5	30	0,082
14	2	30	0,094
14	2,5	30	0,105
18	0,5	75	0,056
18	1	75	0,078
18	1,5	75	0,095
18	2	75	0,110
18	2,5	75	0,122

Perbandingan Vb teoritis dan Vb Aktual

Kemudian dibuat perbandingan antara Vb teoritis dan Vb actual untuk mengetahui berapa selisih dan keakuratan yang terjadi, maka dibawah ini hasil perbandingan yang didapatkan.

Tabel 10 Hasil perbandingan Vb Act. Dan Vb teo

Vb teoritis (mm)	Vb Aktual (mm)	
0,048	0,048	0
0,067	0,067	0
0,082	0,08	0,002
0,094	0,097	0,003
0,105	0,112	0,007
0,056	0,06	0,004
0,078	0,077	0,001
0,095	0,09	0,005
0,110	0,108	0,002
0,122	0,132	0,010

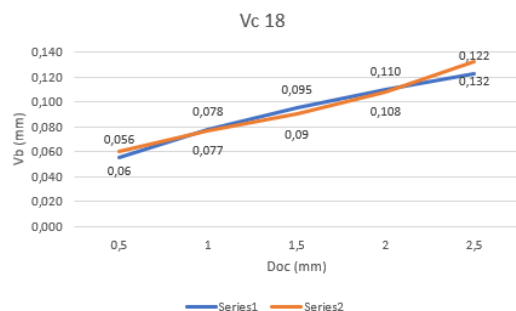


Gambar 14 Grafik Vb terhadap Doc pada Vc 14 m/min

Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara Vb (*flank wear*) dan Doc (*depth of cut*), dengan dua seri data yang dibandingkan: Series1 (garis biru) yang mewakili *flank wear* teoritis dan Series2 (garis oranye) yang mewakili *flank wear* aktual. Sumbu horizontal mewakili nilai DoC (mm), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nilai Vb (mm). Diketahui bahwa:

- *Flank wear* meningkat secara linear seiring dengan bertambahnya kedalaman potong (Doc).
- Pada nilai DoC yang sama, *flank wear* aktual (Series2) umumnya lebih besar daripada *flank wear* teoritis (Series1), walaupun perbedaannya kecil.
- Pada DoC 0,5 mm, baik *flank wear* teoritis maupun *flank wear* aktual memiliki nilai yang sama, yaitu 0,048 mm.
- Seiring peningkatan kedalaman potong hingga 2,5 mm, perbedaan antara *flank wear* teoritis dan aktual semakin besar, di mana *flank wear* aktual mencapai 0,112 mm, sedangkan teoritis mencapai 0,105 mm.

Kemudian untuk grafik parameter kedua yaitu:



Gambar 15 Grafik Vb terhadap Doc pada Vc 18 m/min

Grafik ini menjelaskan bahwa:

- *Flank wear* (Vb) terus meningkat secara linier seiring dengan bertambahnya kedalaman potong (DoC) dari 0,5 mm hingga 2,5 mm.
- Pada DoC 0,5 mm, terdapat sedikit perbedaan antara *flank wear* teoritis (0,06 mm) dan *flank wear* aktual (0,056 mm).
- Saat DoC meningkat menjadi 1 mm, perbedaan antara keduanya mengecil, dengan Vb teoritis sebesar 0,078 mm dan Vb aktual sebesar 0,077 mm, menunjukkan hasil yang hampir sama.
- Pada DoC 1,5 mm, *flank wear* aktual lebih rendah dari teoritis, yaitu 0,09 mm dibandingkan dengan 0,095 mm.
- Ketika DoC mencapai 2,5 mm, *flank wear* aktual sedikit lebih besar daripada *flank wear* teoritis, dengan nilai 0,132 mm untuk aktual dan 0,122 mm untuk teoritis.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari grafik Vb yang dibuat bahwa Vb Teoretis menunjukkan hubungan linier di mana keausan *cutter* endmill HSS 12 mm meningkat secara linear dengan peningkatan kedalaman pemotongan. Ini berarti model teoretis mengasumsikan peningkatan keausan yang stabil, sedangkan Vb Aktual menunjukkan bahwa keausan *cutter* juga meningkat seiring dengan bertambahnya dengan kedalaman pemotongan.

Berdasarkan hasil analisis regresi, variabel *depth of cut* (DoC) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keausan pahat (Vb). Hal ini ditunjukkan oleh nilai p-value sebesar 0,001, yang lebih kecil dari nilai alpha (α) yang ditetapkan, yaitu 0,05. Oleh karena nilai p-value < 0,05, kita dapat menyimpulkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara *depth of cut* (DoC) dengan keausan *cutter* (Vb). Dengan demikian, DoC merupakan faktor yang berpengaruh terhadap keausan *cutter* endmill HSS diameter 12 mm.

Model matematis yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu memprediksi keausan *cutter* dengan tingkat akurasi yang baik. Perbandingan antara nilai Vb teoritis dan Vb aktual menunjukkan kesesuaian yang signifikan, dengan nilai perbedaan terkecil 0,001 mm pada Vc 14 m/min dengan pemotongan 0,5 mm dan 1 mm, adapun selisih terbesar 0,010 mm pada Vc 18 m/min dengan kedalaman pemotongan 2,5mm. Kedua grafik VB menunjukkan bahwa untuk setiap peningkatan kedalaman potong, keausan *flank* (Vb) meningkat, dan pada kondisi tertentu, kecepatan potong yang lebih tinggi (Vc 18) menghasilkan keausan *flank* yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan potong yang lebih rendah (Vc 14).

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih atas kerjasama dan kolaborasi dari seluruh dosen dan para pengajar lainnya yang berada di Laboratorium Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Bandung yang telah mendukung penelitian ini secara maksimal.

- [11] M. G. Mona, J. S. Kekenusa, dan J. D. Prang, "Penggunaan Regresi Linear Berganda untuk Menganalisis Pendapatan Petani Kelapa: Studi Kasus Petani Kelapa di Desa Beo, Kecamatan Beo, Kabupaten Talaud," *Jurnal Penelitian Pertanian*, vol. 7, no. 2, pp. 123-135, 2020.
- [12] I. Istijanto, *Belajar Otodidak SPSS Pasti Bisa*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] urbeyni, fariq. (2020). PENGARUH PARAMETER PERMESINAN TERHADAP BURR FORMATION PADA PROSES MILLING DENGAN CNC ROUTER ALUMINIUM SHEET 1100. *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 14-19. <https://doi.org/10.33019/jm.v6i1.1178>
- [2] D V. Abriandika, A. A. Sonief, and Y. S. Irawan, "Pengaruh pahat end mill normal dan variabel helix angle pada metode pocket zig-zag terhadap chatter," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 639–648, doi: 10.21776/jrm.v14i2.1419, 2023.
- [3] Friska Ari Yessika, Pengaruh Variasi Jenis Baja Terhadap Keausan End Mill Cutter Hss Pada Proses Pemesinan Cnc Milling, 2019.
- [4] Karmin, Muchtar Ginting, Nalisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit menggunakan Media Pendingin Dromus, 2012.
- [5] Arifin, N. M. et al. Pengaruh Parameter Proses Freis Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fasa Ganda. *Jurnal Rekayasa Teknik Mesin*. Vol 2, 2011.
- [6] Widarto. *Teknik Pemesinan Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [7] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2010.
- [8] Analysis et al., "analisis kualitas lubang material carbon fiber reinforced polymer menggunakan pahat end mill two flute di bawah pengaruh variabel program pascasarjana reinforced polymer menggunakan pahat," 2020.
- [9] Zainuddin., Harjanto Budi., Wijayanto Danar Susilo. Pengaruh Sudut Penyayatan Dan Jumlah Mata Sayat Endmill Cutter Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja St 40 Hasil Pemesinan Cnc Milling Tosuro Kontrol Gsk 983 Ma-H. *Jurnal Nospel*, 2013.
- [10] S. E. Oraby, *Mathematical Modelling and In-Process Monitoring Techniques for Cutting Tools**. Disertasi Ph.D., Universitas Suez-Canal, Port Said, Mesir, 1988.

SENSORY PREFERENCE DETERMINATION OF GREEN TEA EXTRACTS FROM UNCONTROLLED AND RELAY-CONTROLLED BREWING PROCESSES USING RANK ORDER CENTROID AND SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING

Borneo Satria Pratama¹, Alfiqriyansyah², Arya Dwicahya S², Fitri Hardiyanti Rukmana², Intan Dwi Hartati², Henrike Lehla Cahya Brutu², Winda², Sariati³

¹ Department of Agricultural Technology, Politeknik Negeri Pontianak (POLNEP)

Pontianak 55124, Indonesia

² Agricultural Industrial Technology Study Program, Institut Teknologi Sumatera (ITERA)

Lampung 35365, Indonesia

³ Agro-industrial Engineering Study Program, Graduate School of IPB University

Bogor 16680, Indonesia

borneospratama.academia@gmail.com¹

Abstrak

Ekstrak teh hijau merupakan produk minuman yang sangat populer karena berbagai manfaat kesehatannya. Sebagai upaya untuk meningkatkan daya tariknya di pasar, penting untuk memahami profil sensorik—seperti rasa, aroma, dan warna—agar produk ekstrak teh hijau dapat diterima dengan baik oleh konsumen. Penelitian ini dilakukan untuk menemukan kondisi ekstraksi terbaik dengan menguji berbagai kombinasi waktu (3 atau 6 menit) dan suhu (60°C, 80°C, atau 100°C) dengan dua metode penyeduhan: (1) sistem penyeduhan yang dikendalikan relay menggunakan Arduino, dan (2) proses penyeduhan konvensional tanpa sistem kendali. Evaluasi sensorik dilakukan oleh 30 panelis yang tidak terlatih menggunakan skala hedonik 9-titik. Selanjutnya, metode pengambilan keputusan Rank Order Centroid (ROC) dan Simple Additive Weighting (SAW) digunakan untuk menentukan produk yang paling disukai berdasarkan pengujian organoleptik. Hasil menunjukkan bahwa sampel dengan suhu ekstraksi 80°C dan waktu 6 menit mendapatkan skor rasa tertinggi, sementara aroma dan warna terbaik ditemukan pada sampel dengan suhu ekstraksi 100°C dan waktu 3 menit. Secara keseluruhan, hasil pengambilan keputusan menggunakan kombinasi metode ROC dan SAW menunjukkan bahwa sampel dengan suhu ekstraksi 100°C dan waktu 3 menit adalah yang paling disukai oleh panelis.

Kata kunci : teh, relay, organoleptik, ROC, SAW

Abstract

Green tea extract is a popular beverage known for its health benefits. To increase its market appeal, understanding the sensory profiles—taste, aroma, and color—of green tea extract is essential to ensure customer satisfaction. In this study, experiments were conducted to determine the optimal extraction conditions by varying extraction times (3 or 6 minutes) and temperatures (60°C, 80°C, or 100°C) in two brewing methods: (1) a relay-controlled brewing system utilizing Arduino, and (2) a standard brewing process without automated control. Sensory evaluations were conducted by 30 untrained panelists using a 9-point hedonic scale. Decision-making methods, Rank Order Centroid (ROC) and Simple Additive Weighting (SAW), were then applied to identify the most preferred product. Results indicated that the highest taste score was achieved by the 80C-6min sample, while the best aroma and color scores were observed in the 100C-3min sample. Overall, the decision-making process using the combination of ROC and SAW methods concluded that the green tea extract from the 100C-3min sample was the most preferred by the panelists.

Key words : tea, relay, organoleptic, ROC, SAW

INTRODUCTION

Green tea (*Camellia sinensis* L.) is a herbal plant native to China, now widely cultivated in Southeast Asia as a raw material for the development of traditional medicines. Today, green tea is a popular beverage known for its polyphenol content, which provides various health benefits. The polyphenols in green tea are strong antioxidants that have been shown to prevent diseases such as heart disease, hypertension, and cancer. Moreover, the polyphenol content in green tea is higher than that in black and oolong teas due to minimal degradation during processing. Green tea leaves contain about 30-40% polyphenols, while black tea leaves only contain around 3-10%. In addition to polyphenols, tea leaves also contain caffeine, a powerful astringent that provides a stimulant effect [1][2].

The polyphenol content in green tea extract products can serve as a strong positioning strategy for brands marketing their green tea products due to its health benefits. However, many Indonesians still prefer black tea over green tea, likely due to the stronger bitter taste of green tea extract compared to black tea. As a result, the sensory profiles—taste, aroma, and color—of green tea extract products are important factors to consider in order to ensure consumer acceptance. Several factors influence the sensory qualities of green tea extract, including extraction time and temperature [3]. Therefore, it is essential to determine the optimal combination of extraction time and temperature to achieve the desired sensory profiles of green tea extract.

Several common methods for decision-making in multi-criteria problems are Rank Order Centroid (ROC) and Simple Additive Weighting (SAW). The ROC method is used for assigning weights based on the priority rank of each criterion, typically expressed as, "The 1st criterion is more important than the 2nd, the 2nd is more important than the 3rd," and so on [4]. The ROC method has previously been applied as a weighting tool in performance evaluation and decision-making research. For example, Mesran et al. [5] used ROC and Operational Competitiveness Rating Analysis (OCRA) to assess lecturer performance, while Panjaitan and Desnelita [6] applied ROC along with Additive Ratio Assessment (ARA). Additionally, Irwan et al. [7] combined ROC with TOPSIS to determine the best employee.

Furthermore, the criteria weights from the ROC method will be further processed for decision-making using Simple Additive Weighting (SAW). The basic concept of SAW is to calculate the weighted sum of the performance ratings for each

alternative across all criteria. The alternative with the highest weighted sum is considered the most preferred [8]. SAW has previously been employed as a decision-making tool in various fields, such as food product evaluation. For instance, Utama and Baroto [9] applied SAW to analyze the boiling process of soybeans for tempe production, focusing on the organoleptic quality of the tempe. Similarly, Savitri et al. [10] used SAW to assist in selecting the best bread based on its sensory profiles and doneness.

Prior to this study, Lestari [11] combined ROC and SAW methods for decision-making in selecting potential credit customers. Additionally, Sihombing et al. [12] applied ROC and SAW to identify the most outstanding student in junior high school. Sudipa and Puspitayani [13] further investigated the sensitivity analysis in the implementation of AHP-SAW and ROC-SAW for decision-making in scholarship awards, concluding that ROC-SAW showed lower sensitivity than AHP-SAW. However, no prior research has implemented ROC and SAW for sensory evaluation purposes. Therefore, this study applies ROC and SAW to determine the preferred sensory profiles of green tea extract based on specific combinations of brewing temperature and time. A relay-controlled brewing system, managed by an Arduino-based microcontroller, was also used to maintain the brewing temperature at a predetermined setpoint.

RESEARCH METHOD

Development of a Relay-Controlled Brewing System Using an Arduino-Based Microcontroller

Metode A relay-controlled brewing system was developed using the following components: (1) Arduino UNO ATmega328P, (2) MAX6675 K-Type Thermocouple, (3) 5V Relay, (4) 16x2 I2C LCD, (5) Breadboard, and (6) Electric Kettle. The circuit design for the relay-controlled brewing process is shown in Figure 1. In this system, the MAX6675 K-Type thermocouple functions as a sensor to obtain the water temperature in the electric kettle. This temperature data is transmitted to the Arduino microcontroller, where it is received as digital data and processed by the program embedded in the microcontroller. The LCD displays the current temperature read by the system.

The breadboard is used to connect jumper wires to the ports in the modules, sensors, and Arduino microcontroller, creating the experimental circuit based on the design and ensuring the system functions properly. The relay controls AC power to the electric kettle, acting as a switch to turn the

electric current on and off as required during the heating process.

The Arduino-based microcontroller for the relay-controlled brewing process operates using IF-ELSE logic as follows: (1) If the temperature is lower than or equal to the setpoint, the relay allows electricity to flow to the kettle, continuing the heating process. (2) Otherwise, if the temperature exceeds the setpoint, the relay cuts off the electricity to the kettle, stopping the heating process [14].

Table 1. Arduino Codes Embedded in The System

Line	Code
1	<code>#include <max6675.h></code>
2	<code>#include <LiquidCrystal_I2C.h></code>
3	<code>const int RELAY = 8 ;</code>
4	<code>int thermoDO = 4;</code>
5	<code>int thermoCS = 5;</code>
6	<code>int thermoCLK = 6;</code>
7	<code>MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);</code>
8	<code>LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);</code>
9	<code>void setup() {</code>
10	<code> pinMode(RELAY, OUTPUT);</code>
11	<code> lcd.begin();</code>
12	<code> Serial.begin(9600);</code>
13	<code>}</code>
14	<code>void loop(){</code>
15	<code> float temp = thermocouple.readCelsius();</code>
16	<code> float correctTemp = (temp+0.08)/1.001;</code>
17	<code> float setpoint = 60; //80, or 100 °Celcius</code>
18	<code> lcd.setCursor(0,0);</code>
19	<code> lcd.print("Temperatur: ");</code>
20	<code> lcd.setCursor(0,1);</code>
21	<code> lcd.print(correctTemp);</code>
22	<code> if(correctTemp<=setpoint){</code>
23	<code> digitalWrite(RELAY,HIGH);</code>
24	<code> } else {</code>
25	<code> digitalWrite(RELAY, LOW);</code>
26	<code> }</code>
27	<code> Serial.println(correctTemp);</code>
28	<code> delay(500);</code>
29	<code>}</code>

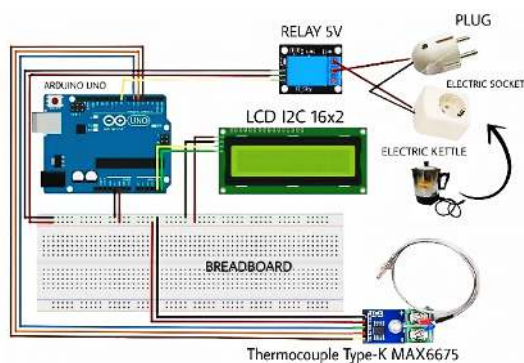


Figure 1. Circuit Design of Relay-based Temperature Control System using Arduino

Before being used in the relay-controlled brewing system, the MAX6675 K-Type thermocouple was calibrated using a post-calibrated EMCLAB DMSH-20D hotplate thermocouple. The calibration method was adapted from Riantono et al. [15] with slight modifications. Calibration was conducted using the linear regression method at five temperature points: 20, 40, 60, 80, and 100°C. The regression results are shown in Figure 2.

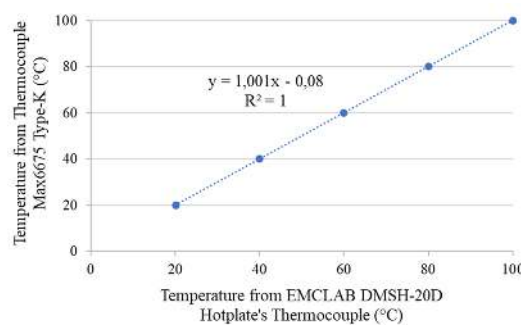


Figure 2. Linear Regression Between The Temperature Obtained from Thermocouple MAX6675 Type-K and EMCLAB DMSH-20D Hotplate's Thermocouple

The equation obtained by linear regression is $y = 1.001x - 0.08$. Thus, the inverse of the equation will be $y' = (x+0.08)/1.001$, which will be further used in the Arduino code to correct the temperature readings from the MAX6675 K-Type thermocouple. The complete Arduino code used in this study and embedded into the relay-controlled brewing system is presented in Table 1.

Green Tea Brewing Process Using Variations in Time and Temperature

A fixed amount of drinking water was heated in the electric kettle until it reached temperatures of 60°C, 80°C, or 100°C. To achieve temperatures of 60°C or 80°C, a relay-controlled brewing system was implemented using Arduino along with its modules and sensors. For heating to 100°C, the electric kettle was directly connected to the power supply without the control system, allowing the water to reach its boiling point (100°C). Once the water reached the target temperature, a commercial green tea bag was steeped in the heated water for 3 and 6 minutes. After the brewing process, the tea bag was removed, leaving the green tea extract in the kettle. The resulting extract was then stored in bottles for further sensory evaluation. Codes for each sample are presented in Table 2:

Table 2. The Codes of The Samples

Brewing Temperature (°C)	Brewing Time (minutes)	
	3	6
60	60C-3min	60C-6min
80	80C-3min	80C-6min
100	100C-3min	100C-6min

Sensory Evaluation of Green Tea Extracts

A sensory evaluation was conducted with 15 untrained panelists to assess the taste, aroma, and color of green tea extracts produced using the previously described methods. The assessments were carried out using a 9-point hedonic scale, with detailed scoring criteria presented in Table 3. The final scores for each product's taste, aroma, and color were then analyzed using descriptive statistics.

Table 3. The 9-point Hedonic Scale

Score	Grade
1	Dislike extremely
2	Dislike very much
3	Dislike moderately
4	Dislike slightly
5	Neither like nor dislike (neutral)
6	Like slightly
7	Like moderately
8	Like very much
9	Like extremely

Decision-Making on Sensory Preferences using ROC and SAW

The selection of the optimal green tea brewing process to achieve the highest preference for green tea extracts, based on sensory scores, was performed using Rank Order Centroid (ROC) and Simple Additive Weighting (SAW) as decision-making tools. The decision-making process begins with determining the weights for sensory evaluation criteria using the ROC method. The ROC formula is presented as follows [6]:

$$W_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{l_i}\right) \dots\dots\dots(1)$$

where W_k is the final weight of each criterion, k is the number of criteria, and i is the priority level of each criterion, which is prior determined by assigning the priority order. In this study, the priority order of each criterion was obtained using an interview with an expert in the field of agro-industrial engineering. Further, the weight of each criterion along with the sensory evaluation scores of the alternatives are processed by SAW by the following procedures: [16]

- 1) Determining the criteria (C_j) and alternatives (A_i) used in decision-making, where i is the

number of rows ($i = 1, 2, \dots, n$) and j is the number of columns ($j = 1, 2, \dots, m$).

- 2) Filling in the performance ratings for each alternative on all criteria. The performance ratings were obtained from the mean calculation of organoleptic scores.
- 3) Determining the weight values (W) for all criteria. The weight value for each criterion is obtained from the calculation of the Rank Order Centroid (ROC).
- 4) Creating a decision matrix (X) using the values of performance ratings for each alternative on all criteria. Thus, the configuration of the decision matrix will be as follows:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

- 5) Normalizing the decision matrix by calculating the normalized performance ratings (r_{ij}) depending on the attribute type: (1) benefit, or (2) cost. The equation for each type will be as follows:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & \text{if } j \text{ is a benefit attribute} \\ \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} & \text{if } j \text{ is a cost attribute} \end{cases} \dots(3)$$

- 6) Performing the weight sum calculation to determine the final preference score (V_i) for all alternatives using the equation of:

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j r_{ij} \dots\dots\dots(4)$$

The alternative that has the highest V_i score will be chosen as the final result of the decision-making process, which also indicates its position as the best alternative for the brewing process to produce the most preferred green tea extract based on its sensory scores.

RESULT AND DISCUSSION

The Analysis of Water Heating Profile

The circuit design implementation of the system of relay-controlled brewing process using Arduino is presented in Figure 2. The water heating profile obtained from both experiments: (1) the electric kettle with a system of relay-controlled brewing process, and (2) the electric kettle without implementing the control system, can be seen in Figure 3. The rise time required by the relay-controlled brewing process system to achieve temperature setpoints of 60°C and 80°C is 166 seconds and 228 seconds, respectively. Furthermore,

overshoot occurred in the responses at both setpoints. The overshoot values were 20.17% and 18.54% for the temperature setpoints of 60°C and 80°C, respectively.

The overshoot in both systems occurred due to the preserved heat in the heating element of the electric kettle, even though the electric current had been shut off by the relay. As a result, the heat was transferred to the systems, causing the temperature to rise above the predetermined setpoints. Furthermore, the heating process without the control system showed that the temperature in the kettle continuously increased until it stabilized at 100°C. The heating process did not further increase the temperature because the boiling point of the water had been reached. The heat supplied to the system was used by the water as latent heat to convert the phase of the water from liquid to vapor [14].

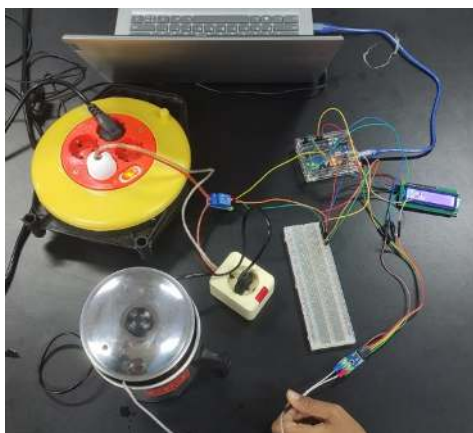


Figure 2. Circuit Design Implementation of The System of Relay-Controlled Brewing Process using Arduino

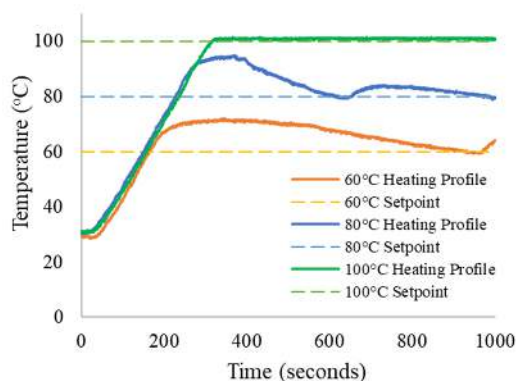


Figure 3. Water Heating Profile in Electric Kettle

The Analysis of Sensory Evaluation

The samples of green tea extracts produced are presented in Figure 4, which consists of the samples: (A) 60C-3min, (B) 80C-3min, (C) 100C-3min, (D) 60C-6min, (E) 80C-6min, and (F) 100C-6min, from left to right, respectively. The results of the sensory evaluation are presented in Table 4. The highest score for the criterion of taste was obtained by the sample of 80C-6min. Meanwhile, the highest scores for the criterion of aroma and color were obtained by the sample of 100C-3min.

The results showed that the combination of extraction time and temperature affected the taste of the green tea extract. Higher extraction temperatures increased the taste score of the green tea extract, likely due to the higher solubility and diffusion of green tea components into the water [17], except for the sample of 100C-6min. The lower score obtained by the sample of 100C-6min is likely due to the over-extraction of green tea components, which caused the taste to become more astringent and bitter. The astringent and bitter taste of the tea is attributed to the presence of caffeine, tannin, and catechins.

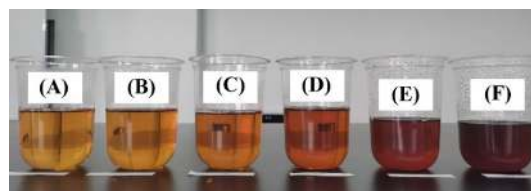


Figure 4. Green Tea Extract Produced by Various Brewing Times and Temperatures

The higher extraction temperature also increased the overall scores for the aroma of the green tea extracts. This is likely due to the higher concentration of green tea components extracted into the water [18], which affects the aroma of the green tea extract produced. However, in this study, the panelists' preferences leaned more towards the 100C-3min sample compared to the 100C-6min sample.

Table 4. Sensory Evaluation Results

Alternatives	The Average Score of Sensory Evaluation		
	Taste	Aroma	Color
60C-3min	5.27±1.39	5.33±0.82	6.07±1.28
80C-3min	6.20±1.01	6.00±1.20	7.13±1.13
100C-3min	6.60±1.84	7.87±1.06	7.53±0.64
60C-6min	6.27±1.10	6.27±1.22	6.67±1.40
80C-6min	6.87±1.06	7.07±1.10	7.27±1.10
100C-6min	6.07±2.69	7.40±1.45	5.87±1.51

The higher extraction temperature and longer extraction time also affected the panelists'

preference for the color of the green tea extracts. The scores varied for all alternatives, but the sample of 100C-6min had the lowest color score. This result is likely due to the over-extraction of green tea components, caused by the longest extraction time and highest extraction temperature, which led to a significant increase in color intensity. As a result, the color of the green tea extract of 100C-6min was the darkest compared to the other alternatives. Furthermore, the color intensity is also affected by the conversion of tannin into theaflavin and thearubigin [19]. The excess evaporation of water due to longer heating times at the boiling point also contributed to the increase in color intensity of the product.

Decision-making on The Sensory Evaluation Results Using ROC and SAW

The sensory evaluation results presented in the previous sub-chapter show different scores for the taste, aroma, and color of green tea extracts across all alternatives. Therefore, decision-making methods were implemented to obtain the final decision on the most preferred green tea extract. In this study, Rank Order Centroid (ROC) was implemented as the weighting method for the criteria, while Simple Additive Weighting (SAW) was used as the decision-making tool for the alternatives.

Table 5. The Weight Calculation of Criteria by ROC

Criterion	Weight Calculation by ROC
Taste	$\frac{1+1+1}{2+3} = 0.611$
Aroma	$\frac{0+1+1}{2+3} = 0.278$
Color	$\frac{0+0+1}{3} = 0.111$

The first step of the decision-making process was carried out by determining the weight of the criteria of taste, aroma, and color using ROC, which describes their priority rank. In this study, the priority rank of the criteria was obtained through the interview with an expert in the field of agro-industrial engineering. The final conclusion for the priority rank of the criteria is Taste > Aroma > Color. Thus, the calculations of the weight of each criterion are presented in Table 5.

The next step was creating a normalized decision matrix from the data of sensory evaluation results in Table 4. The values of max xij for the criteria of taste, aroma, and color are 6.87, 7.87, and 7.53, respectively. Thus, the calculations were performed based on equation (3), and the result of the normalized decision matrix is presented in Table 6.

Table 6. Normalized Decision Matrix

Alternatives	Normalized Value of Criterion		
	Taste	Aroma	Color
60C-3min	0.77	0.68	0.81
80C-3min	0.90	0.76	0.95
100C-3min	0.96	1.00	1.00
60C-6min	0.91	0.80	0.88
80C-6min	1.00	0.90	0.96
100C-6min	0.88	0.94	0.78

The normalized decision matrix is further processed for the calculation of the preference score for each alternative using equation (4). The results of the calculation are presented in Table 7. The sample of 100C-3min obtained the highest preference score (Vi) with a value of 0.976. This is due to (1) the highest scores for aroma and color and (2) an excellent score for taste obtained by the sample of 100C-3min compared to the other alternatives.

Although the taste score obtained by the sample of 80C-6min is higher than that of the sample of 100C-3min, the difference is quite small and does not significantly affect the final result of the preference score.

Table 7. Final Preference Score (Vi) Calculation for Alternatives

Alternatives	Normalized Value and Weight of Criterion			Final Preference Score (Vi)
	Taste	Aroma	Color	
	0.611	0.278	0.111	
60C-3min	0.77	0.68	0.81	0.746
80C-3min	0.90	0.76	0.95	0.869
100C-3min	0.96	1.00	1.00	0.976
60C-6min	0.91	0.80	0.88	0.877
80C-6min	1.00	0.90	0.96	0.968
100C-6min	0.88	0.94	0.78	0.888

CONCLUSION

Green tea extracts were successfully produced by (1) a system of relay-controlled brewing process and (2) a brewing process without implementing the control system. The results of the sensory evaluation showed that the highest score for the criterion of taste was obtained by the sample of 80C-6min, while the highest scores for the criterion of aroma and color were obtained by the sample of 100C-3min. The decision-making process using ROC and SAW concluded that the most preferred green tea extract was obtained by the sample of 100C-3min. However, it should be noted that the results of future studies may vary due to differences in the source of the green tea and the equipment used. Further studies should also examine the effect of the control system on the physicochemical

properties of the product and its involvement in the decision-making process.

ACKNOWLEDGEMENT

The first author extends gratitude to all students who enrolled in the Agro-Industrial Process Control Engineering (Teknik Pengendalian Proses Agroindustri) course for the 2022/2023 academic year in the Agricultural Industrial Technology (Teknologi Industri Pertanian) study program at the Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Appreciation is extended for your curiosity, active participation, dedication, and collaboration. May you always be blessed with valuable progress in life and an unyielding enthusiasm to attain your aspirations and navigate life's journey. Looking forward to the next opportunity for collaboration with all of you!

REFERENCES

- [1] S. Pujilestari and I. Agustin, "Mutu permen keras dengan konsentrasi ekstrak teh hijau yang berbeda," *KONVERSI*, vol. 6, no. 2, pp. 55-64, 2017.
- [2] R. Anindita, T. R. Soeprbowati, and N. H. Suprapti, "Potensi teh hijau (*Camelia sinensis* L.) dalam perbaikan fungsi hepar pada mencit yang diinduksi Monosodium glutamat (MSG)," *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, vol. 20, no. 2, pp. 15-23, 2012.
- [3] N. S. Palupi, D. Hunaefi, and N. Susanto, "Optimasi ekstraksi teh hijau berdasarkan kandungan polifenol, aktifitas antioksidan, dan profil sensori," *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, vol. 8, no. 2, pp. 87-98, 2021.
- [4] H. A. Aziz, A. D. S. Novaldi, and C. Budihartanti, "Application of the Simple Additive Weighting (SAW) and Rank Order Centroid (ROC) methods in the selection of outstanding students at SMK Al-Huda Sadananya," *JISICOM Journal of Information System, Informatics and Computing*, vol. 7, no. 1, pp. 1-14, 2023.
- [5] Mesran, T. M. Diansyah, and Fadlina, "Implementasi metode Rank Order Centroid (ROC) dan Operational Competitiveness Rating Analysis (OCRA) dalam penilaian kinerja dosen komputer menerapkan (studi kasus: STMIK Budi Darma)," in *Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, Sept. 2019, Sumatera Utara, Indonesia, pp. 1-8. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.30645/senaris.v1i0.89>. [Accessed: Sept. 11, 2024].
- [6] E. A. Panjaitan and Y. Desnelita, "Implementasi metode Rank Order Centroid dan Additive Ratio Assessment dalam penilaian kinerja dosen," in *Seminar Nasional Informatika (SENATIKA)*, June 2021, Sumatera Barat, Indonesia, pp. 1-8. [Online]. Available: <https://www.ejournal.pelitaindonesia.ac.id/ojs32/index.php/SENATIKA/article/view/1186>. [Accessed: Sept. 11, 2024].
- [7] Irwan, I. M. Pandiangan, and Mesran, "Penerapan kombinasi metode ROC dan TOPSIS pemilihan karyawan terbaik untuk rekomendasi promosi jabatan," *JURIKOM Jurnal Riset Komputer*, vol. 9, no. 4, pp. 1151-1159, 2022.
- [8] Frieyadie, "Penerapan Metode Simple Additive Weighting (SAW) dalam Sistem Pendukung Keputusan Promosi Kenaikan Jabatan," *Jurnal Pilar Nusa Mandiri*, vol. 7, no. 1, pp. 37-45, 2016.
- [9] D. M. Utama and T. Baroto, "Penggunaan SAW untuk analisis proses perebusan kedelai dalam produksi tempe," *Agrointek*, vol. 12, no. 2, pp. 90-98, 2018.
- [10] Y. D. Savitri, H. Sulaiman, and I. Marfu'ah, "Sistem pendukung keputusan pemilihan roti dengan kualitas terbaik menggunakan algoritma Simple Additive Weighting (SAW)," *JKRT Jurnal Rekayasa Komputasi Terapan*, vol. 2, no. 3, pp. 135-142, 2022.
- [11] S. Lestari, "Penerapan kombinasi metode Simple Additive Weighting (SAW) dan Rank Order Centroid (ROC) dalam keputusan pemberian kredit," *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 3, no. 4, pp. 371-375, 2019.
- [12] E. W. Sihombing, D. L. Gaol, W. T. L. Gaol, and M. Saputra, "Penerapan metode SAW (Simple Additive Weighting) dan ROC (Rank Order Centroid) dalam pemilihan siswa-siswa berprestasi di SMP Negeri 44 Medan," *InfoSys Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 52-62, 2021.

- [13] I. G. I. Sudipa and I. A. D. Puspitayani, "Analisis sensitivitas AHP-SAW dan ROC-SAW dalam pengambilan keputusan multikriteria," *International Journal of Natural Sciences and Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 1-9, 2019.
- [14] B. S. Pratama, N. A. Az-Zahra, G. C. N. Sihombing, A. Laksono, A. Silaban, B. L. Pratama, A. V. Siagian, "Implementasi AHP dan Weighted Product untuk preferensi organoleptik produk teh melati dari proses penyeduhan berbasis kontrol relay," *METROTECH Journal of Mechanical and Electrical Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 126-135, 2023.
- [15] A. Riantono, B. Teguh, and R. A. Koestoer, "Kalibrasi sensor temperatur Termokopel Tipe-K dan DS18B20 pada temperatur es mencair dan air mendidih sistem dengan akuisisi data (DAQ) berbasis Arduino," in *Prosiding SNTTM XVIII*, 2019, pp. 1-6.
- [16] F. Febriyanto and I. Rusi, "Penerapan metode Simple Additive Weighting dalam sistem pendukung keputusan pemilihan smartphones," *IJCIT Indonesian Journal on Computer and Information Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 67-74, 2020.
- [17] S. Chadijah, Musdalifah, M. Qaddafi, and Firnanelty, "Optimalisasi suhu dan waktu penyeduhan daun teh hijau (*Camellia sinensis* L.) P+3 terhadap kandungan antioksidan kafein, katekin, dan tanin," *Bencoolen Journal of Pharmacy*, vol. 1, no. 1, pp. 59-65, 2021.
- [18] N. Mutmainnah, S. Chadijah, and M. Qaddafi, "Penentuan Suhu dan Waktu Optimum Penyeduhan Batang Teh Hijau (*Camelia Sinensis* L.) Terhadap Kandungan Antioksidan Kafein, Tanin, dan Katekin," *Lantanida Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 1-11, 2018.
- [19] I. R. Prabawati, "Karakteristik teh berbahan dasar teh hijau, kulit lidah buaya dan jahe dengan variasi komposisi dan suhu penyeduhan," Bachelor mini-theses, Universitas Jember, Jember, Indonesia, 2015.

Petunjuk Umum

Panjang maksimal sebuah jurnal ilmiah adalah 6 - 8 halaman dengan penulisan spasi tunggal, *justify*, huruf Times New Roman ukuran 10 point *reguler* dan format penulisan kolom *double*. Artikel ilmiah menggunakan kertas ukuran A4 (210 x 297 mm) dengan penulisan batas tepi kiri, atas, kanan, dan bawah, secara berurutan masing-masing adalah 3 cm, 2.5 cm, 2.5 cm, dan 2.5 cm. Batas kepala dan kaki area tulisan (*header* dan *footer*) adalah 1.5 cm dan 1.3 cm. Permulaan alinea ditulis menjorok ke dalam 1 cm. Semua istilah asing dicetak miring (*italic form*).

Petunjuk Penulisan

Petunjuk penulisan antara lain sebagai berikut:

1. Judul Jurnal Ilmiah

Memberi gambaran penelitian yang telah dilakukan. Berisi maksimal 15 kata. Times New Roman 11, spasi 1, spacing after 6 pt dan ditebalkan (*Bold*) (Style Judul)

2. Nama penulis

- Nama penulis tanpa menggunakan gelar, ditulis di bawah judul. Jarak antara judul dan nama penulis diberi satu spasi kosong, dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt, Bold (Style Penulis)
- Nama program studi dan fakultas (nama lembaga) ditulis di bawah nama penulis. Jarak antara nama penulis dan lembaga diberi satu spasi kosong, dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt, spacing after 6 pt (Style Keterangan Penulis).
- Email penulis pertama ditulis di bawah nama lembaga. Email ditulis dengan ukuran huruf Times New Roman 10 pt dan dicetak miring (*italics*). Jarak antara nama lembaga dan email spacing after 6 pt., dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt (Style Keterangan Penulis)..

3. Abstrak

Abstrak hanya satu paragraf maksimum 250 kata, memuat uraian singkat mengenai masalah dan tujuan penelitian, metode yang digunakan, dan hasil penelitian. Tekanan penulisan abstrak terutama pada hasil penelitian. Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Kata kunci perlu dicantumkan untuk menggambarkan ranah masalah yang diteliti dan istilah-istilah pokok yang mendasari pelaksanaan penelitian. Kata-kata kunci dapat berupa kata tunggal atau gabungan kata. Jumlah kata kunci 3-5 kata. Kata kunci ini diperlukan untuk komputersisasi. Pencarian judul penelitian dan abstraknya dipermudah dengan kata-kata kunci tersebut. Pengetikan abstrak dilakukan dengan spasi tunggal, huruf Times New Roman 10, spacing before 12 pt, after 2 pt (Style Abstrak).

4. Pendahuluan

Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, dan tujuan. Dukungan teori tidak perlu dimasukkan pada bagian ini, tetapi penelitian sejenis yang dilakukan dapat dinyatakan. Pengetikan menggunakan huruf Times New Roman 10, spasi 1, spacing before 12 pt, after 2 pt.

5. Metode penelitian

Pada dasarnya bagian ini menjelaskan bagaimana penelitian itu dilakukan. Materi pokok bagian ini adalah : (1) rancangan penelitian; (2) populasi dan sampel (sasaran penelitian); (3) teknik pengumpulan data dan pengembangan instrumen; (4) dan teknik analisis data. Untuk penelitian menggunakan alat dan bahan, perlu dituliskan spesifikasi alat dan bahannya. Spesifikasi alat menggambarkan kecanggihan alat yang digunakan sedangkan spesifikasi bahan menggambarkan bahan yang digunakan.

Untuk penelitian kualitatif seperti penelitian tindakan kelas, etnografi, fenomenologi, studi kasus dan lain-lain, perlu ditambahkan kehadiran peneliti, subjek penelitian, informan yang ikut membantu beserta cara-cara menggali data-data penelitian, lokasi dan lama penelitian serta uraian mengenai pengecekan keabsahan hasil penelitian.

6. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan studi empiris atau teori interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak bisa mencapai 50% atau lebih.

7. Penutup

Bagian ini memuat kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran dapat dibuat dalam sub bagian terpisah. Kesimpulan menjawab tujuan, bukan mengulang teori, berarti menyatakan hasil penelitian secara ringkas. Saran merupakan penelitian lanjutan yang dirasa masih diperlukan untuk penyempurnaan hasil penelitian supaya berdaya guna. Penelitian tentunya tidak selalu berdaya guna bagi masyarakat dalam satu kali penelitian, tapi merupakan rangkaian penelitian yang berkelanjutan.

8. Daftar Pustaka

Bagian ini hanya memuat referensi yang benar-benar dirujuk. Dengan demikian, referensi yang dimasukkan pada bagian ini akan ditemukan tertulis pada bagian-bagian sebelumnya. Sistematika penulisannya adalah mengikuti format Mendeley dengan menggunakan style IEEE dengan menggunakan style daftar pustaka.

9. Penulisan persamaan

Penulisan persamaan dalam *font* Times New Roman atau *font* Symbol menggunakan ukuran 11 point dengan menuliskan Nomor Persamaan yang diletakkan di dalam kurung pada akhir margin kanan yaitu (1), (2) dan seterusnya. Nomor persamaan harus berurutan. Penulisan persamaan diberi jarak satu spasi pada sebelum dan sesudah penulisannya.

10. Penyajian Gambar dan Tabel

Nama Tabel ditulis di atas tabel pada sisi kiri dan bernomor urut dengan huruf tebal (*bold*). Antara Nama Tabel dan tabel tidak ada spasi. Tabel dibuat rata tengah, hanya terdiri dari tiga garis horisontal dengan ketentuan satu garis di atas tulisan kepala tabel dan satu garis yang mengapitnya, serta satu garis lagi berada pada bagian paling bawah dari isi tabel. Antara tabel dengan teks dibawahnya diberi jarak satu spasi, demikian juga sebelumnya.

Gambar dibuat rata tengah dengan Nomor Urut dan Nama Gambar diletakkan di bawah gambar. Jarak gambar dengan Nama Gambar adalah satu spasi, demikian juga dengan jarak antara Nama gambar dengan teks dibawahnya. Penulisan Nama Gambar dengan huruf tebal dan rata tengah. Jika Tabel atau Gambar diambil dari sumber lain atau bukan hasil penelitian penulis, harus dicantumkan sumber kutipannya.

Template Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung

JUDUL (Style Judul)

<Style normal : font 10 point, Line Spacing Single>

Nama penulis ¹, nama penulis² (Style Penulis)

¹ Program Studi, Fakultas, Universitas (Style Keterangan)

Alamat Universitas

² Program Studi, Fakultas, Universitas

Alamat Universitas

Email penulis ¹

<Style normal>

Abstrak (Style Abstrak: 10 pt, Bold)

<Style normal>

Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia, terdiri dari satu paragraf, memuat tujuan, metode penelitian yang digunakan dan hasil (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

Kata kunci : maksimum lima kata kunci. aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee. (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

***Abstract (10 pt, Bold)* (Style Abstrak: 10 pt, Bold, Italic)**

<Style normal>

Abstrak ditulis dalam Bahasa Inggris, satu paragraf, memuat tujuan, metode penelitian yang digunakan dan hasil. (Style Isi Abstrak :10 pt, Italic, Line Spacing Single)

<Style normal>

Key words : maksimum lima kata kunci. aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee. (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

PENDAHULUAN (SEMUA JUDUL BAB MENGGUNAKAN (STYLE JUDUL BAB))

Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, dan tujuan. Dukungan teori tidak perlu dimasukkan pada bagian ini, tetapi penelitian sejenis yang sudah dilakukan dapat dinyatakan. (Isi jurnal menggunakan (Style Isi Jurnal))

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan prosedur dan teknik penelitian. Antara satu penelitian dengan penelitian yang lain, prosedur dan tekniknya akan berbeda. Kalau tidak berbeda, berarti penelitian itu hanya mengulang penelitian yang sudah ada sebelumnya. Tapi bukan berarti harus berbeda semuanya. Untuk penelitian sosial misalnya, populasi penelitian mungkin saja sama, tapi teknik samplingnya berbeda, teknik pengumpulan datanya berbeda, analisis datanya berbeda, dan lain-lain. Mohon diuraikan dengan jelas, bukan hanya mengopi dari penelitian lain. Kalau mau disertakan penelitian yang dilakukan termasuk ke dalam

kategori penelitian yang mana, mohon diperhatikan dengan baik, jangan asal mengopi. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, dengan mencantumkan penomorannya menggunakan style sub bab.

Perumusan masalah (Style Sub Bab)

(Style isi jurnal) Penjelasan menggunakan

style isi jurnal.

Metode penelitian (Style Sub Bab)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengkaitkan studi empiris atau teori untuk interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak, bisa mencapai 50% atau lebih. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, tetapi tidak perlu mencantumkan penomorannya.

Jika menggunakan tabel, maka penulisannya seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Nama Tabel (Style Captiom)

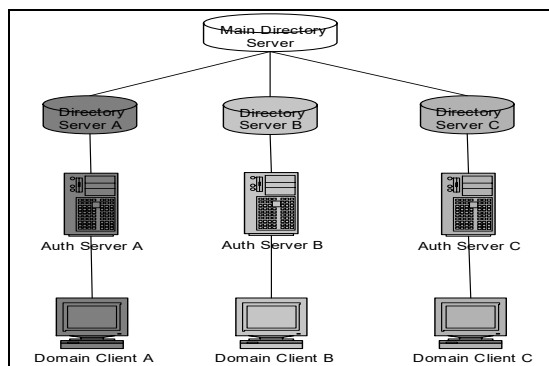
| Kolom 1 | Kolom 2 | Kolom 3 | Kolom 4 |
|---------|---------|---------|---------|
| | | | |

Sumber : xxxxxxxx

<Style normal>

Jika menggunakan gambar, maka penggambarannya dibuat sebagai berikut:

<Style normal>



(Style Posisi Gambar)

Gambar 1 Nama Gambar (Style Caption)

Rumus menggunakan (style Rumus) dengan bentuk sebagai berikut:

$Y=ax+bx$ (1)

Sitasi dan Daftar Referensi (style sub bab)

(Style isi jurnal) Penunjukan sitasi dengan menggunakan style IEEE. Tanda baca kalimat mengikuti tanda kurung [2]. Berbagai referensi [2], [3] masing-masing diberi nomor dengan kurung terpisah [1] - [3]. Saat mengutip bagian dalam buku, tolong berikan nomor halaman yang relevan. Dalam kalimat, merujuk hanya ke nomor referensi, seperti pada [3]. Jangan gunakan "Ref. [3]" atau "referensi [3]" kecuali pada awal kalimat: "Hossain [3] menunjukkan ..."

Catatan Kaki (style sub bab)

(Style isi jurnal) Cobalah untuk menghindari catatan kaki. Berikan semua nama penulis; jangan gunakan "et al." Gunakan spasi setelah inisial penulis. Makalah telah dikirimkan untuk publikasi atau yang belum diterima atau dipublikasikan tidak perlu dikutip. Makalah yang telah diterima untuk publikasi, tetapi belum ditentukan untuk masalah ini harus terdaftar sebagai "Dalam pers" [5]. Referensi adalah lekukan gantung 5mm.

KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan hasil dari pembahasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diperkenankan bagi penulis dengan memberikan ucapan terima kasih kepada lembaga yang membiayai penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

[13] Moghal A. A. B., Dafalla M. A., Elkady T. Y., and Al-Shamrani M.A., Lime Leachability Studies on Stabilized Expansive Semi-Arid Soil. International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 18, 2015, pp.1467-1471.

[14] Awal A.S.M.A, Hosseini H. and Hossain M.Z., Strength, Modulus of Elasticity and Shrinkage Behaviour of Concrete Containing Waste Carpet Fiber, International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 17, 2015, pp. 1441-1446.

[15] Hossain M.Z., For Chapter in a Book, Soil Mechics, 4th ed. Vol. 2, Sakai, Ed. Sankeisha Publisher's Name, Year, pp. 11-60.

[16] Author H., A Book New York Publisher, Year, pp.1-200.

[17] Annnn B., Unpublished Work but Accepted, Vol., Issue, Year.

[18] Kimura S., Journal Paper Title, J. of Computer Science, Vol. 1, Issue 2, 1987, pp. 23-49.

[19] Islam M.R., Conference proceedings, in Proc. 2nd Int. Conf. on GEOMATE, 2011, pp. 8-13.

[20] Hossain M.Z. and Awal A.S.M.A., Experimental Validation of a Theoretical Model for Flexural Modulus of Elasticity of Thin Cement Composite, Const. Build. Mat., Vol.25, No.3, 2011, pp.1460-1465.



MACHINE Jurnal Teknik Mesin

Alamat Redaksi :

Gedung Jurusan Teknik Mesin- Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung
Balunijuk, Kab. Bangka, Prov. Kep. Bangka Belitung
Laman : <https://journal.ubb.ac.id/index.php/machine>
e-Mail : mesinubb@yahoo.com

