

BUKU PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKNIK MESIN 2021

SEMNAS-TM



Inovasi Teknologi Konversi Energi dan Energi Terbarukan, Rekayasa Material, Mekatronika dan Robotika Dalam Menyongsong Revolusi Industri 4.0

Keynote Speaker :

- Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT.
Guru Besar Bidang Ilmu Material Manufaktur
Universitas Hasanuddin
- Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
Guru Besar Bidang Ilmu Rekayasa Termal
Universitas Hasanuddin
- Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT.
Dosen Bidang Konversi Energi
Universitas Brawijaya
- Dr. Yafet Bontong, ST.,MT.
Dosen Bidang Konstruksi Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja

Diselenggarakan Oleh :

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA TORAJA**

30 Desember 2021

Kampus 2 Universitas Kristen Indonesia Toraja

BUKU PROSIDING
Seminar Nasional Teknik Mesin UKI Toraja 2021

**“Inovasi Teknologi Konversi Energi dan Energi Terbarukan,
Rekayasa Material, Mekatronika dan Robotika Dalam
Menyongsong Revolusi Industri 4.0”**

Kampus II, Universitas Kristen Indonesia Toraja, 30 Desember 2021



Penerbit :
UKI Toraja Press

BUKU PROSIDING
Seminar Nasional Teknik Mesin UKI Toraja 2021
Kampus II, Universitas Kristen Indonesia Toraja, 30 Desember 2021

“Inovasi Teknologi Dan Konversi Energi dan Energi Terbarukan,
Rekayasa Material, Mekatronika dan Robotika Dalam Menyongsong
Revolusi Industri 4.0”

Pihak Penyelenggara :

Universitas Kristen Indonesia Toraja

Pihak Partisipan :

Universitas Hasanuddin (UNHAS), Universitas Cendrawasih (UNCEN), Politeknik
Fak—Fak, Papua Barat, Universitas Kristen Indonesia (UKI) Paulus, Universitas
Kristen Indonesia (UKI) Toraja.

Pembicara Utama :

Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T. (UNHAS)
Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT. (UNHAS)
Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. (UNIBRAW)
Dr. Yafet Bontong, ST., MT. (UKI Toraja)

Pengarah

Dr. Oktavianus Pasoloran, SE, M.Si, Ak. CA
Enos Lolang, S.Si, M.Pd.
Drs. Simon Ruruk, M.Hum
Ir. Yulius Pakiding, ST., MT.
Pdt. Hans Lura, M.Si

Penanggung Jawab :

Dr. Yafet Bontong, ST., MT.

Narasumber :

Nitha, ST., MT

Panitia Pelaksana :

Dr. Frans R. Bethony, ST., MT. (Ketua)

Formanto Paliling, ST., MT. (Sekretaris)

Ir. Petrus Sampelawang, MT. (Anggota)

Chendry Johan, ST., MT. (Anggota)

Nofrianto Pasae, ST., MT. (Anggota)

Milka Rante, ST., MT. (Anggota)

Sallolo Suluh, ST., MT. (Anggota)

Bidang IT : Lery Alfriany Salo, ST., MT.

Yulianus M. Rombeallo, SH., MH.

Reviewer Eksternal:

Prof. Dr. Ir. Luther Sulle, MT

Dr. Obet T. Ranteallo, MT

Reviewer Internal:

Dr. Yafet Bontong, ST., MT.

Dr. Frans R. Bethony, ST., MT.

Ir. Petrus Sampelawang, MT.

Nitha, ST., MT.

Sallolo Suluh, ST., MT.

Editor :

Dr. Yafet Bontong, ST., MT.

Dr. Frans R. Bethony, ST., MT.

Ir. Petrus Sampelawang, MT.

Nitha, ST., MT.

Sallolo Suluh, ST., MT.

Penerbit :

UKI Toraja Press

Alamat :

Jalan Nusantara No. 12, Makale, Kab. Tana Toraja, Sulawesi Selatan, Indonesia

Email : publikasidanpresukitoraja@gmail.com

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga Seminar Nasional Teknik Mesin 2021 dengan tema “Inovasi Teknologi Konversi Energi dan Energi Terbarukan, Rekayasa Material, Mekatronika dan Robotika Dalam Menyongsong Revolusi Industri 4.0” dapat diselenggarakan. Seminar nasional ini terdiri dari hasil penelitian yang mencakup beberapa bidang antara lain Konversi Energi, Konstruksi Mesin, Komposit, Metalurgi, dan Industri. Melalui seminar nasional ini, kami mengharapkan para peneliti dan mahasiswa dari institusi perguruan tinggi, praktisi industri dan pemerintah dapat meningkatkan kolaborasi dan membangun sinergitas yang nyata dalam inovasi di era disrupsi dan implementasi yang efisien dan efektif dalam rangka menyongsong Revolusi Industri 4.0.

Artikel ilmiah pada prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin UKI Toraja 2021 dilakukan seleksi dalam dua tahap: 1) seleksi abstrak untuk kegiatan seminar dan 2) seleksi makalah lengkap untuk prosiding daring. Pada seminar kali ini terdapat 11 makalah yang diseminarkan yang berasal dari berbagai institusi. Oleh karena itu, pada prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin UKI Toraja 2021 terdapat 11 artikel ilmiah, dengan perincian 45% pada Konversi Energi, 45% pada Konstruksi Mesin, Komposit, Metalurgi, dan 10% pada Industri.

Kami ucapkan terima kasih kepada segenap pihak yang telah mendukung kegiatan ini, para narasumber, peserta, praktisi dan panitia yang dengan penuh dedikasi telah bekerja mulai dari persiapan sampai pelaksanaan kegiatan seminar hingga penerbitan buku prosiding ini.

Semoga buku prosiding ini dapat memberikan manfaat bagi semua. Atas perhatian dan kerjasama yang baik diucapkan terima kasih.

Salam

Nitha, ST., MT.

Ketua Program Studi Teknik Mesin UKI Toraja

DAFTAR ISI

KONVERSI ENERGI [KE]		
KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KE-01	Kinerja Kincir Angin Sumbu Vertikal dengan Model Sudu Bengkot 90° Untuk Variasi Jumlah Sudu (2, 3, dan 4 sudu)	12-24
	Luther Sule, Frans Robert Bethoni, Gerald Duma	
KE-02	Studi Experimen Pompa Spiral Model Sudu Lengkung Variasi Jumlah Sudu 14, 16 Dan 18	25-33
	Petrus Sampelawang, Yulius Marampa Rombeallo, Wenny Kadang	
KE-03	Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe L 90°	34-39
	Dennis Lorens, Luther Sule, Corvis Tandirerung	
KE-04	Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Impeller Tipe Twin Pitched Blade Dengan Sudut Kemiringan 45 ⁰	40-45
	Nofrianto Pasae, Nitha, Yoel Lius Erd Pongpadatu	
KE-05	Analisis Kinerja Campuran Briket Arang Tempurung Kelapa Dengan Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Bakar Alternatif	46-53
	Sallolo Suluh, Harni Eirene Tarru, Yabas	

KONSTRUKSI MESIN, KOMPOSIT DAN METALURGI [KM]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KM-01	Integritas Permukaan Benda Kerja Aisi 316l pada Proses Bubut Keras	54-60
	Obed T Ranteallo, Fred Paballo	
KM-02	Analisa Pengaruh Geometri Pahat Variabel <i>Helix Angle</i> Pada Parameter Mesin Cnc <i>Milling</i> Vertikal Terhadap Nilai Getaran <i>Chatter</i> Menggunakan Metode <i>Stability Lobe Diagram</i>	61-69
	Festo Andre Hardinsil	
KM-03	Optimasi Kekuatan Tarik Material Komposit Dengan Anyaman Bilah Bambu Petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>) Sebagai Penguat	70-78
	Frans Robert Bethoni, Chendri Johan	
KM-04	Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanis Paduan Al 7si	79-84
	Milka, Yafet Bontong, Alfin Sanda La'bi	
KM-05	Analisa Permukaan Delaminasi Material Carbon Fiber Reinforced Polymer Dengan Variasi Permesinan Menggunakan Metode Taguchi	85-91
	Formanto Paliling	

INDUSTRI [TI]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
TI-01	Model Simulasi Perencanaan Pengiriman Bahan Baku Tepung Terigu Untuk Meningkatkan <i>Service Level</i>	92-99
	Lery Alfriany Salo	

PROFIL PEMBICARA UTAMA

Dalam rangka acara SNTM 2021 telah diselenggarakan sesi pembicara utama pada hari Kamis, 30 November 2021. Pukul 09.00 – 12.30 WITA. Acara tersebut dilaksanakan di Ruang Meeting Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesi. Empat pembicara telah hadir dan memberikan presentasinya dalam sesi Pembicara Utama SNTTM UH 2020 secara online.

Prof. Dr-Eng Andi Erwin Ekaputra, ST., MT



Guru Besar Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Beliau aktif sebagai dosen di bidang konversi energi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar. Beliau fokus pada bidang Ilmu Rekayasa Termal, untuk itu pada kesempatan Seminar Nasional kali ini beliau membawakan topik presentasi berjudul “Pengembangan Bio Energi Dari Limbah Organik Dengan Teknologi Termal”.

Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT



Guru Besar Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Beliau aktif sebagai dosen di bidang konstruksi mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beliau fokus pada bidang Ilmu Material Manufaktur, untuk itu pada kesempatan Seminar Nasional kali ini beliau membawakan topik presentasi berjudul ““Rekayasa Material Komposit Serat Alam Untuk Pengembangan Industri Manufaktur””.

Dr.Yafet Bontong, ST., MT



Dosen Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Toraja. Beliau aktif sebagai dosen di bidang konstruksi mesin Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Toraja. Beliau fokus pada bidang material konstruksi, untuk itu pada kesempatan Seminar Nasional kali ini beliau membawakan topik presentasi berjudul “Pengaruh Pack Carburizing Dengan Media Arang Tulang Kerbau Dan Baco3 Terhadap Komposisi Karbon Dan Case Depth Pada Baja Karbon”.

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT



Dosen Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Beliau aktif sebagai dosen di bidang konversi Energi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Beliau fokus pada bidang turbin, untuk itu pada kesempatan Seminar Nasional kali ini beliau membawakan topik presentasi berjudul “Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi”.

SUSUNAN ACARA SNTM UKI TORAJA 2021

30 Desember 2021

Ruang Meeting Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja

08.00 – 08.30 : Persiapan dan Registrasi

08.30 – 09.15 : Sambutan / Pembukaan

09.15 – 10.00 : Pembicara 1;

Prof. Dr-Eng Andi Erwin Ekaputra, ST., MT

*Dosen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Bidang Ilmu Rekayasa
Termal*

10.00 – 10.45 : Pembicara 2;

Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT

*Dosen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Bidang Material
Manufaktur*

10.45 – 11.30 : Pembicara 3;

Dr. Yafet Bontong, ST., MT.

*Dosen Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Toraja, Bidang
Konstruksi Mesin*

11.30 – 12.15 : Pembicara 4;

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT

Dosen Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Bidang Konversi Energi

PRESENTASI PAPER

Ruangan A (Konversi Energi)		
Moderator : Nofrianto Pasae, ST., MT		
13.00-13.15	Luther Sule, Frans Robert Bethoni, Gerald Duma Kinerja Kincir Angin Sumbu Vertikal dengan Model Sudu Bengkot 90° Untuk Variasi Jumlah Sudu (2, 3, dan 4 sudu)	Universitas Hasanuddin
13.15-13.30	Petrus Sampelawang, Yulius Marampa Rombeallo, Wenny Kadang Studi Experimen Pompa Spiral Model Sudu Lengkung Variasi Jumlah Sudu 14, 16 Dan 18	UKI Toraja
13.30-13.45	Dennis Lorens, Luther Sule, Corvis Tandirerung Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe L 90°	UKI Toraja/UKI Paulus
13.45-14.00	Nofrianto Pasae, Nitha, Yoel Lius Erd Pongpadatu Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Impeller Tipe Twin Pitched Blade Dengan Sudut Kemiringan 45°	UKI Toraja
14.00-14.15	Sallolo Suluh, Harni Eirene Tarru Analisis Kinerja Campuran Briket Arang Tempurung Kelapa Dengan Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Bakar Alternatif	UKI Toraja

Ruangan B (Konstruksi Mesin)		
Moderator : Formanto Paliling, ST., MT		
13.00-13.15	Obed T Ranteallo, Fred Paballo	UNCEN, Papua
	Integritas Permukaan Benda Kerja Aisi 316l pada Proses Bubut Keras	
13.15-13.30	Festo Andre Hardinsil	Politeknik Fak-Fak, Papua Barat
	Analisa Pengaruh Geometri Pahat Variabel <i>Helix Angle</i> Pada Parameter Mesin Cnc <i>Milling</i> Vertikal Terhadap Nilai Getaran <i>Chatter</i> Menggunakan Metode <i>Stability Lobe Diagram</i>	
13.30-13.45	Frans Robert Bethoni, Chendri Johan	UKI Toraja
	Optimasi Kekuatan Tarik Material Komposit Dengan Anyaman Bilah Bambu Petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>) Sebagai Penguat	
13.45-14.00	Milka, Yafet Bontong, Alfin Sanda La'bi	UKI Toraja
	Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanis Paduan Al 7si	
14.00-14.15	Formanto Paliling	UKI Toraja
	Analisa Permukaan Delaminasi Material Carbon Fiber Reinforced Polymer Dengan Variasi Permesinan Menggunakan Metode Taguchi	

Ruangan C (Teknik Industri)		
Moderator : Milka Rante, ST., MT		
13.00-13.15	Lery Alfriany Salo	UKI Toraja
	Model Simulasi Perencanaan Pengiriman Bahan Baku Tepung Terigu Untuk Meningkatkan <i>Service Level</i>	

PROSIDING MAKALAH LENGKAP SNTM 2021

**[KE-01] Kinerja Kincir Angin
Sumbu Vertikal dengan Model
Sudu Bengkok 90°
Untuk Variasi Jumlah Sudu (2, 3,
dan 4 sudu)**

Luther Sule^{1*}, Frans Robert Bethoni²,
Gerald Dum³

¹³Departemen Teknik Mesin, Fakultas
Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar
²Jurusan Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
E-mail: luther.sule@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang kincir angin sumbu vertikal yang dapat memanfaatkan energi angin secara maksimal. Penelitian ini dilakukan dengan merancang dan menguji kincir angin sumbu vertikal tipe sudu bengkok 90° yang terdiri dari 2,3 dan 4 sudu dengan kecepatan angin yang berbeda untuk setiap jenis kincir yaitu dari 1,6 m/s sampai 4,2 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° mampu memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik dengan koefisien power (C_p) maksimal yaitu untuk 2 sudu $C_p = 0,28$ pada kecepatan angin 3,4 m/s. Untuk kincir angin 3 sudu $C_p = 0,40$ pada kecepatan angin 2,2 m/s. Dan Untuk kincir angin 4 sudu $C_p = 0,25$ pada kecepatan angin 2,4 m/s. Ketiga kincir tersebut mengalami penurunan koefisien power seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s. Hasil pengujian dan analisis perhitungan menunjukkan bahwa kincir angin dengan sudu 3

mempunyai unjuk kerja yang tinggi dibandingkan dengan kincir dengan 2 sudu dan 4 sudu hal ini karena posisi sudu yang tidak simetris menjadikan gaya hambat negatif relatif kecil dan jarak antara sudu yang satu dengan lainnya terhadap poros sudu kincir mempunyai kerenggangan yang menjadikan aliran dapat mengalir dan menerpsudu lainnya dan ini akan meningkatkan gaya momen pada sudu sehingga aliran turbulensi yang pada kincir sudu relatif kecil.

Kata kunci: kincir angin, tipe sudu bengkok 90°, jumlah sudu, koefisien power.

Abstract

This study aims to design a vertical axis windmill that can utilize wind energy optimally. This research was conducted by designing and testing a vertical axis windmill with a bent blade type of 90° consisting of 2,3 and 4 blades with different wind speeds for each type of turbine, from 1.6 m/s to 4.2 m/s. The results showed that the vertical axis windmill with 90° blade type was able to convert wind energy into electrical energy with a maximum power coefficient (C_p) for 2 blades $C_p = 0.28$ at a wind speed of 3.4 m/s. For a 3 blade windmill, $C_p = 0.40$ at a wind speed of 2.2 m/s. And for a 4-blade windmill, $C_p = 0.25$ at a wind speed of 2.4 m/s. The three windmills experienced a decrease in the coefficient of power along with the increase in wind speed up to a wind speed of 4.2 m/s. The test results and calculation analysis show that the windmill with 3 blades has high performance compared to turbines with 2 and 4 blades, this is because the

asymmetrical position of the blades makes the negative drag force relatively small and the distance between the blades is one with the other to the axis. The blades of the blades have a slack that allows the flow to flow and other blades and this will increase the moment force on the blades so that the turbulent flow in the blade turbines is relatively small.

Keywords: *windmill, 90° bent blade type, number of blades, power coefficient.*

I. PENDAHULUAN

Manusia telah menggunakan energi angin selama 5.500 tahun lamanya dan seiring perkembangan zaman, energi angin terus digali potensinya. Saat ini, potensi energi angin banyak menyita perhatian peneliti yaitu dengan wujud nyata pemanfaatan energi di era pemanasan global berupa turbin dan kincir angin.

Potensi energi angin di Indonesia berdasarkan data BMKG yaitu rata-rata kecepatan angin di Indonesia 10,28 m/s (Sumber: www.bmkg.go.id). Oleh karena itu diperlukan sistem konversi energi angin (SKEA) yang sesuai dengan profil kecepatan angin di Indonesia.

Untuk memanfaatkan Energi angin tersebut digunakan kincir angin yang saat ini banyak digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Kincir angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Prinsip dasar kerja dari kincir angin untuk pembangkitan listrik adalah mengubah energi mekanik dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir

digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan listrik.

Salah satu jenis kincir angin adalah kincir Angin Sumbu Vertikal memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah kincir tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan energi listrik. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. Kincir angin sumbu vertikal mampu memanfaatkan angin dari berbagai arah serta memiliki kemampuan *self-starting* yang bagus, sehingga hanya membutuhkan angin dengan kecepatan rendah untuk dapat memutar rotor dari turbin angin ini. Selain itu, torsi yang dihasilkan kincir angin jenis sumbu vertical relative tinggi.

Penelitian ini difokuskan pada kincir angin sumbu vertikal karena kincir angin ini dapat bekerja dengan baik dengan profil kecepatan angin di Indonesia yang rendah dan fluktuatif. Efisiensi kincir angin sumbu vertikal memang cukup rendah apabila dibandingkan dengan kincir angin lainnya, namun jenis VAWT ini memiliki beberapa keunggulan antara lain pabrikasi yang sederhana, dapat menerima angin dari segala arah dan tidak memerlukan komponen perlindungan terhadap kecepatan putar tinggi (*overspeed rotation*). Selain itu juga memiliki starting torsi yang baik dan kemampuan self-start yang baik untuk kecepatan angin yang rendah sehingga memiliki performansi yang baik untuk pembangkitan skala kecil.

Untuk mendapatkan efisiensi yang baik, telah dilakukan beberapa jenis

modifikasi yang diantaranya adalah penambahan *fin*, modifikasi pada geometri dan bentuk profil sudu, penambahan jumlah stage, penggunaan valve, dan lain sebagainya.

Dalam penelitian ini digunakan kincir angin sumbu vertikal dengan pengembangan bentuk sudu menjadi tipe sudu bengkok 90°.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen, yaitu dengan melakukan pengamatan atau pengukuran terhadap variabel yang ditentukan untuk mengetahui kemampuan kerja kincir angin sumbu vertical tipe sudu bengkok 90 ° dengan memvariasikan jumlah sudu yaitu 2, 3 dan 4.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Universitas Hasanuddin Makassar pada April – Mei 2020 dengan perancangan kincir angin sumbu vertical tipe sudu bengkok 90° yang dikerjakan di bengkel Gowa.

2.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tiga macam variabel yaitu variabel bebas, terikat dan variabel kontrol.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variasi perlakuan yang diberikan pada kincir angin dimana pada penelitian ini adalah variabel bebasnya adalah variasi kecepatan angin dari 1,6 m/s sampai 4,2 m/s dan variasi jumlah sudu yaitu 2, 3, 4.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel hasil, untuk penelitian ini variabel terikatnya adalah:

- a) Daya Poros dari kincir angin sumbu vertical tipe sudu 90°
- b) Torsi Yang dihasilkan kincir angin sumbu vertical tipe sudu 90°
- c) Efisiensi yang di dapatkan

2.4. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan pengukuran kecepatan angin menggunakan Anemometer dimana kecepatan angin di ukur dari blower untuk setiap percobaan dari 1,6 m/s sampai 4,2 m/s, Tachometer yang digunakan untuk mengukur putaran poros tiap menit (rpm) untuk setiap percobaan dengan kecepatan angin yang berbeda, dan pengukuran daya keluaran generator dengan menggunakan multimeter dimana yang terukur adalah arus dan tegangan DC.

2.5. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Anemometer*, *Tachometer*, *blower* (kipas angin), timbangan, mesin bor, bor tangan, pemotong plat, gergaji, gurinda tangan, kikir, obeng, tang, amplas, dan alat perkakas bengkel lainnya yang dibutuhkan.

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tripleks ukuran 0,5 mm, lem kayu, bearing diameter dalam 10 mm, poros diameter 10 mm, rangka/dudukan dan dempul.

2.6. Prosedur Kerja

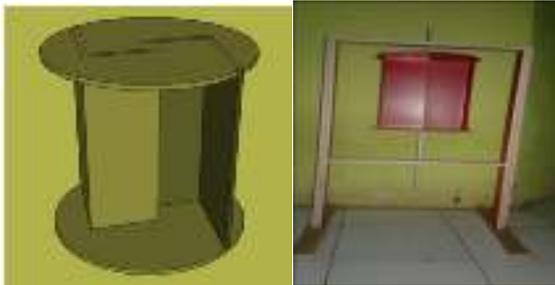
1. Tahap Persiapan

- a. Menyiapkan alat dan bahan penelitian yang akan digunakan

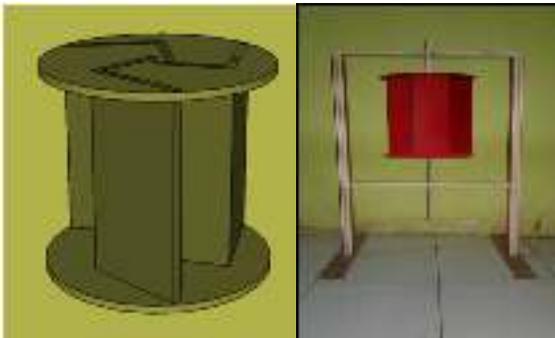
- Menyusun /membuat rangkaian kincir angin savonius sudu lengkung
- Menyiapkan variasi sudu lengkung 2, 3 dan 4.
 - Menyusun rangkaian kincir angin savonius tipe lengkung dengan variasi sudu 2, 3 dan 4.
 - Perancangan kincir angin savonius tipe lengkung dengan variasi sudu 2,3 dan 4.



Gambar 1. Model Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu bengkok 90° dengan 2, 3 dan 4 sudu



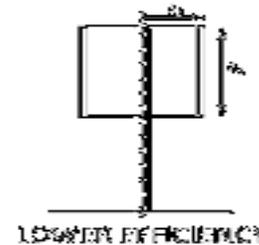
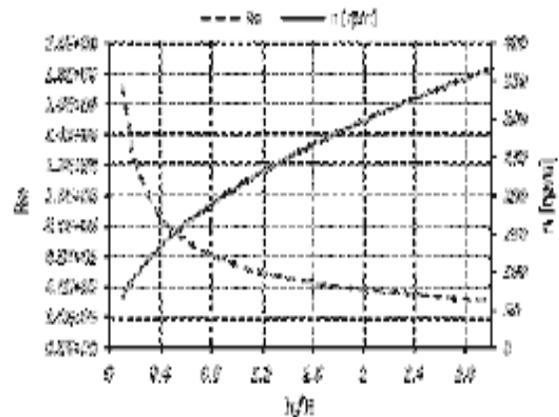
Gambar 2. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu 90° 2 sudu



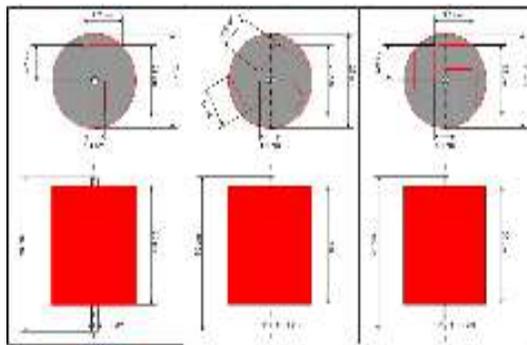
Gambar 3. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu 90° 3sudu



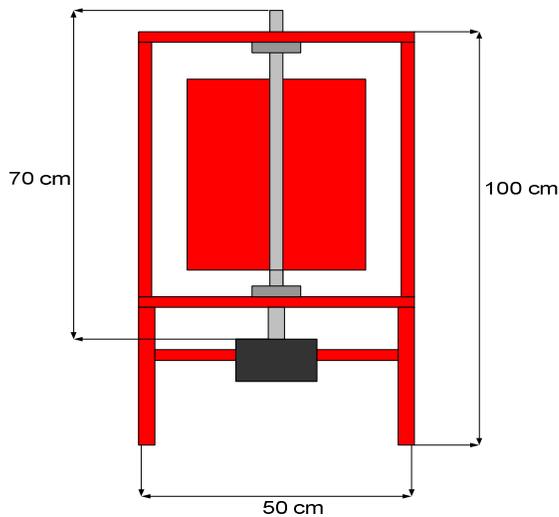
Gambar 4. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu 90° 4sudu



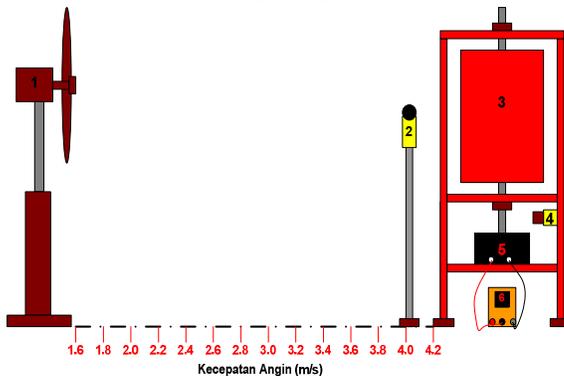
Gambar 5. Pengaruh aspek rasio (h / R) = 2,8 pada kinerja VAWT



Gambar 6. Dimensi Model Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu 90° dengan 2,3,4 sudu



Gambar 7. Dimensi Rangka dan poros Kincir Angin Savonius kelengkungan 90°



Gambar 8. Desain penelitian
Keterangan:

1. Kipas angin
2. Anemometer
3. Kincir Angin kelengkungan 90°
4. Tachometer
5. Generator DC
6. Multimeter



Gambar 9. Rangkaian penelitian

2.7. Tahap Percobaan

- a. Menghidupkan *blower* (kipas angin)
- b. Mengatur kecepatan angin pada *blower* (kipas angin)
- c. Pengukuran putaran poros kincir angin dengan digital *tachometer*, penangkap *Sensor tachometer* dipasang pada poros kincir angin tepatnya di bawah puli dan mencatat hasilnya.

- d. Pengukuran kecepatan angin menggunakan *anemometer* langsung dipegang oleh penguji yang mengambil posisi berdekatan perangkat alat uji tetapi tidak menghalangi aliran angin ke sudukincir angin dan mencatat hasilnya
- e. Pengukuran tegangan dan arus keluaran generator DC dengan menggunakan multimeter
- f. Melakukan pengujian untuk setiap sudu yang berbeda yaitu 2, 3 dan 4 sudu.

2.8. Teknik Pengolahan Analisis Data

Teknik pengolahan data dilakukan dengan model penyajian seperti dalam bentuk tabel dan grafik, dimana data dihitung menggunakan rumus.

2.9. Performasi Rotor Kincir Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Beberapa peneliti telah banyak melakukan pengujian dan pengembangan untuk meningkatkan performasi rotor Savonius. Ada beberapa parameter yang menentukan performasi dari rotor Savonius, diantaranya adalah:

- 1. Rasio overlap (*overlap ratio*)
- 2. Aspek rasio (*aspect ratio*)
- 3. Jumlah *bucket*
- 4. Tingkatan *bucket*

Menurut Budi dan Mukhtar, karakteristik teoritis kincir angin savonius dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini:

- a. Daya angin

Daya yang dihasilkan dari konversi energi angin oleh kincir angin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan angin. Adapun daya yang dihasilkan kincir angin dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- P_A = daya angin (*watt*)
- ρ = densitas udara (kg/m^3)
- A = luas penampang turbin (m^2)
- v = kecepatan udara (m/s)

- b. Pengujian Daya Generator

Sebagaimana telah disebutkan, bahwa shaft dari turbin angin akan dikoneksikan dengan generator DC untuk dapat diukur tegangan yang dihasilkan dan menghitung daya yang dihasilkan dengan persamaan

$$P_{\text{generator}} = V \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- $P_{\text{generator}}$ = Daya generator listrik (*Watt*)
- V = Tegangan generator listrik (*Volt*)
- I = Arus listrik (*Ampere*)

- c. Brake horse power (BHP)

$$BHP = \frac{P_{\text{generator}}}{\eta_{\text{generator}}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- BHP = *Brake Horse Power* (*W*)
- $P_{\text{generator}}$ = Daya generator listrik (*W*)
- $\eta_{\text{generator}}$ = Efisiensi generator listrik(*%*)

- d. Torsi (T)

$$T = \frac{BHP}{2\pi n/60} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- T = Torsi (*Nm*)
- BHP = *Brake Horse Power* (*Watt*)

N = Putaran Poros (rpm)

e. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan ujung vane dengan kecepatan angin yang melewatinya. TSR merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan hubungan antara kecepatan angin dengan rata-rata putaran dari kincir angin. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah-ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Turbin angin tipe lift memiliki TSR yang lebih besar dibanding dengan turbin angin tipe drag. Adapun persamaan untuk memperoleh harga besaran ini adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v_w} \dots(2.5)$$

Keterangan :

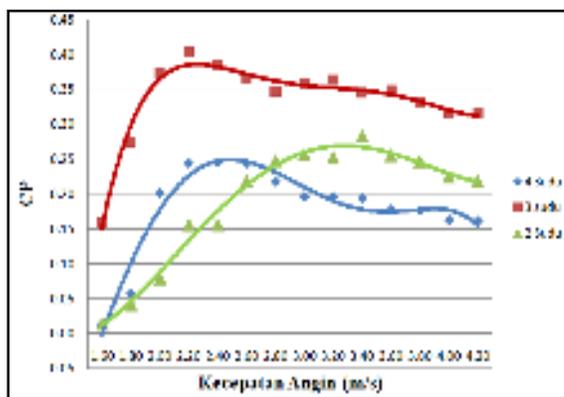
λ = tip speed ratio

ω = kecepatan sudut turbin (rad/s)

R = jari-jari turbin (m)

v_w = kecepatan angin (m/s)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 10. Grafik hubungan antara Kecepatan angin terhadap Koefisien Daya

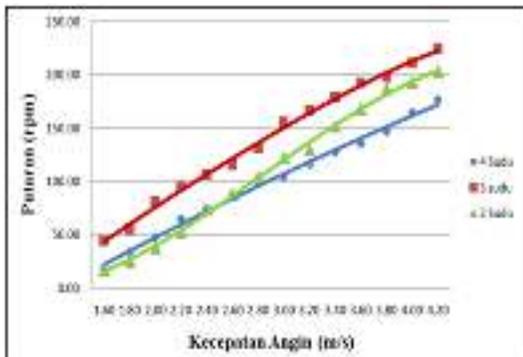
Dari gambar 10 dapat kita lihat hubungan antara kecepatan angin terhadap koefisien power, dimana semakin meningkatnya

kecepatan angin maka kenaikan BHP semakin besar. Hal ini dikarenakan koefisien power merupakan perbandingan antara BHP dengan daya angin. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut yaitu $C_p = \frac{BHP}{P_{Angin}}$.

Pada gambar 10 Dapat kita lihat bahwa pada kincir dengan 3 sudu mempunyai nilai koefisien power yang lebih tinggi dibandingkan dengan kincir 2 sudu dan 4 sudu. Untuk kincir angin 2 sudu koefisien power optimum diperoleh adalah 0,28 pada kecepatan angin 3,4 m/s dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s.

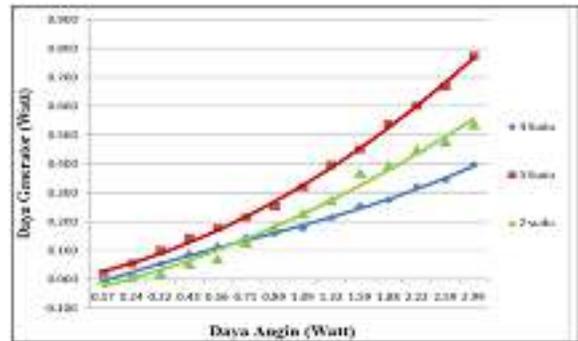
Untuk kincir angin 3 sudu koefisien power optimum yang diperoleh adalah 0,40 pada kecepatan angin 2,2 m/s dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s. Dan Untuk kincir angin 4 sudu koefisien power optimum yang diperoleh adalah 0,25 pada kecepatan angin 2,4 m/s dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s.

Terjadinya penurunan koefisien energy dikarenakan, kenaikan daya poros yang tidak sebanding dengan daya angin yang semakin besar, semakin tinggi kecepatan angin maka losses yang terjadi juga akan semakin besar yang mengakibatkan nilai koefisien power yang dihasilkan juga semakin menurun.



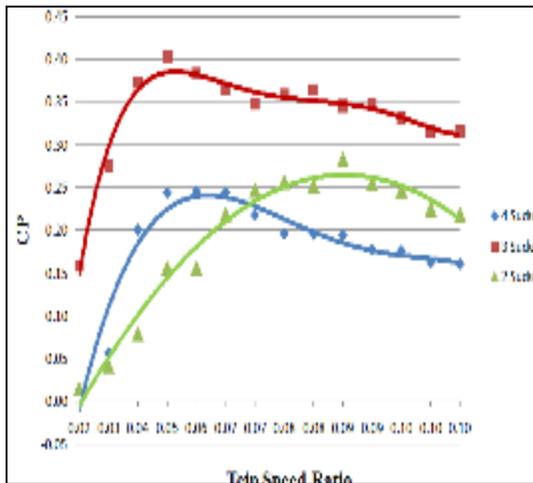
Gambar 11. Grafik hubungan kecepatan angin dan Putaran Kincir angin

Dari Gambar 11. ditunjukkan bahwa kincir angin tipe sudu 90° dengan jumlah sudu 3, memiliki nilai Rpm yang lebih baik, dibandingkan dengan kincir angin dengan jumlah sudu 2 dan 4. Hal ini disebabkan karena pada kincir angin dengan jumlah sudu ganjil besarnya tumbukan angin terhadap returning blade lebih kecil sehingga menghasilkan torsi negative yang lebih kecil yang menyebabkan kincir dapat berputar secara maksimal. Pada kincir sudu genap kincir angin dengan 2 sudu memiliki nilai rpm yang lebih baik dari 4 sudu. Hal ini disebabkan karena jumlah sudu juga berpengaruh terhadap massa kincir dimana kincir dengan 4 sudu memiliki massa yang lebih besar sehingga nilai rpm nya lebih rendah dari pada kincir dengan 2 sudu.



Gambar 12. Grafik hubungan Daya Input (Kinetik Angin) dengan Daya Generator

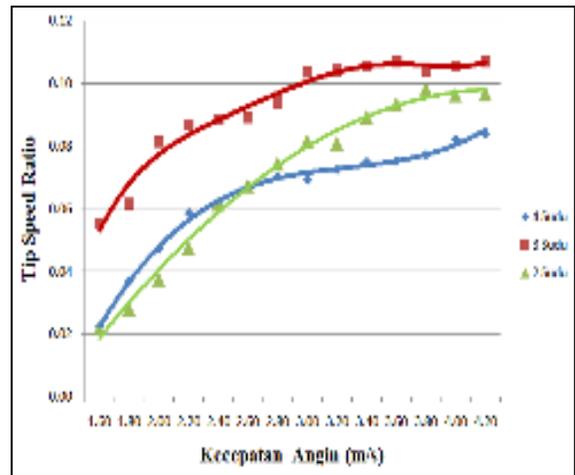
Dari Gambar 12. dapat diamati, bahwa kincir angin kelengkungan 90° dengan 3 sudu mampu mengekstraksi daya angin menjadi daya generator (*output*) lebih baik dibandingkan dengan kincir angin 2 dan 4 sudu. Hal ini dikarenakan kincir angin 3 sudu memiliki nilai rpm yang lebih tinggi dibandingkan dengan kincir 2 sudu dan 4 sudu. Dimana daya yang dapat di capai kincir angin kelengkungan 90° pada kecepatan 4,2 m/s (daya angin 2,99 Watt) adalah untuk 2 sudu daya keluaran generator = 0,537 Watt, untuk 3 sudu daya keluaran generator = 0,774 watt dan untuk 4 sudu daya keluaran generator = 0,395 Watt.



Gambar 13. Grafik hubungan tip speed ratio dengan Cp

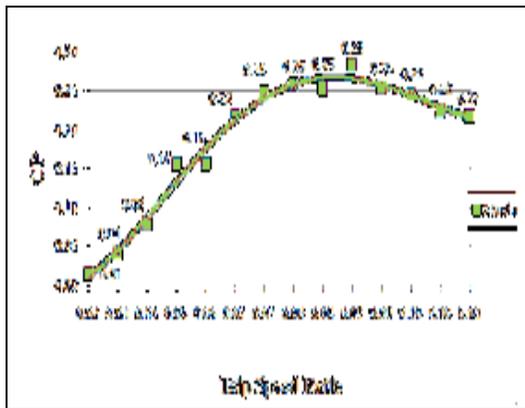
Dari Gambar 13. Dari hasil analisis data menunjukkan bahwa kincir angin dengan 3 sudu memiliki nilai koefisien power yang jauh lebih baik di bandingkan dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu. Hal ini dikarenakan kincir angin 3 sudu mamapu menangkap daya angin dengan baik hal ini disebabkan karena tumbukan angin terhadap returning blade jauh lebih kecil sehingga menghasilkan torsi negative yang jauh lebih kecil yang menyebabkan kincir 3 sudu dapat berputar secara maksimal dan menghasilkan daya output yang lebih besar di banding dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu.

Dimana untuk 2 sudu koefisien power tertinggi = 0,28 pada kecepatan angin 3,4 m/s, untuk 3 sudu koefisien power tertinggi = 0,40 pada kecepatan 2,2 m/s dan untuk 4 sudu koefisien power tertinggi = 0,25 pada kecepatan 2,4 m/s.

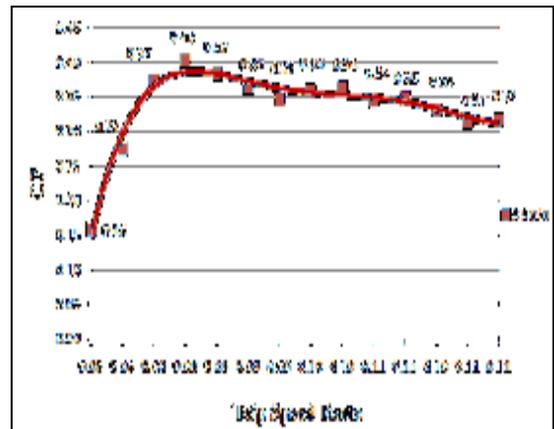


Gambar 14. Grafik hubungan kecepatan Angin dan tip speed ratio

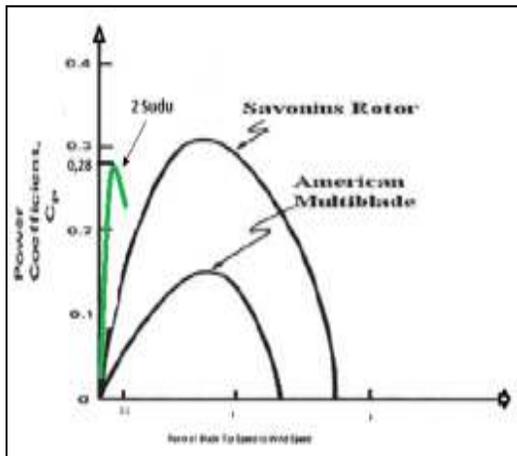
Pada Gambar 14 nilai TSR memiliki *trend* yang sama dengan Rpm. Karena, TSR dalam hal ini memberikan arti perbandingan kecepatan output (rotor) dengan kecepatan input (angin) atau dengan kata lain TSR sebanding dengan Rpm. Semakin mendatarnya grafik nilai TSR pada kecepatan angin besar, disebabkan karena karakteristik savonius yang kurang mampu mengkonversi angin dengan kecepatan angin tinggi. Berdasarkan grafik dan data hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai TSR dari kincir angin 3 sudu jauh lebih baik di bandingkan dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu. Dimana untuk 2 sudu TSR tertinggi = 0,1, untuk 3 sudu TSR tertinggi = 0,11 dan untuk 4 sudu TSR tertinggi 0,8.



Gambar 15. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu

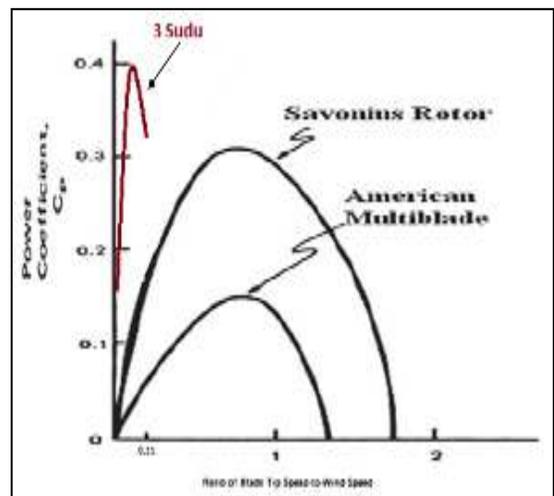


Gambar 17. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu



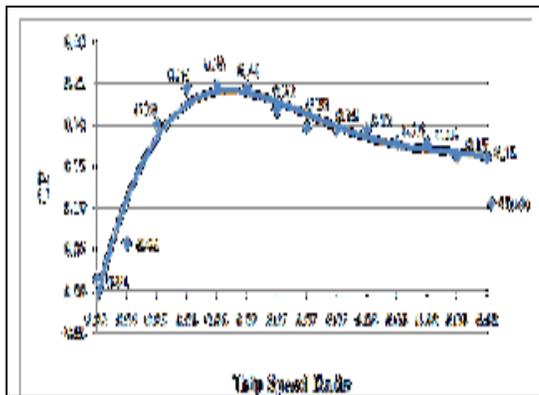
Gambar 16. Grafik Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu , Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika Multiblade

Dari gambar 15 dan 16 dapat di simpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin savonius jauh lebih baik dibandingkan dengan kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu dan kincir angin American Multiblade. Kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu nilai koefisien powernya lebih baik dari kincir angin American Multiblade. Tetapi nilai TSR kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° paling rendah dari kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade.

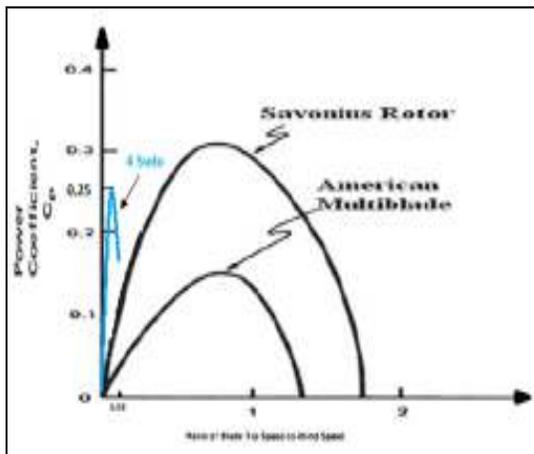


Gambar 18. Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu, Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika Multiblade

Dari gambar 17 dan 18 dapat di simpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu jauh lebih baik dibandingkan dengan kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade. Tetapi nilai TSR kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu paling rendah dari kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade.



Gambar 19. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° empat sudu



Gambar 20. Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° empat sudu , Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika Multiblade.

Dari gambar 20 dapat di simpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin savonius jauh lebih baik dibandingkn dengan kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° empat sudu dan kincir angin American Multiblade. Kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° nilai koefisien powernya lebih baik dari kincir angin American Multiblade. Tetapi nilai TSR kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° paling rendah dari kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Rancangan kincirangin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu memiliki nilai koefisien power yang lebih baik dibandingkan dengan kincir angin savonius dan kincir angin American multiblade dn dapat digunakan pada kecepatan angin mulai dari 1m/s.
2. Desain dari kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dengan perbandingan aspek rasio (h / R) = 2,8 mampu mencapai koefisien power yang lebih tinggi dibandingkan dengan kincir angin savonius dan kincir amerikan multiblade dimana kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu mampu mencapai koefisien power sekitar 0,4 diatas kincir angin savonius yang memiliki koefisien power sekitar 0,3.
3. Kincir Angin sumbu vertikal tipe sudu 90° mampu memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik dengan kemampuan maksimal yaitu untuk 2 sudu kemampuan maksimal nya yaitu 28% pada kecepatan angin 3,4 m/s, untuk 3 sudu kemampuan maksimal nya yaitu 40% pada kecepatan 2,2 m/s dan untuk 4 sudu kemampuan maksimal nya yaitu 25 % pada kecepatan ngin 2,4 m/s dengan demikian bahwa 3 sudu memiliki kinerja yang jauh lebih baik di bandingkan dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] Altan B.D. “*An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining*“. Experimental Thermal and Fluid Science 32 (1673–1678), 2008.
- [2] Bahri S.W., Taufan A.A., dan Hamdani. “*Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Empat Sudu Lengkung L*“. Universitas Samudra Langsa Kampus Meurandeh Langsa & Universitas Syiah Kuala, 2014. SNTMUT - 2014 ISBN: 978-602-70012-0-6.
- [3] Bayu, M., Rudy S., dan Djoko S. “*Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L*“. Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- [4] Dewi Marizka Lustia. “*Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin*“. Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 2010.
- [5] Golecha, K., Eldho, T.I., Prabhu, S.V.” *Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine. Applied Energy*”.2011.
- [6] Haydarul H., Gunawan N. dan Ali M. ”*Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Jumlah Blade Terintegrasi Circular Shield untuk Memperoleh Daya Maksimum*”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Jurnal Teknik Pomits Vol. 7, No. 7, (1-6) 2013.
- [7] Hendra A. “*Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius*“. Universitas Brawijaya, 2012.
- [8] Khan, M.J. “*Hydrokinetic Energi Conversion Systems And Assessment of Horizontal and Vertikal Axis Turbines for River and Tidal Applications: A Technology Status Review*” Power System Technologies, Canada, 2009.
- [9] Maolana I., dan Agus S. “*Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Drag Untuk Pompa Aerasi Kolam Ikan*“. Politeknik Indramayu, 2012.
- [10] Melda L. ”*Efisiensi Prototipe Turbin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah*”. Padang: Universitas Andalas, 2013. Jurnal Rekayasa Elektriika Vol. 10, No. 3.
- [11] Rizkiani I., Kamiran, dan Subchan. “*Analisis dan Simulasi Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik Menggunakan Metode Feedback Linearization Control*”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2012. Jurnal Sains Dan Seni Its Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) Issn: 2301-928x.

- [12] Sargolzaei, J. “*Prediction of The Power Ratio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks*”. Zahedan: Baluchestan University, 2007. *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 1, No. 2.
- [13] Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N. “*Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius Dan Windside Untuk Penerangan Jaln Tol*”. Bandung: ITB, 2007.
- [14] Soelaiman. “*Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius*”. *Majalah Ilmiah STTR, Cepu*, 2006.
- [15] Sumiati R. “*Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang*”. Padang: Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang Vol. 1, No. 1. 2012.
- [15] White, F.M. “*Mekanika Fluida, Jilid 2, Edisi Kedua*”. Jakarta: Erlangga, 1986.

[KE-02] STUDI EXPERIMEN POMPA SPIRAL MODEL SUDU LENGKUNG VARIASI JUMLAH SUDU 14, 16 DAN 18

Petrus Sampelawang^{1*}, Yulianus Marampa Rombeallo², Wenny Kadang³

¹²Jurusan Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
³Mahasiswa Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
*Email : sampelawangp@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan air sangat penting untuk kehidupan manusia menjadikan sumber keperluan kebutuhan sehari-hari. Ketersediaan air sangat sulit di dapatkan, di sebabkan sulitnya mengalirkan air dari suatu tempat ke tempat yang lebih tinggi. Oleh karena itu perlunya pompa untuk mendistribusikan air

Metode pengujian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan menggunakan pompa spiral dengan variasi jumlah sudu lengkung 14, 16, dan 18 untuk mengetahui debit aliran daya pompa, dan efisiensi pompa.

Hasil penelitian menunjukkan pompa spiral dengan variasi jumlah sudu yang paling unggul didapatkan pada sudu 18 dengan daya sebesar 162,42 Watt, torsi pompa spiral sebesar 51,50Nm dan efisiensi pompa sebesar 8,4%.

Kata kunci: *pompa spiral 14 ,16 dan 18 sudu lengkung , daya torsi dan efisiensi*

ABSTRACT

The need for water is very important for human life as a source of daily needs. The availability of water is very difficult to get, due to the difficulty of draining water from one place to a higher place. Hence the need for a pump to distribute water

The test method used is an experimental method using a spiral pump with variations in the number of curved blades 14, 16, and 18 to determine the pump power flow rate, and pump efficiency.

The results showed that the spiral pump with the most superior variation in the number of blades was found in the 18 blades with a power of 162.42 Watt, a spiral pump torque of 51.50Nm, and pump efficiency of 8.4%.

Keywords: spiral pump 14,16 and 18 curved blades, torque power, and efficiency

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan air sangat penting untuk kehidupan manusia menjadikan sumber keperluan kebutuhan sehari-hari. Keperluan yang sering biasa dilakukan atau yang membutuhkan air seperti memasak, mencuci, makan dan minum. Bahkan kebutuhan air sangat dibutuhkan untuk keperluan industri. Akan tetapi ketersediaan air saat ini sering kali sulit untuk di dapatkan, salah satu faktor yang disebabkan yaitu sulitnya mengalirkan air dari suatu tempat ke tempat lainnya yang lebih tinggi.

Untuk menanganinya kita memerlukan sebuah instalasi pompa yang dapat mengalirkan air dari tempat rendah ke tempat yang lebih tinggi. Saat ini sudah banyak pompa air yang beredar di pasaran dan sangat banyak sekali jenisnya, namun meskipun demikian, pompa - pompa yang beredar tersebut pada umumnya membutuhkan energi listrik untuk tenaga sebagai penggerakannya. Hal ini sering kali menjadi kendala bagi warga yang tinggal di beberapa daerah yang tidak mendapat pasokan listrik dari PLN, seperti daerah dataran tinggi pegunungan yang sulit untuk mengalirkan ke atas seperti di daerah pacitan, gunung kidul, malang dan daerah sekitarnya yang sulit mengalirkan air dari sumber air ke atas dan sehingga dibutuhkan sebuah instalasi pompa yang bisa bekerja tanpa menggunakan energi listrik. Pompa hidram merupakan salah satu jenis pompa yang tidak membutuhkan energilistrik karena memanfaatkan tekanan udara dan tekanan air itu sendiri sebagai tenaga penggerakannya. Metode yang di gunakan pada sistem pompa hydram ada 2 yaitu pompa hydram konvensional dan pompa hydram bentuk spiral. Pada pompa hydram konvensional terbuat dari bahan besi yang bisa menaikkan air hingga mencapai ketinggian 200 m lebih. Utomo, M Arifianto. 2015. Pengaruh Ketinggian Bak Penangkap Air dan Panjang Pipa Masuk Terhadap Head Pump pada Pompa Hidram. Akan tetapi, harganya sangat mahal

dalam biaya pembuatannya sehingga kurang begitu cocok untuk ekonomi masyarakat yang sulit kekurangan air seperti daerah pelosok dataran tinggi.

Pompa hidram bentuk spiral yang secara ekonomis lebih murah biaya pembuatan, serta ramah lingkungan dan cocok untuk warga sekitar pelosok dataran tinggi. Penelitian sebelumnya yaitu yang dilakukan oleh M. Rasyad 2015 dari Pamekasan tentang perencanaan dan pembuatan pompa spiral sistem injeksi udara yang bisa menaikkan air sampai dengan ketinggian 10 m dengan biaya yang relatif lebih murah dan terjangkau. Dari Penelitian sebelumnya tersebut penulis akan melakukan penelitian lanjutan dengan variabel torsi hidram roda penggerak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Mesin Fluida

Mesin fluida adalah mesin yang berfungsi untuk merubah energi mekanis menjadi energi potensial atau sebaliknya mengubah energi fluida (energi kinetik dan energi potensial) menjadi energi mekanis.

Dalam hal ini fluida yang dimaksud berupa cair, gas, dan uap. Salah satu mesin fluida yang di kembangkan adalah turbin. Turbin adalah penggerak dimana energi fluida kerja diperlukan langsung untuk memutar roda turbin sehingga menjadi tenaga mekanis, yang selanjutnya dapat diubah menjadi tenaga listrik.

Secara umum mesin-mesin fluida dapat dibagi dua bagian besar yang pertama mesin tenaga dimana mesin fluida yang berfungsi mengubah energi fluida (energi potensial dan energi kinetik) menjadi energi mekanis poros. Contohnya turbin, kincir air, dan kincir angin. Yang kedua mesin kerja dimana mesin yang berfungsi mengubah energi mekanis poros menjadi energi fluida (energi fluida dan energi kinetik). Contohnya pompa, kompresor, dan kipas (fan).

Pada saat ini diperkirakan sekitar 10% dari tenaga yang dihasilkan diseluruh dunia diperoleh dari beberapa jenis turbin ataupun kincir air yang mempunyai mesin-mesin daya bervariasi karena murah dan dianggap ramah terhadap lingkungan.

2. Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui pipa dari suatu tempat ketempat lain. Dalam menjalankan fungsinya tersebut, pompa mengubah energi mekanis poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida.

Pompa air juga dipakai untuk membawa air dari sumber air, dipindahkan ke lokasi terdekat untuk untuk irigasi, mandi atau pengolahan limbah, atau untuk mengevakuasi air dari lokasi tak diinginkan.

Gaya gravitasi bumi menyebabkan suatu cairan mengalir dari tempat lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah, sebaliknya apabila kita ingin mengalirkan suatu cairan dari suatu tempat yg lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi tentunya di perlukan suatu alat yaitu pompa.

Pompa secara sederhana dapat didefinisikan sebagai alat transportasi fluida cair. Namun teknologi sekarang sudah jauh berkembang dimana mulai diperkenalkan pompa yang multi-fasa, yang dapat memompa cair dan gas.

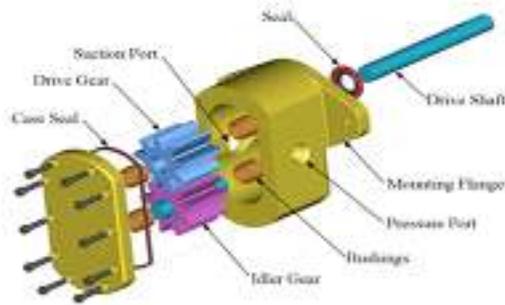
Jenis - Jenis Pompa

Pada dasarnya, prinsip kerja pompa dalam melakukan yakni dengan cara memberi gaya tekan terhadap fluida. Berikut ini adalah pembagian pompa berdasarkan dari prinsip perubahan bentuk energi yang dihasilkan.

1. Pompa rotari

Sebagai ganti pada proses lewatnya cairan pada pompa sentrifugal, pompa rotari tersebut akan bekerja merangkap cairan, mendorongnya melalui rumah pompa yang tertutup. Pompa rotari mampu mengeluarkan cairan dengan aliran yang lancar atau smooth. Jenis dari pompa rotari adalah

- a) Pompa roda gigi luar
- b) Pompa roda gigi dalam
- c) Pompa sekrup atau *screw pump*
- d) Pompa cuping atau *lobe pump*
- e) Pompa baling geser atau *van pump*

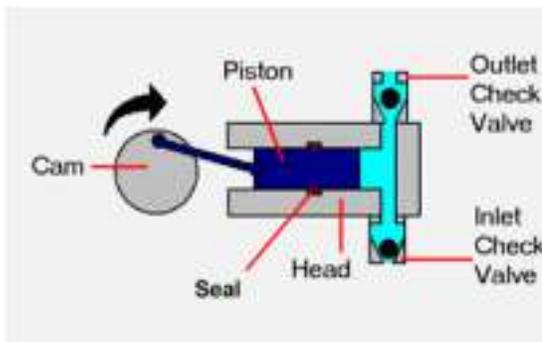


Gambar 1. Teknis Pompa Rotari

Sumber: [google.com/BrightHubEngineering](https://www.google.com/BrightHubEngineering)

2. Pompa torak atau piston

Pompa torak mampu mengeluarkan cairan dalam jumlah yang jumlahnya terbatas selama pergerakan piston pada sepanjang langkahnya. Volume air yang di pindahkan selama satu langkah piston akan bisa sama dengan perkalian luas piston dan panjang langkah. Berdasar dari cara kerja pompa torak bisa dibagi menjadi pompa torak kerja tunggal dan pompa torak kerja ganda. Berdasar dari jumlah silinder ganda,



Gambar 2. Pompa Torak/ Piston

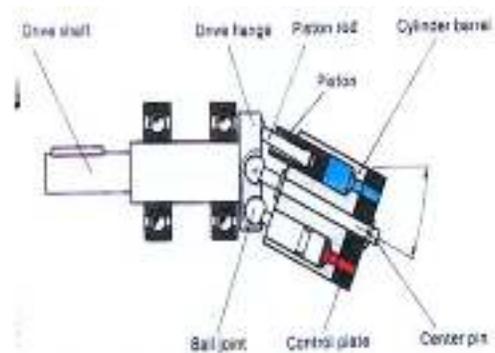
Sumber: [google.com/ScienceDirect.com](https://www.google.com/ScienceDirect.com)

3. Bent – axis pump

Pompa yang mempunyai suatu elemn utama yaitu sebuah motor dengan sudut impeler yang berputar dengan kecepatan tinggi. Selanjutnya fluida yang masuk dipercepat oleh impeller yang akan menaikkan kecepatan fluida ataupun tekanannya lalu melemparkan keluar dari volut. Jenis dari

pompa antara lain adalah : pompa radial, pompa aksial (propeller), pompa *mixed flow* (aliran campuran). Proses pada pompa jenis ini :

- a) Pada bagian diantara sudut impeller dengan fluida energi mekanis alat penggerak akan diubah menjadi energi kinetik fluida.
- b) Sedangkan pada volut fluida akan diarahkan ke arah pipa tekan / buang dan sebagian energi kinetik fluida lalu diubah menjadi energi tekan.



. Gambar 3. Gambar Pompa Torak/ Piston

Sumber: [google.com/EducationalRevolution](https://www.google.com/EducationalRevolution)

4. Pompa Spiral

Pompa Spiral adalah alat sederhana yang digunakan untuk menaikkan air dengan memanfaatkan tenaga arus sungai. Prinsip kerja pompa ini, sekali lagi, tidaklah terlalu rumit. Air yang masuk dalam selang plastik, pada saat proses penyidukan oleh moncong selang atau corong yang di pasang pada ujung selang, akan bergerak sepanjang selang yang di pasang pada kincir air bentuk spiral. Seiring pompa berputar akan ada udara yang masuk keselang pada saat pompa tidak dalam posisi menggayng air, ini menimbulkan kolom-kolom air dalam selang. Kolom-kolom ini bergerak disepanjang lilitan selang kemudian mengalir menuju saluran output melalui rotary joint dan menuju ke bak *v-noth*.

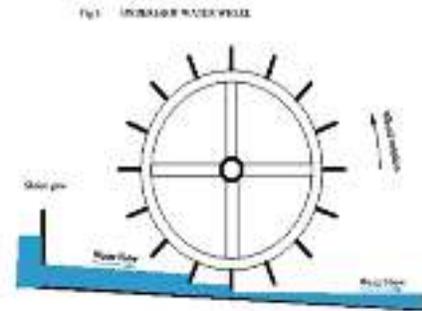
Bersamaan dengan air, udara yang masuk kedalam selang tertekan oleh air

semakin mendekati saluran keluaran, tekanan yang dihasilkan akan semakin besar setelah air keluar maka udara yang tertekan akan mengembang dan mendorong air yang berada di atasnya. Tekanan dalam saluran semakin mendekati bak v-notch maka tekanan akan semakin berkurang, karena udara telah keluar bersama dengan air. Air yang diselingi udara inilah yang menghasilkan tekanan kuat hingga mampu memompakan air hingga 7 sampai 10 meter. pada poros rotasi dengan mesin. Pompa *Wirtz* dirancang berupa lilitan sehingga pada setiap pompa berputar mengayung setengah dari volume lilitan. Disetiap aliran air dalam pipa terdapat udara yang terhisap dan menekan air, dengan cara ini air dalam lilitan pipa memberikan tekanan pada udara yang terjadi dalam lilitan sehingga memberikan tekanan air pada pompa.

Pompa spiral adalah sebuah pompa yang tidak memerlukan bahan bakar minyak ataupun listrik sebagai sumber tenaga penggerak, karena dalam pengoperasiannya pompa spiral digerakan oleh arus aliran air sungai. Semakin deras aliran arus air sungai semakin besar pula tekana yang di hasilkan. Pompa spiral memiliki beberapa kelebihan, yaitu: dapat bekerja secara kontinyu, mudah dalam pengoperasiannya relatif mudah dalam pembuatannya.

Pompa spiral terdiri atas badan pompa, lilitan selang, poros penggerak, sambungan mampu putar, poros penopang, bering, pipa saluran output. Badan pompa berfungsi untuk melilitkan selang yang digunakan untuk mengambil air masuk. Poros penggerak berfungsi untuk menggerakkan pompa sehingga pompa dapat berputar. Poros penopang berfungsi untuk menopang pompa agar pompa tidak bergerak atau bergeser. Sambungan mampu putar dan bering berfungsi sebagai penyangga poros yang berputar agar tetap berputar stabil.

Pompa spiral pertama kali ditemukan pada tahun 1746 oleh H.A Wirtz Zurich, Swiss. Pompa spiral *Wirtz* dibuat dengan melilitkan pipa. Dalam lilitan pipa tersebut terdapat rangkai yang dihubungkan



Gambar 4. Teknis Wheel Spiral Pump
Sumber:google Global Humanity.com/

3. Rumus–rumus yang digunakan

Setelah didapatkan data-data pengujian yang diinginkan, maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui karakteristik pompa spiral, efisiensi kombinasi pompa spiral dengan turbin air, dan fenomena yang terjadi. Adapun parameter yang akan dihitung adalah :

1. Debit Aliran Air Sungai (Q_s)

Debit dapat didefinisikan sebagai volume air yang mengalir setiap detik (m^3/s), dimana debit aliran air dapat dicari dengan persamaan berikut ini.

$$Q_s = V \cdot A_{\text{sudu}} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$A_{\text{sudu}} = p \times l \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : Q_s : debit air sungai (m^3/s)

V : kecepatan aliran (m/s),

A : luas penampang sudu (m^2)

p : panjang (m)

l : lebar (m),

2. Debit Aliran Pompa (Q_p)

Debit pompa dapat didefinisikan sebagai volume air yang mengalir melalui pompa setiap detik (m^3/s), debit aliran pompa dapat dicari dengan persamaan berikut ini.

$$Q_p = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana Q_p : debit pompa (m^3/s)

V : Volume aliran (m^3)

t : waktu (s)

3. Kecepatan Aliran Pompa (V_p)

Kecepatan aliran pompa dapat didefinisikan sebagai jarak per detik (m/s), dimana kecepatan aliran air dapat dicari dengan persamaan berikut ini.

$$V_p = \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot D^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

- V_p : kecepatan aliran pompa (m/s)
- Q_p : debit pompa (m³/s)
- D : diameter

4. Daya Air (P_A)

Dapat di distribusikan dalam variabel kecepatan dengan rumus sebagai berikut.

$$P_A = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- P_A : Daya air (Watt)
- ρ : Rho
- g : gaya gravitasi bumi (m/s²)
- Q : debit aliran air (m³/s)
- H : ketinggian (m)

5. Efisiensi pompa spiral (η_{cp})

Efisiensi pompa spiral merupakan perbandingan antara daya mekanik (P_p) dengan daya air (P_A).

$$\eta_{cp} = \frac{P_p}{P_A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

- Dimana : η_{cp} : efisiensi pompa spiral (%)
- P_p : output pompa spiral
- P_A : daya air (watt)

6. Head Dinamis Pompa Spiral (H_D)

Head dinamis pompa spiral dapat diartikan sebagai suatu besaran spesifik dari tekanan air di atas titik referensi tertentu yang ditunjukkan berupa ketinggian permukaan air. Head pompa dapat dicari dengan menurunkan persamaan daya pompa berikut.

$$H_D = \frac{V_p^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(2.7)$$

- Dimana : H_d : head efektif pompa (m)
- V_p^2 : kecepatan aliran pompa (m/s)
- g : gaya gravitasi bumi (m/s²)

7. Head statis (H_s)

Yaitu selisih evaluasi tinggi permukaan aliran sungai dengan oblet pompa.

$$P_p = \rho \cdot Q_p \cdot g \cdot H_s \dots\dots\dots(2.8)$$

- Dimana : P_p : daya pompa (Pt),
- H_s : head statis spiral (m),
- ρ : masa jenis air (kg/m³),
- Q_p : debit keluaran pompa spiral (m³ /s),
- g : percepatan gravitasi bumi (m/s²).

8. Head efektif (H_p)

$$H_p = h_D + h_s$$

- Dimana : H_p : head pompa spiral (m)
- h_D : head dinamis pompa (m)
- h_s : head efektif air (m)

10. Kecepatan Aliran Air Sungai (V_s)

Kecepatan aliran sungai dapat di artikan sebagai jarak tempuh air per detik (m/s), di mana kecepatan air dapat di lihat dengan persamaan berikut ini.

$$V = \frac{l}{t} \dots\dots\dots(2.9)$$

- Dimana: V : kecepatan air sungai (m/s)
- l : jarak alir pelampung (m),
- t : waktu alir pelampung (s)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan merancang bangun instakansi pompa untuk pengambilan data debit, kecepatan aliran dengan variasi sudu 14,15 dan 16. Selanjutnya dilakukan perhitungan sehingga dapat di analisis daya, torsi dan efisiensi pompa yang dihasilkan. Adapun alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat dibawah ini :

Alat yang digunakan yaitu:

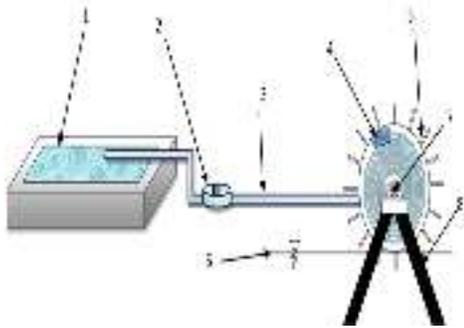
1. Gergaji besi
2. Bor besi
3. Peralatan las
4. Mur
5. Baut
6. Meter
7. Volume meter
8. Tachometer

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan yaitu:

1. Selang (1,5 inci)
2. Besi segi empat (3x3 cm)
3. Besi siku (3x3 cm)
4. Pipa besi (2 inci)
5. Sambungan pipa
6. Pipa pvc
7. Mepel atau gardan yang kedap udara
8. Cat

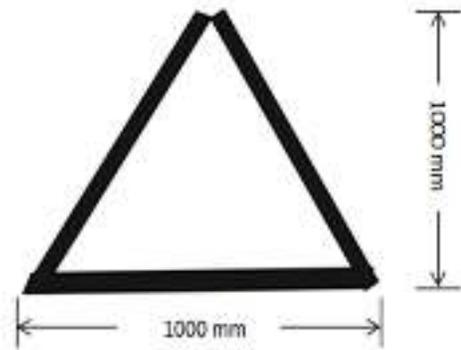
Adapun Instalansi pompa spiral yang digunakan dalam penelitian ini adalah



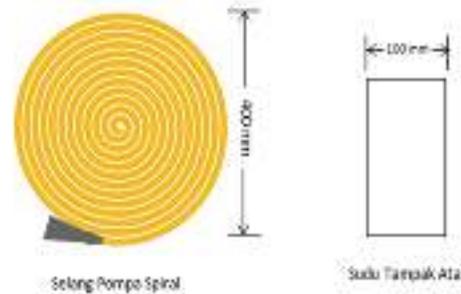
Gambar 5. Layout pompa spiral

Keterangan gambar :

1. Penampungan air
2. Flow meter
3. Pipa output
4. Sambungan poros dengan pipa output
5. Corong pengayung
6. Aliran air sungai masuk ke sudu pompa
7. Pompa spiral



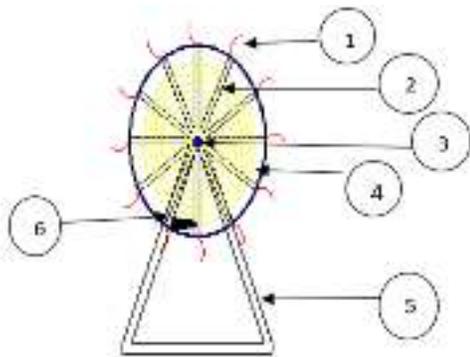
Gambar 7. rangka pompa dan sudu plat tampak samping



Selang Pompa Spiral

Sudu Tampak Atas

3.4 Dimensi Dan Skema Instalasi



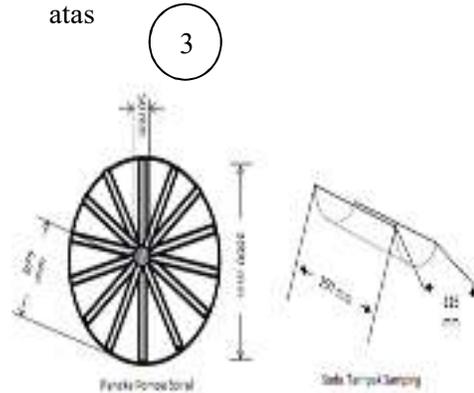
Gambar 6. Teknis Pompa Spiral (tampak samping)

Keterangan gambar :

1. Sudu pompa
2. Rangka pompa spiral
3. Poros pompa spiral
4. Selang pompa spiral
5. Tiang penyangga pompa
6. Penyiduk atau moncong pompa

Bagian – bagian pompa spiral

Gambar 8. selang dan sudu plat tampak atas



Poros Pompa Spiral

Sudu Tampak Samping

Gambar 9. Gambar tiang penyangga pompa

Prosedur Pembuatan Alat

Tahap Pembuatan Alat Tahap ini meliputi semua kegiatan dalam pembuatan komponen-komponen alat uji baik berupa rangka utama, poros, sudu, slang spiral serta perakitan komponen lain dari alat ini. Tahap pembuatan ini akan dibagi atas pembuatan

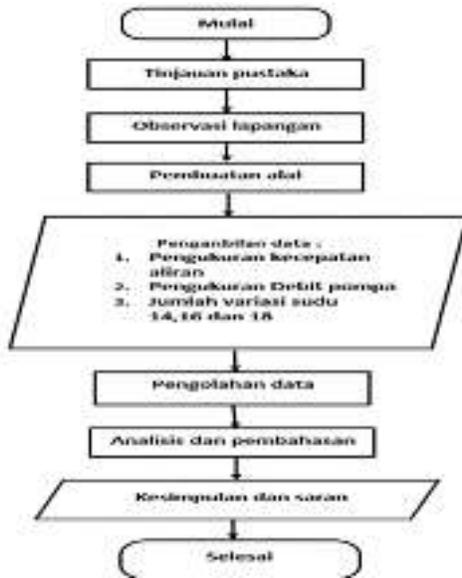
kerangka utama dan kincir serta penggabungan kerangka utama dan kincir.

Prosedur Pengambilan Data

Dalam penulisan tugasakhir ini prosedur pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan alat di lokasi pengambilan data.
2. Pengambilan data kecepatan aliran air sungai.
3. Pengambilan data volume out pompa.
4. Pengambilan data waktu aliran pompa.
5. Pengambilan data pada putaran poros.

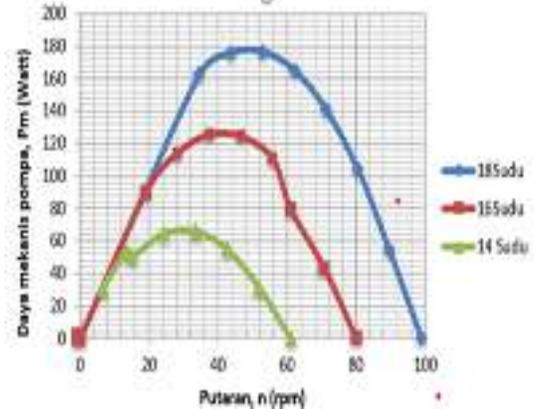
Untuk prosedur pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan dari mulai studi pustaka sampai pengambilan kesimpulan dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini :



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan selesainya penelitian dan pengolahan data pada pompa spiral dengan variasi jumlah sudu, maka diperoleh data pengaruh kecepatan aliran air sungai terhadap debit (Q_p), daya (P_p), dan efisiensi (η) pompa spiral yang dicantumkan pada grafik sebagai berikut.

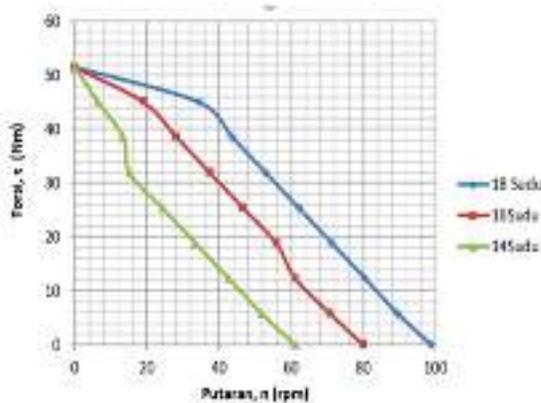


Gambar 11. Grafik hubungan putaran terhadap Daya mekanis pompa spiral

Pada gambar 11 diatas terlihat pengaruh putaran terhadap daya mekanis pompa spiral pada sudu 14 dengan Putaran 61,1 rpm, 51,9 rpm, 42,7 rpm, 33,5 rpm, 24,3 rpm, 15,1 rpm, 13,4 rpm, 6,5 rpm, dan 0 rpm. menghasilkan tekanan maksimum pompa spiral sebesar 0 Watt, 30,6 Watt, 53,93 Watt, 50,47 Watt, 64,62 Watt, 66,21 Watt, 55,24 Watt, 31,71 Watt, dan 0 Watt. Pada sudu 16 dengan Putaran 80,1 rpm, 70,9 rpm, 61,2 rpm, 55,9 rpm, 46,7 rpm, 37 rpm, 28,3 rpm, 19,1 rpm, dan 0 rpm. Menghasilkan tekanan maksimum pompa spiral sebesar 0 Watt, 43,32 Watt, 79,18 Watt, 110,49 Watt, 124,19 Watt, 125,53 Watt, 113,91 Watt, 89,92 Watt dan 0Watt. Pada sudu 18 dengan Putaran 98,9 rpm, 89,5 rpm, 80,5 rpm, 71,3 rpm, 62,1 rpm, 52,8 rpm, 43,7 rpm, 34,5 rpm, dan 0 rpm. Menghasilkan tekanan maksimum pompa spiral sebesar 0 Watt, 162,42 Watt, 175,89 Watt, 176,80 Watt, 165,15 Watt, 140,93 Watt, 104 Watt, 54,68 Watt, dan 0 Watt.

Pada gambar 12 Di bawah ini terlihat pengaruh putaran terhadap torsi mekanis pompa spiral pada sudu 18 dengan putaran 98,9 rpm, 89,5 rpm, 80,5 rpm, 71,3 rpm, 62,1 rpm, 52,9 rpm, 43,7 rpm, 34,5 rpm, dan 0 rpm. Menghasilkan torsi sebesar 0 N/m, 5,84 N/m, 12,36 N/m, 18,88 N/m, 25,41 N/m, 31,93 N/m, 38,46 N/m, 44,98 N/m, dan 51,50 N/m.

Pada sudu 16 dengan putaran 80,1 rpm, 70,9 rpm, 61,2 rpm, 55,9 rpm, 46,7 rpm, 37,5 rpm, 28,3 rpm, 19,1 rpm, dan 0 rpm. menghasilkan torsi pompa spiral sebesar 0 N/m, 5,84 N/m, 12,36 N/m, 18,88 N/m, 25,41 N/m, 31,93 N/m, 38,46 N/m, 44,98 N/m, dan 51,50 N/m. pada sudu 14 dengan putaran, 61,1 rpm, 51,9 rpm, 42,7 rpm, 33,5 rpm, 24,3 rpm, 15,1 rpm, 13,4 rpm, 6,5 rpm, dan 0 rpm. Menghasilkan torsi pompa spiral sebesar 0 N/m, 5,84 N/m, 12,36 N/m, 18,88 N/m, 25,41 N/m, 31,93 N/m, 38,46N/m, 44,98 N/m, dan 51,50 N/m.



REFERENSI

- [1] Haryanto, P. 2012. Rekondisi Pompa Air Spiral Mekanik Dengan Penggerak Aliran Arus Sungai. Skripsi. Politeknik Negeri Semarang, Semarang.
- [2] <https://www.slideshare.net/xtmxady/jenis-jenis-turbin-turbin-pelton-turbin-francis-dan-turbinkaplan>. Sumber: google.com/GlobalHumanity. Diakses 28/11/2019.
- [3] <https://07muchlis.blogspot.com/2012/06/model-sudu-dan-nozel-pada-turbin-pelton.html>. Sumber: [google.com/Educational Revolution](http://google.com/EducationalRevolution). Diakse 28/11/2019.
- [4] Marwanto, dkk, 2017. “ Pengujian Pompa Spiral Dengan Kincir Air Pada Aliran Irigasi ” JOM FTEKNIK Volume 4 No.2 Oktober 2017.
- [5] Prayatmo, W. 2007. Turbin Air. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- [6] Sule, L., Wardana I.N.G., Soenoko, R., dan Wahyudi, S. 2014. Angled and curved blades of deep-water wheel efficiency. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, AENSI Journals.
- [7] Thompson, P.L., Milonova, S., Reha, M., Mased, F., Dan Tromble, I. 2011. Coil Pump Design for a Community Fountain in Zambia. International Journal for Service Learning in Engineering. Vol.6 (1): 33-45.
- [8] White, F.M. 2003. Fluid Mechanics. 4 th Edition. McGrawHill. New York.
- [9] Wibawa, U. 2001. Sumber Daya Energi Alternatif. Skripsi. Universitas Brawijaya, Malang.
- [10] Wenny Aadriyani, 2019. “ Modifikasi Aspek Rasio Sudu Kincir Angin Dan Gear Rasio Pada Aerator Bebasis Teknologi Pompa Spiral Bertenaga Air“ vol 7 no.1 (2019).
- [11] https://scholar.google.co.id/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=rZzZXtgAAAJ&citation_for_view=rZzZXtgAAAJ:llcspb-OGe4c(diakses

[KE-03] ANALISIS PENGARUH
VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP
KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS
TIPE L 90°

Dennis Lorens¹, Luther Sule², Corvis
Tandirerung³

¹Jurusan Teknik Mesin

Universitas Kristen Indonesia (UKI)Toraja

²Departemen Teknik Mesin, Universitas

Hasanuddin, Makassar

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Kristen

Indonesia (UKI)Paulus

e-mail : dennis.lorens05@gmail.com

ABSTRAK

Energi angin termasuk dalam energi terbarukan yang dapat diubah menjadi listrik melalui penggunaan turbin angin. Turbin angin savonius memiliki kemampuan memulai sendiri dan torsi awal yang baik sehingga hanya membutuhkan angin berkecepatan rendah untuk memutar rotor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi jumlah sudu pada kinerja kincir angin savonius tipe L 90°. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan memvariasikan jumlah sudu yaitu 2 sudu, 3 sudu dan 4 sudu dimana kecepatan angin diatur 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s dan 7 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja kincir angin savonius tipe L 90° menghasilkan kinerja yang baik pada 3 sudu dengan kecepatan angin 7 m/s dan putaran 286 rpm.

KATA KUNCI: Turbin Angin Savonius Tipe L 90°, Jumlah Sudu, Performa Turbin

Abstract

Wind energy is a renewable energy that can be converted into electricity through the use of wind turbines. The savonius wind turbine has a good self-starting capability and starting torque so it only requires low-speed wind to rotate the rotor. This study aims to analyze variations in the number of blades on the performance of the 90° L type savonius windmill. The method used in this

study is an experimental method by varying the number of blades, namely 2 blades, 3 blades, and 4 blades where the wind speed is set at 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, and 7 m/s. The results showed that the Savonius type L 90° windmill produced good performance at 3 blades with a wind speed of 7 m/s and a rotation of 286 rpm.

KEYWORDS: 90° Type L Savonius Wind Turbine, Number of Blades, Turbine Performance

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi saat ini ditunjang oleh penggunaan energi fosil sebagai pembangkit listrik sehingga pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat harus dibarengi dengan penggunaan energi terbarukan. Sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, air, biogas, panas bumi dan gelombang laut harus dimanfaatkan untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Lebih lanjut, energi angin khususnya merupakan salah satu energi yang ramah lingkungan dan ekonomis. Oleh karena itu, turbin angin dirancang dan dibangun untuk menghasilkan energi dari angin. Berdasarkan arah putaran sumbu rotornya, turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Dalam hal ini turbin angin sumbu vertikal memiliki beberapa bentuk, antara lain turbin angin savonius, turbin angin darrieus dan turbin angin heliks. Keuntungan terbesar yang dapat diperoleh dari penggunaan turbin angin sumbu vertikal adalah generator dan gear box yang dapat ditempatkan di dasar menara sehingga sistem perawatannya sangat mudah. Selain itu, turbin angin jenis ini memiliki kemampuan self-starting yang baik sehingga hanya membutuhkan kecepatan angin yang rendah untuk memutar rotor turbin [1]. Turbin angin savonius memiliki kapasitas keluaran yang kecil dimana penggunaannya secara luas hanya untuk aplikasi daya.

Turbin angin savonius merupakan salah satu bentuk turbin angin sumbu vertikal dan memiliki beberapa bentuk sudu dimana turbin angin jenis ini pertama kali

dibuat oleh seorang insinyur Finlandia bernama savonius pada tahun 1922 [2]. Salah satu keunggulan turbin angin savonius adalah dapat mengantisipasi perubahan kecepatan angin dari berbagai arah [3]-[5]. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa pengembangan turbin savonius telah dilakukan karena perbedaan kualitas turbin angin ini dilihat dari berbagai bentuk sudu, baik melalui eksperimen maupun simulasi CFD dengan berbagai modifikasi dan jenis material yang digunakan. [6] - [12]. Salah satu parameter desain yang sering menjadi fokus kajian adalah terkait dengan perbandingan overlap yang memungkinkan aliran fluida melalui kesenjangan antara pisau untuk dimaksimalkan. Salah satu hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio overlap 0.15 merupakan yang terbaik diantara rasio overlap 0, 0.15, 0.2, 0.3 dan 0.5 [13].

Selain itu, kajian jumlah sudu pada turbin savonius juga menjadi perhatian beberapa peneliti. Hasil penelitian pada model turbin savonius setengah lingkaran menunjukkan bahwa model tiga sudu memiliki performansi terbaik [14]. Variasi jumlah sudu pada kincir angin savonius tipe L juga telah diteliti, dan diketahui bahwa dengan kelengkungan ujung sudu yang lurus, performansi terbaik juga diperoleh pada model 3 sudu [15]. Penelitian lain terkait turbin angin savonius tipe L adalah aplikasi modifikasi dengan delapan variasi sudut kelengkungan turbin dimana pada penelitian ini performansi terbaik diperoleh pada sudut kelengkungan 20° [16]. Namun menurut penelitian pada turbin savonius tipe L tersebut di atas, sudu tidak sepenuhnya lurus, tapi ada kelengkungan di ujung pisau lurus. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan model savonius tipe L tanpa kelengkungan sudu penuh. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin savonius murni tipe L dengan sudut 90° .

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian tentang beberapa

macam blade, yaitu savonius dengan blade tipe U dan savonius dengan blade tipe L. dari penelitian mereka menyimpulkan bahwa blade savonius tipe L menghasilkan unjuk kerja yang paling baik dibandingkan dengan tipe yang lain [19].

Dalam penelitian yang berjudul Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius tipe L. menggunakan metode penelitian eksperimental dengan variasi jumlah sudu : 2, 3, dan 4 buah dengan variabel bebas kecepatan angin pada wind tunnel dari kecepatan 3 m/s 5 m/s, 7 m/s. Didapatkan hasil analisis bahwa turbin angin dengan jumlah sudu 3 buah memiliki unjuk kerja yang tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu yang lain [15]. Hal ini terjadi karena pada turbin dengan jumlah sudu 3 buah mempunyai jarak antara sudu yang satu dengan lainnya terhadap poros sudu turbin mempunyai kerenggangan menjadikan aliran dapat mengalir dan menerpa sudu dibelakang poros dan ini akan meningkatkan gaya momen serta mengurangi gaya hambat negatif pada sudu sehingga aliran turbulensi yang terdapat pada turbin tersebut relative kecil.

2.2 Angin

Angin merupakan udara yang bergerak yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Adanya perbedaan suhu udara ini karena adanya perbedaan tekanan udara di permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah yang memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara yang rendah. Pada dasarnya angin yang bertiup di permukaan bumi terjadi karena adanya penerimaan radiasi surya yang tidak merata di permukaan bumi, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara.

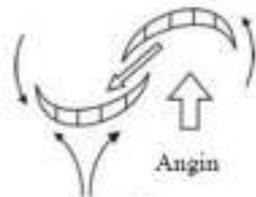
2.3 Turbin Angin Savonius

Turbin angin tipe savonius merupakan turbin dengan konstruksi sederhana pertama kali ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius. Turbin yang termasuk dalam kategori VAWT ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder. Konsep

turbin angin savonius cukup sederhana, prinsip kerjanya berdasarkan differential drag windmill. Turbin Angin Savonius type L Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk rotor, seperti desain rotor yang berbentuk huruf L. Pada Turbin angin savonius type L aliran udara pada sisi bilah yang lurus lebih besar dibandingkan pada sisi bilah lengkung seperempat lingkaran [19].

2.4 Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius

Turbin angin memiliki prinsip kerja sama seperti turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonversikan oleh sudu menjadi energi mekanik poros atau rotor. Hal tersebut seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Turbin angin Savonius tipe L [15]

Turbin angin Savonius adalah jenis turbin angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu

2.5 Daya Angin

Daya angin adalah besaran energi yang dapat dihasilkan oleh angin pada kecepatan tertentu yang menabrak sebuah turbin angin dengan luas bidang tertentu. Untuk menghitung daya angin dapat digunakan pada persamaan 1 sebagai berikut):

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \tag{1}$$

dimana;

- P_a = daya angin (Watt)
- ρ = densitas udara (kg/m^3)
- A = luas penampang turbin (m^2)
- v = kecepatan udara (m/s)

2.6 Brake horse power (BHP)

Brake horse power adalah besarnya daya yang dapat dihasilkan langsung dari

putaran yang dikeluarkan oleh turbin. Brake horse power ditentukan dengan persamaan 2 sebagai berikut:

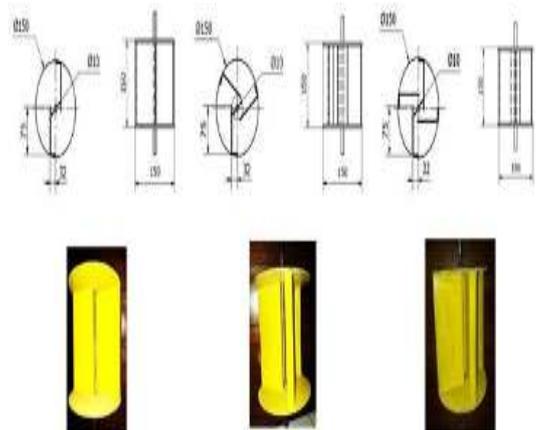
$$BHP = \frac{P_{\text{generator}}}{\eta_{\text{generator}}} \tag{2}$$

dimana:

- BHP = Brake Horse Power (Watt)
- $P_{\text{gen.}}$ = Daya generator listrik (Watt)
- $\eta_{\text{gen.}}$ = Efisiensi generator listrik (%)

III. METODOLOGI PENELITIAN

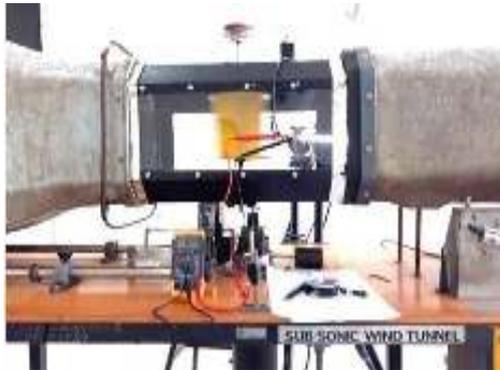
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen melalui pengujian model kincir angin Savonius dengan 2 sudu, 3 sudu dan 4 sudu untuk menghasilkan kinerja turbin angin savonius dengan bentuk sudu L 90° seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Model Sudu Turbin Angin Savonius.

Putaran rotor dan energi listrik pada setiap perlakuan yang dihasilkan pada tahap ini kemudian diukur sesuai dengan variasi kecepatan angin yang ditentukan yaitu 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/ s dan berdasarkan variasi jumlah sudu turbin yaitu 2 sudu, 3 sudu dan 4 sudu yang telah terpasang pada tahap pengujian seperti terlihat pada Gambar 3. Dimensi sudu turbin angin Savonius yang digunakan pada pengujian ini adalah rotor diameter (D) 150 mm, tebal sudu 3 mm, panjang chord sudu (d) 75 mm, dan tinggi rotor (h) 150 mm. Anemometer pada pengujian ini digunakan untuk mengukur kecepatan angin pada wind tunnel, sedangkan untuk mengukur arus dan

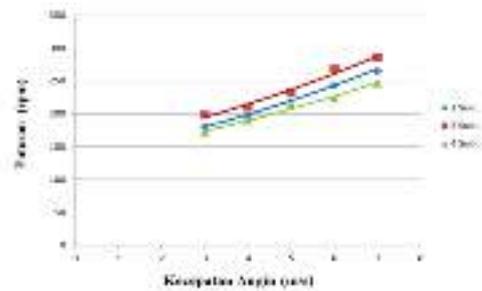
tegangan digunakan multitester.



Gambar 3. Pengaturan Eksperimen.

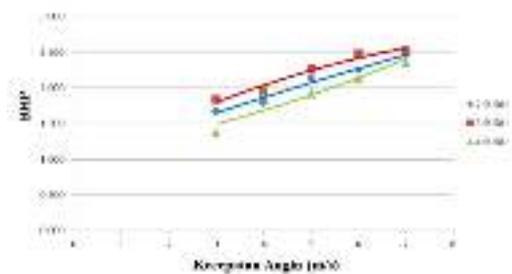
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan putaran turbin dengan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut diperoleh informasi bahwa kincir angin tipe savonius L 90° dengan 3 sudu memiliki nilai putaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan kincir angin dengan 2 dan 4 sudu. Pada kincir angin dengan 3 sudu terdapat nilai drag yang jauh lebih kecil dibandingkan kincir angin dengan 2 sudu dan 4 sudu. Dalam hal ini turbin angin dengan 2 sudu memiliki nilai putaran yang lebih baik dibandingkan dengan 4 sudu. Nilai putaran yang lebih baik dapat terjadi karena jumlah sudu juga mempengaruhi massa turbin, dimana turbin dengan 4 sudu memiliki massa yang lebih besar sehingga nilai putarannya lebih banyak. rendah jika dibandingkan dengan turbin 2 sudu. Pada penelitian sebelumnya disebutkan bahwa putaran turbin berbanding lurus dengan kecepatan angin [17], sehingga semakin tinggi putarannya, daya yang dihasilkan juga akan meningkat. Sedangkan putaran tertinggi yang dihasilkan oleh kincir angin savonius dengan 3 sudu adalah 286 rpm, namun pada kincir angin savonius 2 sudu mengalami penurunan kecepatan menjadi kecepatan 265 rpm. Pada turbin angin savonius 4 sudu, putaran terendah yang dihasilkan adalah 247 rpm pada kecepatan angin yang sama yaitu 7 m/s.



Gambar 4: Hubungan Putaran Turbin dan Kecepatan Angin.

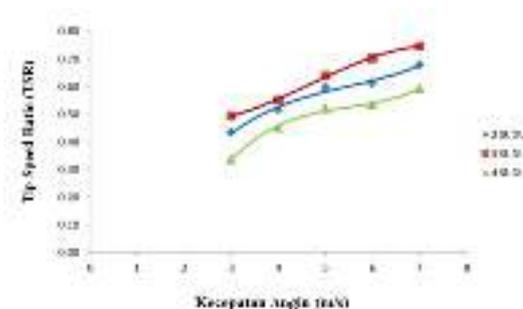
Selanjutnya, hubungan BHP dengan kecepatan angin yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa model turbin angin 3 sudu memiliki BHP tertinggi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kecepatan angin mempengaruhi BHP yang dihasilkan oleh turbin angin savonius. Selain itu dapat dilihat bahwa BHP meningkat secara linier seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, sehingga nilai BHP yang diperoleh akan terus meningkat pula. Tenaga kuda rem tertinggi terjadi pada 3 sudu dengan kecepatan angin 7 m/s dengan BHP yang dihasilkan sebesar 2,60 Watt. Pada turbin angin dengan 2 sudu diketahui bahwa BHP terendah dengan kecepatan angin 7 m/s adalah 2,46 Watt dan pada 4 sudu adalah 2,37 Watt. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan kecepatan angin yang diikuti dengan peningkatan nilai brake horse power yaitu peningkatan arus dan tegangan yang dihasilkan generator serta pengaruh kecepatan sudut, putaran poros turbin, dan torsi yang dihasilkan oleh turbin angin savonius.



Gambar 5: Hubungan Putaran Turbin dan Kecepatan Angin.

Membahas hubungan antara tip speed ratio dan kecepatan angin yang ditunjukkan pada Gambar 6, dapat dilihat

bahwa peningkatan kecepatan angin akan membuat TSR meningkat secara linier. Hal ini terjadi karena TSR memberikan arti perbandingan kecepatan keluaran (rotor) dengan kecepatan masukan (angin) atau dengan kata lain TSR sebanding dengan putaran. Mendatarnya grafik nilai TSR pada kecepatan angin besar disebabkan oleh karakteristik savonius yang kurang mampu mengubah angin menjadi kecepatan angin besar [18]. TSR juga dipengaruhi oleh kecepatan sudut sehingga grafik dan data hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai TSR kincir angin 3 sudu jauh lebih baik daripada kincir angin 2 sudu dan 4 sudu. Pada kasus ini,



Gambar 6: Hubungan Rasio Kecepatan Ujung dengan Kecepatan Angin.

V. KESIMPULAN

Penambahan variasi jumlah sudu pada kincir angin savonius tipe L 90° menghasilkan performansi turbin yang baik. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa turbin angin savonius tipe L 90° dengan jumlah 3 sudu dan kecepatan angin 7 m/s menghasilkan nilai putaran dan BHP terbaik yaitu 286 rpm dan 2,60 Watt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Toraja dan semua pihak atas dukungan yang telah diberikan sehingga penulisan ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

- [1] M. Hau, E., 2006. Dasar-Dasar Turbin Angin, Teknologi, Aplikasi,

Ekonomi, Ketiga, edisi terjemahan. ed. Springer, "Dasar-Dasar Turbin Angin, Teknologi, Aplikasi, Ekonomi," Spectrum.

SJ Savonius, "Rotor Sayap dalam Teori dan Praktek." 1926.

- [2] Z. Mao dan W. Tian, "Pengaruh sudut busur sudu pada kinerja turbin angin Savonius," Adv. mekanisme Ind., vol. 7, tidak. 5, hlm. 1-10, 2015, doi:10.1177/1687814015584247.
- [3] BD Altan dan M. Atılgan, "Sebuah studi tentang peningkatan kinerja rotor angin Savonius," J. Mech. Sci. Teknologi., vol. 26, tidak. 5, hlm. 1493-1499, 2012, doi: 10.1007/s12206-012-0313-y.
- [4] Mabrouki, Z. Driss, dan MS Abid, "Analisis Kinerja Rotor Savonius Air: Pengaruh Tumpang Tindih Internal," Sustain. Energi, vol. 2, tidak. 4, hlm. 121-125, 2014, doi:10.12691/rse-2-4-1.
- [5] UK Saha dan MJ Rajkumar, "Pada analisis kinerja rotor Savonius dengan bilah bengkok," Perbarui. Energi, vol. 31, tidak. 11, hlm. 1776-1788, 2006, doi: 10.1016/j.renene.2005.08.030.
- [6] JP Abraham, GS Mowry, BP Plourde, EM Sparrow, dan WJ Minkowycz, "Simulasi numerik aliran fluida di sekitar turbin sumbu vertikal," J. Renew. Mempertahankan. Energi, vol. 3, tidak. 3, hlm. 0-13, 2011, doi: 10.1063/1.3588037.
- [7] S. Worasinchai dan K. Suwannakij, "Karakteristik kinerja turbin Savonius," IOP Conf. Ser. ibu. Sci. Ind., vol. 297, tidak. 1, 2018, doi:10.1088/1757-899X/297/1/012056.
- [8] SAR Meri, HBB Salleh, MN Nemah, BA Al-Quraishi, dan NZ BintiAsmuin, "Evaluasi kinerja turbin angin Savonius berdasarkan desain bentuk sudu baru," Int. J.Mekanik. Ind. Teknologi., vol. 10, tidak. 1, hlm. 837-846, 2019.
- [9] M. Zemamou, M. Aggour, dan A. Toumi, "Tinjauan desain dan kinerja turbin angin savonius," Energy

- Procedia, vol. 141, hlm. 383–388, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.047.
- [10] J. Sargolzaei dan A. Kianifar, “Estimasi rasio daya dan torsi pada turbin angin rotor Savonius menggunakan jaringan syaraf tiruan,” *Int. J.*, vol. 1, tidak. 2, hlm. 51–56, 2007.
- [11] M. Hadi Ali, “Studi Perbandingan Eksperimen Turbin Angin Savonius Dua & Tiga Bilah Pada Kecepatan Angin Rendah,” *Int. J.Mod. Ind. Res.* www.ijmer.com, jilid 3, tidak. 5, hlm. 2978–2986, 2013.
- [12] MH Nasef, WA El-Askary, AA AbdEL-hamid, dan HE Gad, "Evaluasi kinerja rotor Savonius: Studi statis dan dinamis," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 2013, doi: 10.1016/j.jweia.2013.09.009.
- [13] F.Wenehenubun, A. Saputra, dan H. Sutanto, “Sebuah studi eksperimental tentang kinerja turbin angin Savonius terkait dengan jumlah sudu,” *Energy Procedia*, vol. 68. hlm. 297–304, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.259.
- [15] DS Bayu Mahendra, Rudy Soenoko, “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Performa Turbin Angin Savonius L,” *J. Petrol.*, vol. 369, tidak. 1, hlm. 1689–1699, 2013.
- [16] ML Dewi, “Analisis Performa Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan Modifikasi Savonius L Untuk Optimalisasi Performa Turbin,” *J. MIPA UNS*, hlm. 35, 2010.
- [17] M.D.Ambrosio and M. Medaglia, “Turbin Angin Sumbu Vertikal : Sejarah , Teknologi dan Aplikasi Skripsi S2 Teknik Energi – Mei 2010 Pembimbing : Jonny Hylander Penulis :,” no. Mei, hal. 91, 2010.
- [18] R. Tania, RL Florin, IVD Adriana, M. Roxana, A. Ancuta, dan D. Florin, "Investigasi eksperimental tentang pengaruh Rasio Tumpang Tindih pada Kinerja Turbin Savonius," *Int. J. Perbarui. Energi Res.*, vol. 8, tidak. 3, hlm. 1791–1799, 2018.
- [19] Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N., 2006. Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol; Bandung. ITB

[KE-04] Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Impeller Tipe Twin Pitched Blade Dengan Sudut Kemiringan 45⁰

Nofrianto Pasae^{1*}, Nitha²,
Yoel Lius Erd Pongpadatu³

¹² Jurusan Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
³ Mahasiswa Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
*Email : nofrianto@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu turbin *impeller tipe twin pitched blade* dengan sudut kemiringan 45⁰ terhadap torsi, daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin dengan variasi jumlah sudu.

Metode eksperimen adalah metode yang digunakan dalam penelitian ini dimana penulis melakukan uji coba terhadap turbin *impeller tipe twin pitched blade* dengan variasi jumlah sudu 3, 4 dan 5 untuk mengukur torsi, daya dan efisiensi. Dari penelitian ini didapat Daya maksimum turbin *impeller tipe twin pitched blade* pada putaran 152,4 rpm, diperoleh 37,4 watt pada jumlah sudu 5. Torsi maksimum turbin *impeller tipe twin pitched blade* pada putaran 0 rpm, diperoleh 3,97 Nm pada jumlah sudu 5. Efisiensi maksimum turbin *impeller tipe twin pitched blade* pada putaran 152,4 rpm sebesar 34,97 % pada jumlah sudu 5.

Kata kunci : twin pitched blade, daya, torsi, efisiensi, sudu

ABSTRACT

This research was conducted with the aim of knowing the effect of the number of impeller turbine blades of the twin pitched blade type with a 45⁰ tilt angle on the torque, power and efficiency produced by the turbine with variations in the number of blades.

The experimental method is the method used in this study where the author conducted trials on a twin pitched blade type impeller turbine

with variations in the number of blades 3, 4 and 5 to measure torque, power and efficiency. From this study, the maximum power of the turbine impeller of the twin pitched blade type at 152.4 rpm rotation, obtained 37.4 watts at the number of blades 5. The maximum torque of the turbine impeller of the twin pitched blade type at 0 rpm rotation, obtained 3.97 Nm at the number of blades 5. The maximum efficiency of the impeller turbine of the twin pitched blade type at 152.4 rpm is 34.97% at the number of blades 5.

Keywords: twin pitched blade, power, torque, efficiency, blade

I. PENDAHULUAN

Sesuatu yang ada di sekitar kita yang mampu menghasilkan suatu energi baik yang kecil maupun besar itulah yang dinamakan sumber energi. ada banyak pemanfaatan sumber energi diantaranya pemanfaatan sumber energi menjadi energi listrik. Di dunia ini ada banyak sekali sumber energi yang bias diubah menjadi energi listrik diantaranya, nuklir, minyak, batu bara, energi angin, panas bumi, tata surya, dll. Namun, bahkan pembangkit listrik berskala besarpun tidak sepenuhnya bisa menjawab masalah pemenuhan kebutuhan energi listrik khususnya di Indonesia.

Kondisi yang ada sekarang adalah bahwa energi memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai sektor kehidupan dan merupakan kebutuhan dasar manusia. Hampir semua bidang kegiatan termasuk diantaranya industri, rumah tangga, transportasi, jasa dan lain-lain yang tidak dapat dipisahkan dengan sektor energi listrik. Pada rumah tangga energi listrik berfungsi untuk penerangan, memasak, pemanas, pendingin dan kegiatan lainnya. potensi energy air sangat besar dan layak sebagai sumber energi pembangkit listrik mikrohidro. Berdasarkan kondisi tersebut dengan tinggi jatuh air yang rendah, maka dapat optimal sebagai pembangkit listrik

turbin Propeller.

Turbin propeller sangat baik digunakan sebagai pembangkit listrik mikro hidro karena dapat beroperasi secara optimal pada head yang sangat rendah di daerah terpencil dan tertinggal. Menurut indonesia.go.id per 2020 masih ada 433 desa(0,42%) di Indonesia yang belum dialiri listrik dikarenakan daerah yang sulit dijangkau dan masalah keamanan karena sebagian desa ada di daerah rawan. energi mikrohidro adalah salah satu energy terbarukan yang mungkin bisa dikembangkan masyarakat yang desanya sulit dijangkau. Saat ini solusi terbaik dalam penyediaan energi adalah pemanfaatan EBT sebagai sumber energy.

Menurut McCabe (2004) impeller twin pitched blade dapat menghasilkan pola aliran kombinasi selama pengadukan yaitu terjadinya pola aliran radial dan aksial sehingga akan menghasilkan jenis aliran yang turbulen. Maka dari permasalahan diatas, penulis tertarik mengembangkan jenis turbin propeller tipe twin pitched blade ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Turbin

Turbin adalah mesin penggerak yang mengubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik yang kemudian diubah lagi menjadi energi listrik pada generator. Bagian turbin yang berputar disebut *runner* atau roda turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan memutar poros daya yang menggerakkan generator listrik. Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut. Sebuah roda turbin bisa saja

terdapat beberapa baris sudu gerak yang dipasang berurutan dalam arah aliran fluida kerja, setiap baris sudu terdiri dari sudu yang disusun melingkar masing-masing dengan bentuk yang sama. Turbin dengan satu baris sudu gerak disebut turbin bertingkat tunggal, sedangkan turbin

dengan beberapa baris

sudu gerak disebut turbin bertingkat ganda. Proses fluida kerja mengalir melalui baris sudu yang pertama, kemudian baris kedua, ketiga dan seterusnya, namun sebelum mengalir ke setiap baris sudu yang bersatu dengan rumah turbin. Karena sudu tersebut tidak berputar, sudu tersebut disebut sudu tetap, yang berfungsi mengarahkan aliran fluida kerja masuk kedalam sudu gerak berikutnya bisa juga disebut nosel (Haimel 1960).

2. Prinsip Kerja Turbin

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh nozzle. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

3. Jenis Turbin Berdasarkan Fluidanya

a. Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill.

b. Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan

pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik. Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan

4. Konsep Dasar Perhitungan

a. Luas penampang

$$A = \pi x r^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (m²)

$\pi = 3,14$

r = jari – jari

b. Debit air

Untuk mengetahui besarnya volume air yang mengalir. Volume air yang mengalir disebut debit air. Debit air yang mengalir, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)

V = Volume (m³)

T = Waktu(s)

c. Kecepatan aliran

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

v = Kecepatan air (m/s)

Q = Debit aliran (m³)

A = Luas penampang (m²)

d. Head efektif (H)

$$H = \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

H = Tinggi jatuh air (m)

v = kecepatan aliran (m/s)

g = kecepatan gravitasi (m/s²)

e. Gaya (F)

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

F = Gaya (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s²)

f. Torsi (τ)

$$\tau = F \cdot r \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

τ = torsi (Nm)

F = gaya (N)

r = jari-jari pully (m)

g. kecepatan angular

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

ω = kecepatan angular

$\pi = 3.14$

n = putaran turbin (rpm)

h. Daya air

Menghitung daya air dilakukan untuk mengetahui daya air yang akan digunakan, sehingga di dapatkan efisiensi penggunaan daya tertentu yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P_{air} = Daya air(Watt)

ρ = Massa jenis (kg/m³)

H = Tinggi (m)

G = Gravitasi bumi (m/s²)

Q = Debit air (m³/s)

i. Daya turbin

Perhitungan daya turbin yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin air dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_T = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

P_T = Daya turbin (Watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

j. Efisiensi turbin

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_a} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

η_T = efisiensi turbin (%)

P_T = Daya turbin (watt)

P_a = Daya air (watt)

III. METODE PENELITIAN

1. Waktu Dan Tempat Pengujian

Pengujian ini dilakukan di Lembang Landorundun, Kec.Sesean Suloara' Kab.Toraja Utara selama 6 bulan.

2. Alat Dan Bahan

Adapun spesifikasi Alat dan bahan yang digunakan pada kinerja turbin Impeller Model Twin pitched Blade adalah sebagai berikut:

1. Elektroda
2. Trafo las DC
3. Pipa 4 inchi
4. Penutup pipa
5. Bearing
6. Sambungan pipa
7. Sudu/blade
8. Double tape
9. Tachometer untuk mengukur putaran kincir
10. Alat bantu perbengkelan seperti kunci pas, kunci ring, obeng, tang dan sebagainya

3. Metode Pengolahan Data

Data yang diperoleh diolah kedalam rumus empiris, kemudian data dari perhitungan disajikan dalam bentuk tabulasi dan grafik.

4. Pengamatan dan Tahap Pengujian

Pada pengujian ini yang akan diamati adalah: Parameter aliran terhadap torsi mekanis

1. Parameter aliran terhadap daya mekanis
2. Parameter aliran terhadap efisiensi mekanis

5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pada pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat dan kelengkapan lainnya, antara lain :
 - a. Pipa 4 inchi
 - b. Sambungan pipa

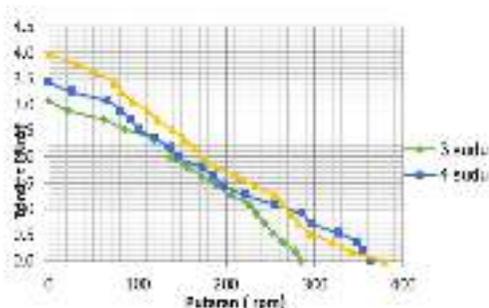
- c. Isolasi
- d. Sudu/ blade
- e. Kunci pas
- f. Kunci ring
- g. Obeng
- h. Tang dan lainnya.

2. Memasang semua komponen – komponen turbin yang di gunakan dalam pengambilan data , antara lain :
 - a. Menyusun bagian - bagian instalasi pipa.
 - b. Memasukkan sudu / blade pada dudukan sudu dan menyambungakan pada instalasi pipa turbin.
 - c. Menyambungkan bagian – bagian pipa turbin sesuai dengan urutan pada gambar turbin.
3. Memeriksa kembali semua komponen alat apakah sudah terpasang dengan baik, lalu mengisi air pada pipa saluran keluar sampai penuh,setelah penuh lalu saluran pipa keluar di buka agar turbin dapat menghisap air dan selanjutnya dapat memutar sudu turbin yang terdapat di bagian dalam pipa.
4. Mengukur putaran turbin yang dihasilkan, dan juga menghitung debit aliran yang terjadi pada turbin.
5. Pengukuran putaran dilakukan dengan menggunakan tachometer.
6. Prosedur pengambilan data di lakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan data yang lebih akurat.
7. Pengukuran suhu air dengan menggunakan alat ukur termometer.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Torsi (τ)

Torsi (Nm) merupakan ukuran kekuatan / gaya yang dapat menyebabkan objek berputar di sekitar sumbu. Torsi maksimum (Nm) merupakan kemampuan suatu benda untuk menghasilkan torsi terbesar. Hasil torsi yang di hasilkan pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *impeller tipe twin pitched blade*.

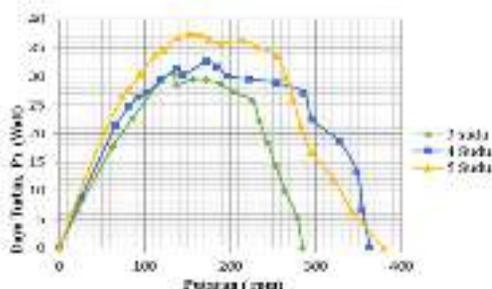


Gambar 1. Pengaruh hubungan putaran (rpm) terhadap torsi dengan variasi jumlah sudu.

Pada gambar 1 dapat di lihat dan di analisa bahwa dengan variasi jumlah sudu, yang menghasilkan torsi paling besar yaitu sudu lima (5) mencapai torsi 3,97 Nm dengan putaran 0 rpm, sudu empat (4) mencapai torsi 3,43 Nm dengan putaran 0 rpm kemudian sudu tiga (3) mencapai torsi 3,07 Nm dengan putaran 0 rpm.

2. Daya (w)

Daya (W) merupakan suatu kemampuan untuk melakukan kerja sedangkan putaran (rpm) merupakan jumlah atau banyaknya putaran yang terjadi dalam satu (1) menit. Hasil daya maksimum yang dihasilkan pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *impeller tipe twin pitched blade* dengan sudut kemiringan 45⁰.



Gambar 2. Grafik Pengaruh putaran (rpm) terhadap daya (W) dengan variasi jumlah sudu.

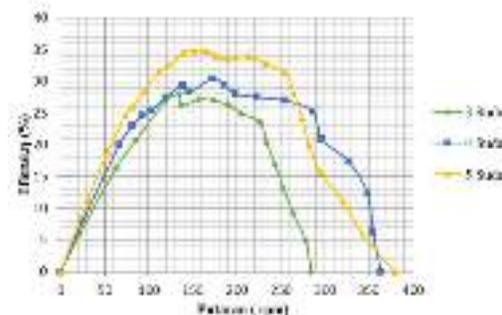
Pada gambar grafik 2 dapat di lihat bahwa analisa pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *impeller tipe twin pitched blade* dengan

sudut kemiringan 45⁰, daya tertinggi di hasilkan oleh sudu lima (5) dengan jumlah debit (Q) 0.0175 m³/s yaitu 37,4 Watt pada putaran 152,4 rpm, di ikuti oleh sudu empat (4) dengan debit (Q) 0.0175 m³/s yaitu 32,6 Watt pada putaran 172,4 rpm, sudu tiga (3) dengan debit (Q) 0.0175 m³/s yaitu 30,5 Watt pada putaran 134,6 rpm.

Dari hasil perhitungan dan analisa garfik bahwa turbin *impeller tipe twin pitched blade* dengan sudut kemiringan 45⁰ sangat baik pada sudu lima (5).

3. Efisiensi (η)

Efisiensi merupakan suatu yang dinilai berdasarkan besarnya daya yang tersedia dibagi dengan daya yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Hasil efisiensi maksimum yang dihasilkan pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *impeller tipe twin pitched blade* dengan sudut kemiringan 45⁰.



Gambar 3. Grafik pengaruh putaran (rpm) terhadap efisiensi (%) dengan variasi jumlah sudu.

Dapat di lihat pada gambar grafik 4.3.3 di atas bahwa efisiensi tertinggi terdapat pada sudu lima (5) yaitu mencapai 34,97 %, kemudian sudu empat (4) dengan efisiensi 30,43 %, disusul terakhir sudu tiga (3) dengan efisiensi 27,16 %.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembuatan, pengujian dan analisis data dari pengaruh jumlah sudu *turbin impeller tipe twin pitched blade*

dengan sudut kemiringan 45° , dengan variasi jumlah sudu 3, 4, dan 5. Maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Torsi maksimum *turbin impeller tipe twin pitched blade* pada putaran 0 rpm, diperoleh 3,97 Nm pada 5 sudu.
2. Daya maksimum *turbin impeller tipe twin pitched blade* pada putaran 152,4 rpm, diperoleh 37,4 Watt pada 5 sudu.
3. Efisiensi maksimum *turbin impeller tipe twin pitched blade* pada putaran 152,4 rpm sebesar 34,97 % pada 5 sudu.

Indonesia.Go.Id

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Toraja dan semua pihak atas dukungan yang telah diberikan sehingga penulisan ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

- [1] Jurnal chemical engineering research and design. The Effect of Impeller and Tank Geometry on Power Number for a Pitched Blade Turbine.
- [2] Jurnal energi : Energi, manufaktur, dan Material (2020). Turbin air arus sungai model sudu propeller menggunakan nozzel-diffuser.
- [3] Jurnal Teknologi Kimia Unimal 8 : 2 (November 2019). Analisa Profil Aliran Fluida Cair Dan Pressure Drop Pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)
- [4] JURNAL TEKNIK PERKAPALAN. Analisa Pengaruh Panjang, Letak Dan Geometri Lunas Bilga Terhadap Arah Dan Kecepatan Aliran (Wake) Pada Kapal Ikan Tradisioal (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan)
- [5] Skripsi (Desember 2018). Pengaruh Jenis Impeller Terhadap Reaksi Saponifikasi Sabun Cair Dalam Reaktor Tangki Berpengaduk.
- [6] Portal Informasi Indonesia.

**[KE-05] ANALISIS KINERJA
CAMPURAN BRIKET ARANG
TEMPURUNG KELAPA DENGAN
CANGKANG KEMIRI SEBAGAI
BAHAN BAKAR ALTERNATIF**

Sallolo Suluh^{1*}, Harni Eirene Tarru², Yabas

¹³Jurusan Teknik Mesin

Universitas Kristen Indonesia Toraja

²Jurusan Teknik Sipil

Universitas Kristen Indonesia Toraja

³Mahasiswa Teknik Mesin

Universitas Kristen Indonesia Toraja

*e-mail : sallolonel@gmail.com

ABSTRAK

Konsumsi bahan bakar minyak kian menipis seiring laju lalu mobilitas penduduk yang semakin pesat. Sementara disisi lain keterbatasan segera perlu dibenahi secepatnya. Oleh karena itu perlunya energi alternative untuk mengatasi keterpurukan itu dengan memanfaatkan salah satu energi alternative yang berasal dari biomassa yang akan dijadikan bahan bakar dalam bentuk briket.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan daya out, daya pembakaran, kehilangan daya serta efisiensi pembakaran yang terkandung dari campuran briket arang tempurung kelapa dan cangkang kemiri

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan memanfaatkan arang tempurung kelapa dengan arang cangkang kemiri kedalam bentuk briket sebagai bahan bakar alternative. Selanjutnya dilakukan pengujian proksimasi, nilai kalor dan efisiensi termal

Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket B3(campuran briket arang tempurung kelapa 40% dan cangkang kemiri 40%) paling unggul dari ketiganya dalam hal daya oupt, daya pembakaran , hilang daya serta efisiensi pembakaran dihasilkan masing-masing sebesar P_{out} (0.264), P_{in} (0.558), P_{losses} (0.29) dan efisiensi pembakaran (47.31)

Kata kunci; Briket arang tempurung kelapa dengan arang cangkang kemiri, P_{out} , P_{in} , P_{losses} dan efisiensi pembakaran.

ABSTRACT

Consumption of fuel oil is dwindling along with the rapid pace of population mobility. Meanwhile, on the other hand, immediate limitations need to be addressed as soon as possible. Therefore, alternative energy is needed to overcome the downturn by utilizing one of the alternative energy originating from biomass which will be used as fuel in the form of briquettes.

This study aims to produce power out, combustion power, loss of power and combustion efficiency contained in a mixture of coconut shell charcoal briquettes and candlenut shells.

The research method used is an experimental method by utilizing coconut shell charcoal with candlenut shell charcoal into the form of briquettes as an alternative fuel. Further testing of the approximation, calorific value and thermal efficiency

The results showed that B3 briquettes (a mixture of of output power, combustion power, loss of power and combustion efficiency, respectively P_{out} (0.264), P_{in} (0.40% coconut shell charcoal briquettes and 40% candlenut shells) were the most superior of the three in terms 558).), P_{losses} (0.29) and combustion efficiency (47.31)

Keywords: Coconut shell charcoal briquettes with candlenut shell charcoal, P_{out} , P_{in} , P_{losses} and combustion efficiency.

I. PENDAHULUAN

Energi fosil minyak bumi yang ketersediannya terus berkurang karena tingkat konsumsi masyarakat dunia yang tinggi membuat banyak Negara mencari solusi melalui pemberdayaan energi alternatif. Energi alternatif diyakini dapat menggantikan atau mengurangi peran dan ketergantungan masyarakat terhadap minyak bumi.

Energi biomassa dapat menjadi solusi untuk mengatasi ketersediaan minyak bumi yang semakin menipis. Biomassa merupakan sumber energi alternatif

terbarukan yang berasal dari limbah tumbuh-tumbuhan atau bahan organik yang mudah ditemukan dan ketersediannya yang melimpah seperti limbah kayu, sekam padi, ampas tebu, tempurung kelapa dan cangkang kemiri.

Limbah tempurung kelapa dan limbah cangkang kemiri pemanfaatannya belum terlalu maksimal karena sebagian besar pengguna hanya memanfaatkan isi saja untuk memenuhi salah satu kebutuhan hidup atau keperluan lain. Namun disisi lain, dalam perkembangan penelitian sebelumnya tentang kedua bahan ini sudah dimanfaatkan lebih luas seperti [1] melakukan penelitian terhadap modifikasi komor briket material tanah liat dengan menggunakan briket arang tempurung kelap menghasilkan nilai kalor sebesar 4949 cal/gram, [2] melakukan penelitian dengan menvariasikan zat aditif khusus peneguh yaitu pasir dengan bahan arang tempurung kelapa menghasilkan nilai kalor 6012 cal/gram, [3] melakukan penelitian modifikasi kompor briket dengan menggunakan tempurung kelap menghasilkan nilai kalor briket sebesar 4948,14 cal/gr, [4] melakukan penelitian juga menggunakan briket tempurung kelapa menghasilkan nilai kalor briket arang tempurung kelapa sebesar 4976 cal/gr, [5] melakukan penelitian terhadap campuran tempurung dengan sabut kelapa dengan perbandingan 60%:20% menghasilkan nilai kalor 5675 cal/gr. Sedangkan untuk briket arang cangkang kemiri yaitu [6] menambahkan cangkang kemiri kedalam arang pembakaran mampu mengurangi kadar Sox sampai 80,76%, [7] melakukan pencampuran cangkang kemiri dengan sekam padi dengan perbandingan 70%:30% mampu mengurangi porositas sampai 1,74%, [8] melakukan penelitian terhadap modifikasi kompor baja dengan menggunakan briket arang cangkang kemiri dengan nilai kalor 4840 cal/gr,

[9] melakukan pencampuran briket arang cangkang kemiri dengan sekam padi menghasilkan efisiensi thermal sebesar 40,48%. Karena itu, penulis mencoba untuk memanfaatkan kedua tempurung ini dengan mencampur dengan berbagai komposisi bahan sehingga dapat diketahui tingkat efektifitasnya sebagai bahan bakar yang dapat menggantikan minyak tanah yang semakin hari kian menipis dan langkah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Definisi Briket[11]

Briket adalah sumber energi yang berasal dari biomassa yang bisa digunakan sebagai energi alternatif pengganti minyak bumi dan energi lain yang berasal dari fosil. Briket dapat di buat dari bahan baku yang banyak kita temukan dalam kehidupan kita sehari-hari, seperti batok kelapa, sekam padi, arang sekam, serbuk kayu (serbuk gergaji), bongkol jagung, daun, dan lain sebagainya.

Pembuatan briket dilakukan proses penekanan atau pemadatan yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor per satuan luas dari suatu biomassa yang akan digunakan sebagai bahan alternatif, sehingga dengan ukuran biomassa yang relatif kecil akan dihasilkan energi yang besar. Selain itu bentuk biomassa menjadi lebih seragam, sehingga lebih mudah dalam proses penyimpanan dan pendistribusian.

2. Arang Tempurung Kelapa[3]

Tempurung kelapa adalah bagian dari buah kelapa yang berupa endokrap, bersifat keras dan di selimuti oleh sabut kelapa. Tempurung kelapa selama ini lebih sering kita kenal sebagai bahan bakar untuk pemanggangan ikan atau makanan lain. Dibalik kehitaman arang tempurung kelapa itu, ternyata menyimpan nilai ekonomis yang lebih tinggi lagi.

Tempurung kelapa yang dijadikan arang dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya dengan menjadikannya karbon aktif karna tempurung kelapa kualitasnya cukup baik dijadikan karbon aktif.



Gambar 1. Arang tempurung kelapa

2. **Cangkang Kemiri**[12]

Cangkang kemiri merupakan bahan yang sering di abaikan oleh masarakat sehingga hanya menjadi limbah yang tak berguna. Namun, cangkang kemiri sebenarnya bisa digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang murah dan eknomis. Di samping itu bisa juga dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya muda disosialisasikan kepada rakyat.



Gambar 2. Cangkang kemiri

3. **Proses Pembakaran**[11]

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (fuel) dan

oksidator dengan menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur (C), hydrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Semenrara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar (fuel) (Taufik, 2008).

4. **Rumus-Rumus Yang Digunakan** [12]

Dengan mengambil tempurung kelapa dengan cangkang kemiri yang akan diolah sebagai briket arang sebagai acuan, maka persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Boiling time adalah waktu yang dibutuhkan pada panci atau ketel yang dihitung mulai dari meletakkan panci pada burner sampai pada suhu 100 °C

1. *Fuel Comsumtion Rate (FCR)*

Perbandinga n antara jumlah bahan bakar yang terpakai dengan waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air. Adapun rumusnya sabagai berikut;

$$FCR = \frac{m_{bt}}{t} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

FCR : Perbandingan jumlah bahan bakar yang terpakai dengan waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air (Kg/s)

t : Waktu untuk memanaskan air (s)

2. Daya bersih (P_{out})

Daya bersih (P_{out}) adalah perbandingan antara energi yang digunakan untuk memanaskan air dengan lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik didih. Adapun penjabaran rumusnya sebagai berikut:

$$P_{out} = \frac{M_w \times C_{p_{air}} \times (T_f - T_i)}{t} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

P_{out} : Daya bersih (watt).

C_{p_{air}} : Kalor spesifik air (kJ/kg°C).

- T_i : Temperatur awal dari air(°C).
- T_f: Temperatur akhir air (°C).
- t : Waktu untuk memanaskan air (s)

3. Daya pembakaran (P_{in})

Daya bersih (P_{in}) adalah perbandingan antara energi yang terkandung dalam bahan bakar dengan lama waktu pada proses pembakaran. Adapun penjabaran rumusnya sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{m_{bt} \times LHV}{t} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- P_{in} : Daya pembakaran (watt).
- LHV : Nilai kalor bawah bahan bakar (KJ/Kg.°C).
- t : Waktu untuk memanaskan air (s)

4. Daya hilang (P_{losses})z

Daya hilang (P_{losses}) kehilangan daya yang dihasilkan dari tungku pemabakaran biomassa. Adapun penjabaran rumusnya sebagai berikut :

$$P_{losses} = P_{in} - P_{out} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

- P_{in} : Daya pembakaran (watt).
- P_{out} : Daya bersih (watt).
- P_{losses} : Daya yang hilang (watt)

5. Efisiensi Pembakaran (η_{th})

Efisiensi Pembakaran adalah perbandingan antara daya bersih yang digunakan untuk memanaskan air dengan daya pembakaran bahan bakar. Adapun penjabaran rumusnya sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

- P_{in} : Daya pembakaran (watt).
- P_{out} : Daya bersih (watt).
- η_{th} : Efisiensi pembakaran (%)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan memanfaatkan tempurung kelapa dan cangkang kemiri sebagai sumber energi alternatif dalam bentuk briket. Bentuk

briket arang yang digunakan adalah bentuk sarang tawon karena berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya bahwa bentuk sarang tawon mempunyai bidang permukaan nyala yang lebih[13]. Selanjutnya dilakukan pengujian briket yaitu proksimasi meliputi kadar abu, kadar air, volatile, flash karbon, nilai kalor dan efisiensi pembakaran briket campuran briket tempurung kelapa dan cangkang kemiri pada kompor briket. Adapun campuran komposisi dari kedua bahan tersebut dengan zat aditifnya dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini

Tabel 1. Komposisi campuran briket

Sampel	Komposisi Bahan				
	Bahan Baku	Bahan Pengikat	Bahan Tanah liat (%)	Bahan Tepung (%)	Bahan Air
E.1	Arang Tempurung Kelapa (5%)	Arang Cangkang Kemiri (5%)	10	10	500
E.2	Arang Tempurung Kelapa (5%)	Arang Cangkang Kemiri (5%)	10	10	500
E.3	Arang Tempurung Kelapa (5%)	Arang Cangkang Kemiri (5%)	10	10	500

Terlihat pada tabel 1 ada 3 jenis briket dengan berbagai campuran komposisi yang akan dilakukan pengujian secara fisik maupun kimiawi sehingga didapatkan tingkat efisiensi pembakaran yang maksimal

Adapun bahan dan peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Bahan
 - 1) Bahan tepung arang tempurung kelapa
 - 2) Bahan tepung arang cangkang kemiri
 - 3) Tepung kanji sebagai perekat
 - 4) Tanah liat
 - 5) Air panas
- b. Peralatan
 - 1) Alat penghancur arang

- 2) Mesh
- 3) Drum pembakaran
- 4) Gelas ukur
- 5) Ketel air
- 6) Timbangan
- 7) Mesin pencetak briket
- 8) Wada Loyang
- 9) Thermokopel
- 10) Kompur briket

Untuk prosedur pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan dari mulai studi pustaka sampai pengambilan kesimpulan dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

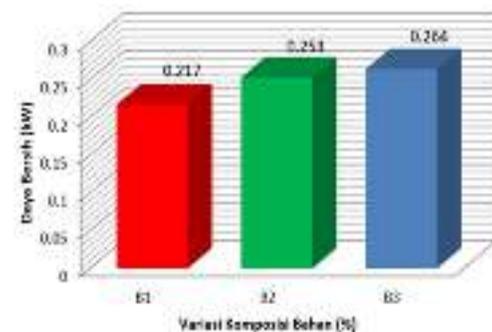
Penelitian ini telah dilakukan proses pengujian lewat proksimasi berupa kadar abu, kadar air, volatile matter, fixed carbon dan proses pengujian lewat pembakaran briket campuran tempurung kelapa dengan cangkang kemiri dengan

berbagai komposisi pada kompur dengan menghasilkan beberapa komponen yang diamati berupa daya output, daya pembakaran, daya losses serta efisiensi termal. Adapun hasil rekapitulasi hasil analisis dari pengolahan data dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil perhitungan

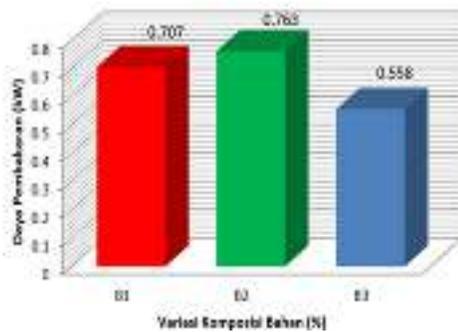
No.	Parameter	Briket 1	Briket 2	Briket 3
1.	M_b	0,39	0,35	0,355
2.	UHV (%>90)	18452,22	3259,45	3215,75
3.	Waktu (s)	2000	2000	2000
4.	FC (kg/s)	$3,02 \times 10^{-4}$	$4,22 \times 10^{-4}$	$3,06 \times 10^{-4}$
5.	P_{out} (KW)	0,217	0,253	0,264
6.	P_{in} (KW)	0,727	0,763	0,558
7.	E_{eff} (%)	0,49	0,31	0,29
8.	η (%)	30,29	39,16	47,31

Terlihat pada tabel 2 diatas bahwa campuran briket yang paling unggul dari ketiga yaitu campuran briket B3 dengan komposisi arang tempurung kelapa dan cangkang kemiri seimbang masing-masing sebanyak 40%(40:40) dengan zat aditif yang konstan meliputi mbt sebesar 0,39 kg, fcr hsnys 0,0000306 kg/s, Pout sebesar 0,264 watt, Pin sebesar 0,558 watt, Plosses sebesar 0,29 watt dan terakhir efisiensi termal 47,31%.



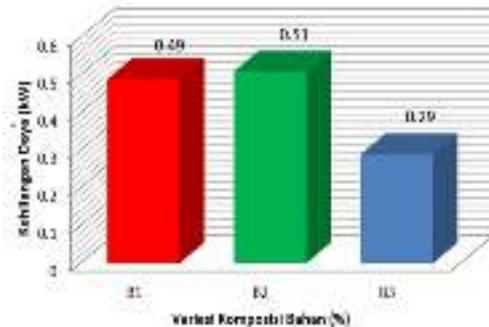
Gambar 4. Grafik hubungan variasi komposisi bahan terhadap daya bersih

Pada gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa B3 arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40% paling baik dalam daya bersih (P_{out}) sebesar 0.264 kW. Hal ini dipengaruhi oleh efisiensi pembakaran senilai 47.31% kemudian disusul B2 arang tempurung kelapa 60% dengan arang cangkang kemiri 20% mempunyai efisiensi pembakaran senilai 33.16% dan terakhir B1 arang tempurung kelapa 20% dengan arang cangkang kemiri 60% mempunyai efisiensi pembakaran 30.69%.



Gambar 5. Grafik hubungan variasi komposisi bahan terhadap daya pembakaran

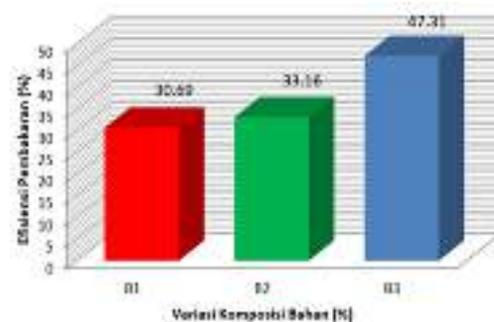
Pada gambar 5 diatas terlihat bahwa jumlah bahan bakar yang seimbang mempengaruhi hasil daya pembakaran yang maksimal yaitu pada B3 dengan campuran arang tempurung kelapa 40% dengan arang tempurung kemiri 40% yang paling unggul dalam pembakaran (P_{in}) sebesar 0.558 kW, kemudian disusul oleh B1 dengan campuran arang tempurung kelapa 20% dengan arang tempurung kemiri 60% sebesar 0.707 kW dan paling rendah pada campuran B2 arang tempurung kelapa 60% dengan arang tempurung kemiri 20% sebesar 0.763 kW.



Gambar 6. Grafik hubungan komposisi bahan terhadap kehilangan daya

Pada gambar 6 diatas dapat dilihat bahwa kehilangan daya yang paling baik dari hasil penelitian ini yaitu B3 arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40% sebesar 0.29 kW kemudian B1 arang tempurung kelapa 20% dengan arang cangkang kemiri 60% sebesar 0.49 kW dan yang paling terakhir adalah B2 arang tempurung kelapa 60% dengan arang cangkang kemiri 20% sebesar 0.51 kW.

Hal ini terjadi karna B3 arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40% dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu konsumsi bahan bakar yang terpakai (FCR) sebesar 3.06×10^{-5} dan hasil daya pembakarannya (P_{in}) sebesar 0.558 kW.



Gambar 7. Grafik hubungan variasi komposisi bahan terhadap efisiensi pembakaran

Pada gambar 7 diatas terlihat efisiensi thermal yang paling baik dari ketiga briket yaitu B3 dengan campuran arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40%, sebesar (47.31%), kemudian disusul oleh B2 dengan campuran arang tempurung kelapa 60% dengan arang cangkang kemiri 20%, sebesar (33.16%) dan yang paling rendah adalah B1 dengan campuran arang tempurung kelapa 20% dengan arang cangkang kemiri 60% sebesar (30.69%).

Dapat disimpulkan bahwa semakin rendah FCR, P_{in} dan P_{losses} yang didapatkan dalam pembakaran maka efisiensi pembakaran semakin tinggi.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Daya bersih yang paling baik didapatkan pada briket 3 dengan komposisi bahan (arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40%, tepung tapioka 10% dan tanah liat 10%) sebesar 0.264 kW.
2. Daya pembakaran yang paling baik didapatkan pada briket 3 dengan komposisi bahan (arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40%, tepung tapioka 10% dan tanah liat 10%) sebesar 0,558 kW.
3. Daya hilang yang paling baik didapatkan pada briket 3 dengan komposisi bahan (arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40%, tepung tapioka 10% dan tanah liat 10%) sebesar 0.29 kW.
4. Efisiensi pembakaran yang terbaik didapatkan pada briket 3 dengan komposisi bahan (arang tempurung kelapa 40% dengan arang cangkang kemiri 40%, tepung tapioka 10% dan tanah liat 10%) sebesar 47.31%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] Arif Effendy And Suluh Sallolo, "Study THE 1 ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SMART MATERIAL AND MECHATRONICS Graduate School of Mechanical Engineering University of Hasanuddin," 2014, no. 72, pp. 23–24.
- [2] Suluh Sallolo Dan Martina Pineng, "ANALISIS TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF," vol. 2017, pp. 217–222, 2017.
- [3] S. Suluh and P. Sampelawang, "PENGARUH PENAMBAHAN SILINDER DENGAN UP AND DOWN GRATE PADA TUNGKU PEMBAKARAN BIOMASSA," vol. 1, 2019.
- [4] Z. Djafar, N. Amaliyah, S. Suluh, M. Isra, and W. H. Piarah, "The Performance of Clay Furnace with Variation in the Diameters of the Briquette Burning Chamber The Performance of Clay Furnace with Variation in the Diameters of the Briquette Burning Chamber," 2020, doi: 10.1088/1757-899X/875/1/012068.
- [5] 2020 Suluh Sallolo And Silka., "Analisis Pemanfaatan Briket Arang Campuran Sabut Kelapa Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif," *J. neutrino Pendidik. Fis. UKI Toraja*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2020,

- [Online]. Available:
<http://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/neo>.
- [6] D. Patabang, E. Arif, and N. Azis, "Combustion reactivity of low rank coal by the mixture of candlenuts shell," 2019, doi: 10.1088/1757-899X/619/1/012014.
- [7] B. H. Tambunan, H. Saptoadi, and M. Syamsiro, "A Preliminary Study on Use of Candlenut Shell as a Renewable Source of Energy , Min Indonesia," vol. 9, pp. 17–20, 2014.
- [8] W. H. P. S. Suluh², A.R Musadat¹, Z. Djafar^{1*}, N. Amaliyah¹, "The Efficiency of Steel Plate Biomass Briquette Stove with Variation of Aluminum Cylinder Diameter S.," in *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2019, vol., pp. 100–106.
- [9] S. Suluh, "Pemanfaatan, Analisa Briket, Campuran Sekam, Arang Dengan, Padi Kemiri, Cangkang Bahan, Sebagai Alternatif, Bakar," *Dyn. saint*, vol. 6, no. 1, pp. 19–24, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v5xx.xxxx.19>.
- [10] B. H. Tambunan, M. Syamsiro, and H. Saptoadi, "CO Emissions From Burning Briquettes Of Candlenuts Shell Mixed With Charcoal," pp. 3–7.
- [11] S. Suluh, P. Sampelawang, and N. Sirande, "An Analysis of the Use of Local Bamboo as an Alternative Energy Source," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 619, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/619/1/012006.
- [12] S. Suluh, R. Tanduk, and F. B. Gallaran, "The Effect of Modification of Addition of Variation in Cylinder Diameter on Biomass Briquette Stove Performance," vol. 63, no. 05, pp. 7633–7638, 2021.
- [13] Arif Effendy And Suluh Sallolo, "Study of Performance Improvement of Various Stoves with Waste Biomass Briquettes Fuel" *THE 1 ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SMART MATERIAL AND MECHATRONICS Graduate School of Mechanical Engineering University of Hasanuddin*, " no. 72. 2014.

**[KM-01] INTEGRITAS
PERMUKAAN BENDA KERJA
AISI 316LPADA PROSES BUBUT
KERAS**

Obet T. Ranteallo^{1*}, Fred Pahabol²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin

Universitas Cenderawasih, Papua

*e-mail : take.ranteallo@gmail.com

ABSTRAK

Bubut keras adalah proses pemesinan atau pemotongan yang menggunakan sebuah pahat tunggal untuk membubut material dengan kekerasan 45 – 70 HRC. Perbedaan proses bubut keras dengan proses bubut biasa adalah terletak pada material, pahat potong yang digunakan serta kondisi pemotongan dan mekanisme pembuangan geram atau tatal yang terjadi. Adapun tujuan dari penelitian ini, mendapatkan nilai kekasaran permukaan material Stainless Steel (SS) AISI 316 L hasil proses bubut keras. Metode yang digunakan yaitu secara eksperimental di laboratorium. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini, kondisi pemotongan putaran spindel (N) yang optimal pada proses pembubutan Stainless Steel (SS) AISI 316 L, menghasilkan nilai kekasaran permukaan benda kerja rendah (halus) adalah $N = 1000$ rpm dengan $Ra = 1,620 \mu\text{m}$.

Kata kunci : mesin bubut, insert, AISI 316L, uji kekasaran

ABSTRACT

A hard lathe is a machining or cutting process that uses a single tool to blur the material with a hardness of 45 – 70 HRC. The difference between the hard lathe process and the usual lathe process lies in the material, the cut chisel used as well as the conditions of cutting and the mechanism of disposal of dignity or tatal that occurs. As for the purpose of this study, getting the surface value of stainless steel (SS) AISI 316 L material is produced from the hard lathe process. Methods used experimentally in the laboratory. The results obtained in this study, the rotational cutting conditions of spindle rotation (N) are optimal in the stainless steel (SS) process of AISI 316 L, resulting in a low (smooth) workpiece surface roughness value of $N = 1000$ rpm with $Ra = 1,620 \mu\text{m}$.

Keywords: lathe, insert, AISI 316L, roughness test

I. PENDAHULUAN

Bubut keras adalah proses pemesinan atau pemotongan yang menggunakan sebuah pahat tunggal (*single point cutting tool*) untuk membubut material dengan kekerasan 45 – 70 HRC. Proses dasarnya serupa dengan proses bubut biasa (konvensional) hanya membutuhkan sebuah mesin dan alat potong yang harus mampu menahan beban yang lebih besar dan temperatur yang lebih tinggi (Horrison. 2004). Perbedaan proses bubut keras dengan proses bubut biasa adalah terletak pada material, pahat potong yang digunakan serta kondisi pemotongan dan mekanisme pembuangan geram atau tatal yang terjadi (Lima, 2005). Proses bubut keras lebih menguntungkan karena dapat mereduksi waktu pemesinan hingga 60% (Tonshoff, et al. 1995). Bubut keras dapat menggunakan parameter pemotongan yang besar sehingga waktu pemesinan akan berkurang atau lebih kecil dibandingkan dengan proses bubut biasa dengan kondisi yang sama.

Proses bubut keras dapat dilakukan tanpa cairan pendingin atau yang dikenal dalam dunia industry yaitu pemesinan kering (*Dry machining*) atau pemesinan hijau (*Green machining*), sehingga dapat mengurangi ongkos produksi sebesar 16% hingga 20% (Sreejith & Ngoi, 2000) dan penyelamatan lingkungan karena tidak ada cairan bekas pendingin bercampur dengan bahan-bahan kimia yang digunakan saat proses berlangsung yang terbuang ke lingkungan.

Yuliarman, et al. 2011, dalam penelitiannya menganalisa penggunaan proses bubut keras sebagai pengganti proses gerinda silinder untuk mengetahui karakteristik kekasaran permukaan benda kerja. Bahan yang digunakan baja AISI Q1 dengan kekerasan 62 HRC, pahat bubut (Insert) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$. Hasil yang diperoleh, tingkat kekasaran permukaan benda kerja terkecil sebesar $Ra = 0,53 \mu\text{m}$ pada kecepatan potong (V) = 84 m/menit, laju pemakanan (f) = 0,045 put/menit dan kedalaman potong (a) = 0,35 mm.

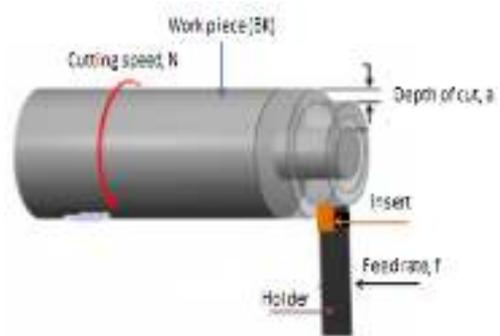
Kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pemesian, tidak hanya ditentukan oleh factor parameter pemotongan saja akan tetapi juga bergantung pada sifat bahan yang diproses, sifat pahat yang digunakan dan kondisi pemesian.

Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisis integritas permukaan material AISI 316L pada proses bubut keras.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Mesin bubut dan proses bubut

Mesin bubut adalah mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda kerja yang pengerjaannya diputar. Sedangkan proses bubut merupakan proses pemesian yang bertujuan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin yang berbentuk silindris yang dikerjakan oleh mesin bubut. Secara umum terdapat tiga gerakan utama pada mesin bubut. Pertama adalah proses bubut rata. Proses ini gerakan pemakanan dengan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga permukaan luar benda kerja akan dibuang. Yang kedua adalah proses bubut permukaan. Proses ini identik dengan proses bubut rata, tetapi arah gerak pemakanannya tegak lurus terhadap sumbu benda kerja. Yang ketiga adalah proses bubut tirus. Proses bubut ini sebenarnya identik dengan proses bubut rata yang telah disebutkan, hanya jalannya pahat membentuk suatu sudut tertentu terhadap sumbu benda kerja. Bagian-bagian dari Mesin bubut pada gambar berikut.(Sudjana., 2008). Skematik proses pembubutan, gambar 1, set data penelitian tabel 1 hanya putaran spindle (N) yang divariasikan, feeding (f) dan kedalaman potong (a) konstan.



Gambar 1. Skematik proses pembubutan

2.2. Elemen dasar proses pemotongan

Menurut Rochim(2007), pada proses bubut terdapat lima elemen dasar proses pemesian, yaitu:

a. Kecepatan potong (*cutting speed*)

Kecepatan potong merupakan kecepatan tersayatnya benda kerja hingga menghasilkan sayatan logam yang dapat berupa tatal atau *chip*. $V = \frac{\pi dn}{1000}$ (m/menit) (2.1)

Dengan :

V = Kecepatan potong (m/min)

d = Diameter benda kerja (mm)

n = Putaran poros utama (rpm)

b. Kecepatan pemakanan (*feed rate*)

Kecepatan gerak pemakanan adalah kecepatan yang dibutuhkan pahat untuk bergeser menyayat benda kerja tiap radian per menit. Kecepatan tersebut dihitung tiap menit. Untuk menghitung kecepatan gerak pemakanan didasarkan pada gerak makan (f). Gerak makan ini biasanya disediakan dalam daftar spesifikasi yang dicantumkan pada mesin bubut bersangkutan. Untuk memperoleh kecepatan gerak pemakanan yang kita inginkan kita bisa mengatur gerak makan tersebut. Untuk menghitung kecepatan gerak pemakanan dapat kita rumuskan sebagai berikut :

$$v_f = f \cdot n \quad (2.2)$$

Dengan:

v_f = kecepatan gerak pemakanan (mm/menit)

f = gerak makan (mm/put)

n = putaran spindel (rpm)

c. Kedalaman pemotongan (*depth of cut*)

Kedalaman pemakanan adalah rata – rata selisih dari diameter benda kerja sebelum dibubut dengan diameter benda kerja setelah di bubut. Kedalaman pemakan dapat diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter). Kedalaman pemakanan dapat diartikan pula dengan dalamnya pahat menusuk benda kerja saat penyayatan atau tebalnya tatal bekas bubutan. Kedalaman pemakan dirumuskan sebagai berikut :

$$a = \frac{d_o + d_m}{2} \text{ (mm)} \quad (2.3)$$

Dengan:

a = kedalaman pemotongan (mm)

d_o = diameter awal benda kerja (mm)

d_m = diameter akhir benda kerja (mm)

d. Waktu pemotongan (*cutting time*)

Waktu pemotongan bisa diartikan dengan panjang permesinan tiap kecepatan gerak pemakanan. Satuan waktu permesinan adalah milimeter. Panjang permesinan sendiri adalah panjang pemotongan pada benda kerja ditambah langkah pengawalan ditambah dengan langkah pengakhiran, waktu pemotongan dirumuskan dengan :

$$t_c = \frac{l_t}{v_f} \text{ (menit)} \quad (2.4)$$

Dengan:

t_c = waktu pemotongan (menit)

l_t = panjang pemotongan (mm)

v_f = kecepatan pemotonga (mm/menit)

e. Laju pembuangan geram (*material removal rate*)

Selama proses pemotongan berlangsung logam dibuang akibat perputaran benda kerja sebagai suatu geram tunggal yang tergantung pada parameter kerja mesin (Rochim,1993) Geram yang dihasilkan berupa suatu lembaran kecil kontinu atau berupa potongan-potongan. Besarnya laju

pembuangan adalah:

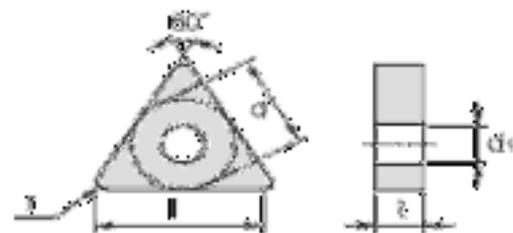
$$Z = F \cdot a \cdot V \text{ cm}^3/\text{menit} \quad (2.5)$$

Tabel 1. Set parameter pemotongan

No	(ϕ) BK mm	(Lt), mm	(N), rpm	(f), mm/pu t	(a), mm
1	20	200	490	0.045	0.5
2			750		
3			1000		
4	20	200	490	0.045	0.5
5			750		
6			1000		
7	20	200	490	0.045	0.5
8			750		
9			1000		
10	20	200	490	0.045	0.5
11			750		
12			1000		
13	20	200	490	0,045	0.5
14			750		
15			1000		

Pembubutan tanpa media pendingin (kering)

Pahat yang digunakan jenis insert seperti terlihat pada gambar 2 dan dimensinya (tabel 2).



Gambar 2. Pahat sisipan (Insert)

Tabel 2. Dimensi Pahat sisipan (Insert)

Notasi [mm]				
I	d	t	r	d ₁
15,500	9,525	4,760	0,400	3,810

2.2. Material AISI 316L

Baja Stainless AISI 316 L, termasuk jenis baja tahan karat *austenitic* (*Austenitic Stainless Steel*). Baja tahan karat banyak digunakan dalam bidang automotif dan kedirgantaraan seperti komponen pembuangan dibidang automotif, katup temperatur tinggi, ruang pembakaran, komponen mesin jet, alat potong, bearing dan lain-lain. Baja Stainless AISI 316L memiliki Komposisi kimia, tabel 3.

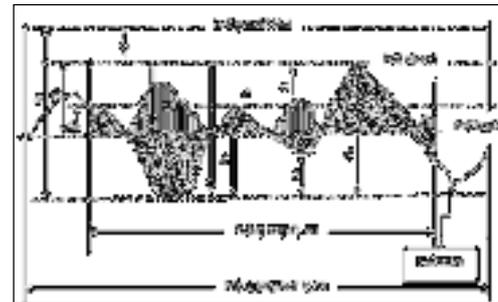
Tabel 3. Komposisi kimia Stainless AISI 316L

C	Mn	P	S	Si
0,03	2,00	0,045	0,03	0,75
Mo	N	Fe	Cr	Ni
2,0 – 3,0	0,10	67,8	16,0 – 18,0	10,0 – 14,0

Sumber: Rudianto Raharjo., dkk (2015)

2.3. Integritas permukaan

Setiap permukaan dari benda kerja yang telah mengalami proses permesinan, akan terjadi perubahan bentuk permukaannya dan jika hanya diamati secara kasat mata tidak terlihat secara jelas namun apabila menggunakan alat bantu berupa mikroskop maka terlihat jelas perubahannya. Selama proses pemessinan, adalah mustahil untuk mencapai kekasaran permukaan yang ideal karena kekasaran permukaan alami berkontribusi terhadap sebagian besar dari kekasaran. *Built Up Edge* (BUE), *chatter* pada pahat, ketidakakuratan dalam gerakan alat mesin dan cacat pada struktur benda kerja adalah penyebab kekasaran permukaan alami. Profil kekasaran permukaan menurut ISO – 1302; 2005, gambar 3.



Gambar 3. Profil kekasaran permukaan benda kerja

Menurut (Rochim, 2007), profil-profil yang diterangkan diatas dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu:

1. Kekasaran total (*peak to valley height/total height*) R_t (μm) adalah jarak profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean line*), R_p (μm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index/center line average, CLA*), R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmetik bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l (h_1) dx \quad (2.6)$$

4. Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square height*), R_q (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l h l^2 dx} \quad (2.7)$$

5. Kekasaran total rata-rata, R_z (μm) adalah jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$R_z = \sum \frac{[R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 \dots - R_{10}]}{5} \quad (2.8)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan secara eksperimental, diperoleh hasil seperti pada tabel

Tabel 4. Nilai kekasaran permukaan (Ra) proses pembubutan AISI 316L

Putaran (rpm)	Kecepatan (mm/rev)	Kecepatan (mm/min)	Kecepatan (m/min)	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (km/h)	Kecepatan (mi/h)
1			200			
2	0,25	200	750	0,045	0,5	1,570
3			2000			1,570
4			200			1,570
5	0,25	200	750	0,045	0,5	1,570
6			2000			1,570
7			200			1,570
8	0,25	200	750	0,045	0,5	1,570
9			2000			1,570
10			200			1,570
11	0,25	200	750	0,045	0,5	1,570
12			2000			1,570
13			200			1,570
14	0,25	200	750	0,045	0,5	1,570
15			2000			1,570

Tabel 4 hasil pengujian, memperlihatkan putaran spinder (N) yang makin meningkat maka integritas kekasaran permukaan (Ra) benda kerja semakin halus. Tabel 4 juga menunjukkan bahwa pengulangan pengujian lima kali dengan kondisi yang sama hasilnya tetap menunjukkan bahwa semakin meningkat putaran spindel, semakin kecil pula nilai kekasaran permukaan (Ra) hal ini disebabkan karena ketika putaran semakin cepat maka perpindahan kecepatan *feeding* semakin kecil atau semakin rapat sehingga permukaan benda kerja yang tersayat oleh pahat semakin kontinu dan permukaan menjadi halus. Profil permukaan benda kerja hasil pengujian (profil pembubutan ke-1 sampai ke-5) seperti terlihat pada tabel berikut:.

Tabel 5. Profil BK pada pembubutan ke-1

Parameter pemotongan	Profil BK	Print out
N = 490 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 750 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 1000 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		

Tabel 5 menunjukkan profil permukaan benda kerja pada pembubutan ke-1, terlihat semakin tinggi putaran spindle (N) maka semakin halus permukaan benda kerja. Demikian juga terlihat pada pembubutan ke-2, ke-3, ke-4, dan ke-5, tabel 6, 7,8, dan 9.

Tabel 6. Profil BK pada pembubutan ke-2

Parameter pemotongan	Profil BK	Print out
N = 490 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 750 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 1000 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		

Tabel 7. Profil BK pada pembubutan ke-3

Parameter pemotongan	Profil BK	Print out
N = 490 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 750 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 1000 rpm; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		

Tabel 8. Profil BK pada pembubutan ke-4

Parameter pemotongan	Profil BK	Print out kekasaran
N = 490 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 750 rpm ; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 1000 rpm; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		

Tabel 9. Profil BK pada pembubutan ke-5

Parameter pemotongan	Profil BK	Print out
N = 490 rpm; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 750 rpm; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		
N = 1000 rpm; f = 0,045 mm/rev; a = 0,5 mm		

IV. KESIMPULAN

Integritas permukaan benda kerja AISI 316L secara rata-rata (R_a) = 1,620 μ m pada putaran spindle (N) = 1000 rpm, makin besar putaran spindle maka semakin kecil nilai kekasaran permukaan benda kerja.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis aturkan kepada pimpinan seluruh staf pengelola jurnal Mechanical Engineering Science (MES) yang telah memberikan penulis ruang untuk mempublikasikan hasil penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Gusri, A.I., (2014). Pengaruh Pemesinan Kering Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium. Jurnal Mekanikal Vol. 5, No. 2. Teknik Mesin Universitas Lampung.
- [2] Harrison, I.S., (2004). Detecting White Layer In Hard Turned Components Using Non-Destructive Methods.

- [3] Lima J.G., (2005). Hard Turning AISI 4340 high Strength Low Alloy Steel and AISI D2 Cold Work Tool Steel.
- [4] Rochim,T., 2002. Optimasi Proses Pemesinan, Laboratprium Teknik Produksi Mesin Institut Teknologi Bandung.
- [5] Rochim,T., 2007, “Proses pemesinan buku 1 : Klasifikasi proses, gaya dan pemesinan”, Bandung: ITB.
- [6] Rudianto Raharjo, dkk., 2015. Tingkat Kekasaran Permukaan Stainless Steel 316L Akibat Tekanan Steelballpeening. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin XIV Banjarmasin.
- [7] Sreejith,P.S and Ngoi,B.K.A., 2000. Dry Machining: Machining of the future, School of Mechanical and Production Engineering. Nanyang Technology University Singapore.
- [8] Thamizhmanii,S.et.al., 2011. Performance of Deep Cryogenically treated and non-treated PVD Inserts in Milling. Journal of Achievmants in materials and Manufacturing Engineering, Vol. 49, Issue 2, Desember 2011, pp. 460-466.
- [9] Widarto., 2008, Teknik Pemesinan, Jakarta : Depdiknas.
- [10] Yuliarman, Asmed, Zulhendri, Nota Effiandi., (2011). Analisa Penggunaan Proses Bubut Keras Sebagai Pengganti Proses Gerinda Selinder. Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.

**[KM-02] ANALISA PENGARUH
GEOMETRI PAHAT VARIABEL
HELIX ANGLE PADA
PARAMETER MESIN CNC
MILLING VERTIKAL TERHADAP
NILAI GETARAN CHATTER
MENGUNAKAN METODE
STABILITY LOBE DIAGRAM**

Festo Andre Hardinsi^{1*}

**¹Jurusan Teknik Perawatan dan Perbaikan
Mesin**

Politeknik Negeri FakFak, Papua

*** e-mail : festoandrehardinsi@yahoo.com**

ABSTRAK

Getaran yang sering terjadi pada pengerjaan proses produksi menggunakan permesinan CNC milling merupakan hal yang sangat penting untuk diperhitungkan. Getaran ini dapat menyebabkan perubahan dimensi dan mempengaruhi tingkat kualitas benda kerja yang dihasilkan, sehingga efek getaran chatter atau self-excited vibration pada proses pengerjaan produksi menjadi masalah utama dalam proses permesinan milling. Nilai getaran chatter ditentukan menggunakan grafik SLD secara ekperimental untuk mengetahui batas antara chatter free dan chatter occurs.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Stanless steel 304, dengan menggunakan sensor MPU 6050 yang terhubung pada mikrokontroler Arduino Uno menggunakan software LabVIEW 2019 student edition yang digunakan untuk mengidentifikasi nilai acceleration getaran chatter. Besar nilai acceleration diukur menggunakan FFT, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dalam bentuk eksperimental, dengan geometri pahat Variabel Helix Angle (VHA) Hasil pada Grafik Stability Lobe Diagram yang didapatkan pada proses permesinan slot milling menggunakan pahat variable helix angle 36/38 derajat dengan feed rate 150 mm/mnt memiliki chatter free yang lebih tinggi dibandingkan dengan feed rate 100 dan 125 mm/mnt.. Dari hasil yang didapatkan bahwa semakin tinggi nilai feed rate maka nilai acceleration getaran chatter semakin rendah.

Kata kunci : Chatter, VHA 40/42, SLD, FFT.

ABSTRACT

Vibrations that often occur in the production process using CNC milling machines are very important things to take into account. This vibration can cause dimensional changes and affect the quality level of the resulting workpiece, so that the effect of chatter vibration or self-excited vibration in the production process is a major problem in the milling machining process. The chatter vibration value was determined using an SLD graph experimentally to determine the boundary between chatter free and chatter occurs.

The material used in this study is 304 stainless steel, using an MPU 6050 sensor connected to the Arduino Uno microcontroller using the LabVIEW 2019 student edition software which is used to identify the chatter vibration acceleration value. The magnitude of the acceleration value is measured using FFT, the method used in this study is in an experimental form, with Variable Helix Angle (VHA) chisel geometry. a feed rate of 150 mm/min has a higher free chatter compared to a feed rate of 100 and 125 mm/min. From the results obtained, the higher the feed rate value, the lower the chatter vibration acceleration value

Keywords: Chatter, VHA 40/42, SLD, FFT.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, kemajuan bidang keteknikan, sains, dan teknologi mempengaruhi perkembangan dalam dunia industri dan manufaktur. Proses produksi pada bidang otomotif, aerospace, mould industries, hingga kemiliteran membutuhkan tingkat efisiensi produksi, produktivitas dan high precision product yang tinggi sehingga memenuhi kebutuhan pasar dan permintaan yang ada. Dalam upaya memenuhi perihal tersebut, diperlukan kualitas mesin perkakas yang digunakan, pemilihan parameter dalam proses permesinan, hingga pemilihan metode-metode yang tepat. Salah satu mesin produksi yang tepat untuk menghadapi perihal tersebut adalah mesin vertical milling center. Karakteristik getaran dinamis yang bekerja dalam arah vertical dapat menimbulkan simpangan yang bervariasi [1].

Mesin *vertical milling center* adalah jenis mesin CNC dengan putaran spindel utama pada posisi vertikal. Efek getaran *chatter* atau *self-excited vibration* pada proses pengerjaan produksi menjadi masalah utama dalam proses permesinan *milling*. Efek getaran ini dapat menyebabkan perubahan dimensi sehingga mempengaruhi tingkat desain produk [2]. *Chatter* merupakan getaran *self-excited* yang dapat terjadi selama operasi permesinan dan menjadi batasan umum untuk produktivitas dari sisi bagian kualitas [3]. *Chatter* dapat terjadi dalam proses permesinan antara lain permesinan *turning* [4], *milling* [5]. *Chatter* diklasifikasikan dalam dua kategori yang berbeda yaitu primer dan sekunder. kategori primer yaitu *chatter* yang dihasilkan pada proses pemotongan seperti, yaitu gesekan antara alat dan benda kerja. Dalam kategori sekunder, *chatter* disebabkan oleh efek regenerasi permukaan bergelombang pada benda kerja [9].

Efek *chatter* dalam proses permesinan dapat mengakibatkan, kerusakan pahat, kebisingan yang berlebihan, ketidakakuratan, dan permukaan yang buruk [10]. Untuk mengurangi terjadinya getaran *chatter* yang berlebihan pada permesinan, diperlukan suatu cara untuk meminimalisir *chatter* pada proses pengoperasian. Salah satu cara untuk mengetahui terjadinya *chatter* yang berlebihan dengan menggunakan *stability lobe diagram*. *Stability lobe diagram* merupakan diagram yang menunjukkan batas antara zona stabil dan tidak stabil dari proses pemotongan dengan menggunakan parameter *depth of cut* dan *spindle speed* sebagai parameter perbandingan. Fungsi utama dari parameter di atas, yaitu untuk menunjukkan batas antara *stable cut* dan *unstable cut* yang bertujuan untuk memberitahukan daerah mana yang disarankan dalam proses pemotongan. Daerah yang disarankan merupakan daerah yang memiliki sedikit peluang terjadinya *displacement* pada *cutting tool* yang dapat mengakibatkan efek *regenerative* atau *chatter*. [11] melakukan

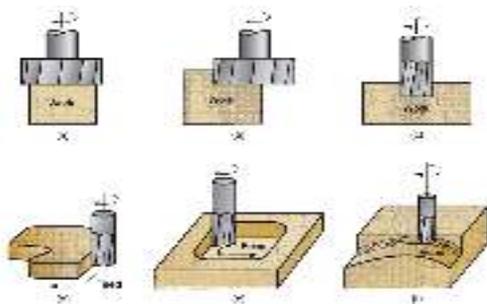
penelitian tentang *chatter stability prediction* menggunakan mesin *milling* 4 axis pada material *aluminium alloy* untuk *aero-engine casings*, eksperimen tersebut menggunakan pahat *bull nosed-endmill*. Penelitian tersebut menggunakan *stability lobe diagram* sehingga mendapatkan *spindle speed* dan *radial depth of cut* yang ideal untuk mengidentifikasi *chatter* dalam proses permesinan. [12] melakukan penelitian tentang optimasi bentuk geometri pahat *variable helix* untuk mengurangi timbulnya *chatter*. Dari penelitian ini dihasilkan kesimpulan bahwa *regenerative chatter* dapat diminimalisir dengan cara menggunakan pahat *variable helix angle* dibandingkan dengan pahat biasa. Bentuk geometri atau variasi sudut helix pada pahat memberikan stabilitas yang baik pada proses pemakanan benda kerja yang mana hal tersebut mereduksi timbulnya *chatter* sehingga benda kerja yang dihasilkan memiliki kekasaran permukaan yang baik.

[13] melakukan penelitian tentang teknik mereduksi *chatter* dalam pemotongan logam. Parameter-parameter seperti *cutting force*, *dynamic force* pada sistem, *process parameter*, dan geometri pahat, ditentukan dengan menggunakan *stability lobe diagram*. Efek-efek yang ditimbulkan oleh adanya getaran vertikal yang berfluktuasi adalah dapat mempengaruhi kualitas kerja dalam suatu system, [14]. Dari penelitian ini dihasilkan kesimpulan bahwa *chatter* dapat ditekan dengan cara menerapkan CSSV (*continuous spindle speed variation*), menggunakan pahat *variable helix angle*. Dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran *spindle* dan semakin kecil *depth of cut* yang digunakan akan mereduksi timbulnya *chatter*. Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan dari penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh parameter kecepatan *spindle speed*, kedalaman potong, dan variabel sudut *helix angle* terhadap getaran *chatter* menggunakan diagram SLD (*stability lobe diagram*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Proses CNC Fraisi (Milling)

milling merupakan proses pemesinan yang paling banyak digunakan dalam tahap fabrikasi di industri manufaktur. Di masa sekarang mesin CNC *milling* sering digunakan karena memiliki sifat fleksibilitas, fleksibilitas memungkinkan pembuatan produk dalam waktu yang lebih singkat dengan biaya lebih murah dan menghasilkan *surface finish* yang baik. *End milling* adalah salah satu operasi *milling* yang penting, dalam industri manufaktur karena kemampuannya dapat menghasilkan permukaan geometris yang kompleks dengan akurasi tinggi Sistem operasi *milling* dengan proses *face milling* dan *end-milling* pada benda kerja dapat ditunjukkan pada Gambar 1.. Proses *face milling* menghasilkan permukaan normal pada sumbu rotasi. *Face milling* digunakan untuk permukaan datar yang relatif lebar sedangkan *end-Milling* digunakan untuk, membuat profil, pada oprasi *slotting*.



Gambar 1. Sistem proses pada mesin fraisi

2. Parameter Pemotongan

Parameter pemotongan merupakan kondisi-kondisi yang ditentukan dalam melakukan proses permesinan. Terdapat beberapa macam parameter pemotongan pada proses *End-milling*, antara lain:

1. Kecepatan pemotongan dan *Spindle speed*
Kecepatan pemotongan (V_c) merupakan kecepatan tangensial dari sisi luar pahat potong. Kecepatan

pemotongan secara langsung berkaitan dengan diameter pahat potong dan kecepatan putaran *spindle*, seperti pada persamaan 2.1.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan:

V_c = Kecepatan pemotongan (m/min)

D = Diameter pahat potong (mm)

N = *Spindle speed* (rpm)

Besarnya nilai diameter pahat potong dalam satu kali jalannya pemakanan pada proses *milling* selalu tetap sehingga dalam parameter ini kecepatan putaran *spindle* yang mempengaruhi kualitas suatu produk.

2. *Feed per tooth*

Feed per tooth (f_z) merupakan jarak yang ditempuh pahat dalam menyayat benda kerja per jumlah sudu pahat (*cutting edge*). Parameter ini juga dapat diartikan sebagai ketebalan *chip* yang dihasilkan untuk satu sudu pahat, sesuai dengan persamaan berikut:

$$f_z = \frac{V_f}{z \cdot N} \dots\dots\dots(2-2)$$

dengan:

f_z = *Feed per tooth* (mm/tooth)

V_f = *Feed rate* (mm/min)

z = Jumlah sudu pahat (tooth)

N = Kecepatan putaran *spindle* (rpm)

3. *Depth of Cut*

Depth of cut adalah dalamnya pemotongan benda kerja yang dilakukan oleh pahat potong. Terdapat dua macam *depth of cut* pada proses *milling* antara lain *axial depth of cut* (a_p) dan *radial depth of cut* (a_c). Keduanya berpengaruh

terhadap beban yang diterima oleh pahat potong. Beban yang diterima pahat akan semakin meningkat ketika nilai *depth of cut* semakin besar.

4. *Material removal rate*

Material removal rate atau Laju pemindahan material dalam milling, dapat ditentukan menggunakan dari luas penampang potongan dan laju pemakanan. Dengan demikian, jika operasi milling pada pelat memotong benda kerja. dengan lebar (*w*) pada kedalaman (*d*), tingkat penghapusan material adalah.

$$RMR = wd fr \dots \dots \dots (2-3)$$

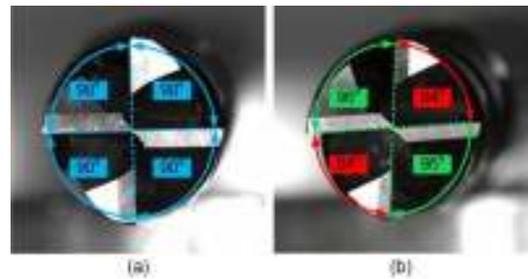
dengan:
w = Lebar luas penampang (mm²)
d = Kedalaman potong, mm (in)
fr = Kecepatan Pemakanan (mm/mnt)

5. *Stainless Steel*

Baja tahan karat dikembangkan untuk mendapatkan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon tradisional dan memungkinkan dapat bekerja pada suhu yang lebih tinggi. Ada banyak stainless steel dalam industri, tetapi baja tahan karat austenitik dan feritik umumnya digunakan dalam industri manufaktur [15]

6. **Geometri Pahat**

Fitur *geometri end mill* terdiri dari diameter (*D*), jumlah flute dan sudut *helix angle* (β) jumlah *flute* dan nilai sudut *rake* dapat memengaruhi kekakuan *cutter end mill*. *Helix angle* adalah sudut dari alur mata sayat pada *end mill cutter*. [16] *Helix Angle* dapat divariasikan tergantung dari keinginan dan kemampuan perusahaan dalam memproduksi sudut kemiringan dari mata sayat pahat. [17]



Gambar 2 End mill cutter dengan 4 flute, a) Normal helix angle 90° b) Variable helix angle (84° dan 96°)

7. **Efek Regeneratif**

Regenerative effect disebut juga *Self-excited vibration (chatter)*, *regenerative effect* merupakan siklus yang terbentuk ketika *cutting tool* mengalami perpindahan secara dinamis antara *cutting* dan benda kerja, sehingga menimbulkan *cutting force* dan siklus ini berlangsung terus-menerus seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.



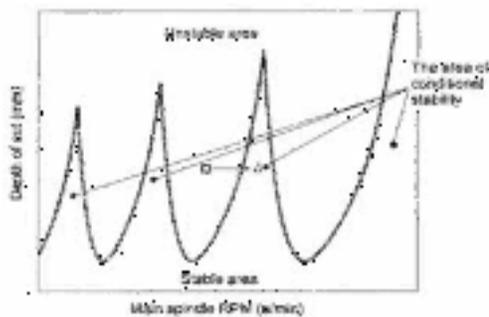
Gambar 3 Closed-loop regenerative effect

Mekanisme terjadinya efek regenerative atau chatter terdapat pada jumlah gigi dan variasi sudut pahat pada proses pemotongan, menyebabkan variasi ketebalan *chip*, hal ini disebabkan adanya kondisi pemotongan seperti *feedrate*, kedalaman pemotongan, dan putaran *spindle*

8. **Stability Lobe Diagram**

Stability lobe diagram adalah diagram yang menunjukkan batas antara zona stabil dan tidak stabil dari proses pemotongan dengan menggunakan *depth of cut* dan *spindle speed* sebagai parameter perbandingannya. Fungsi utama dari parameter diatas adalah menunjukkan batas antara *stable cut* dan *unstable cut* yang

berfungsi untuk memberitahukan daerah mana yang disarankan dalam proses pemotongan. Daerah yang disarankan adalah daerah yang memiliki sedikit peluang terjadinya *displacement* dan menimbulkan efek *regenerative chatter*. Seperti disebutkan di atas, *stability lobe diagram* menunjukkan batas antara zona stabil dan tidak stabil dari proses pemotongan, tergantung pada kedalaman pemotongan secara aksial b_{lim} , dan kecepatan *spindle rpm* (Gambar. 4).



Gambar 4. Stability lobe diagram

III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental bertujuan untuk mencari pengaruh dari *variable helix angle and pitch tool* terhadap transformasi *stability lobe diagram* dan kekasaran permukaan dibandingkan dengan *normal helix angle and pitch tool* menggunakan mesin VMC (*Vertical Machining Center*). *Chatter control* pada proses permesinan menggunakan material *stainless steel 304*.

Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan adalah variasi *spindle speed* yang digunakan pada masing-masing *tool* berikut, dan dengan variasi *axial depth of cut*.

Tabel 1.

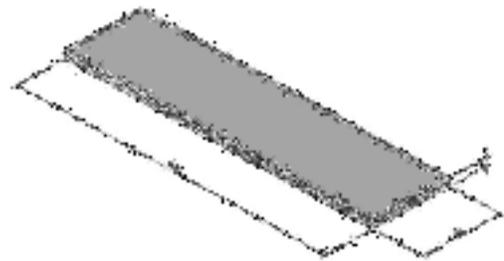
Parameter Variabel Penelitian

Parameter	Unit
Variabel Helix angle	(derajat) 36/38

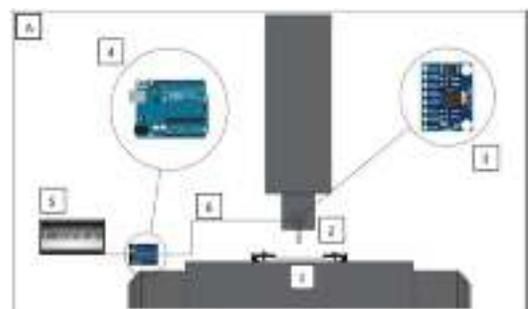
Angle	(RPM)	3
Spindel Speed)	2500
Feed Rate	(mm/s)	125
Depth Of Cut	(mm)	0.5

II. Material dan Alat

Benda kerja *stainless steel 304* berdimensi $200 \times 50 \times 5 \text{ mm}^3$ digunakan dalam proses permesinan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



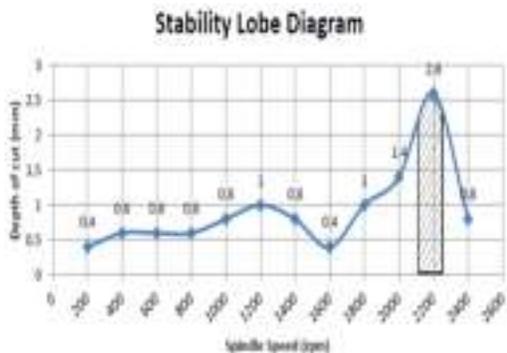
Gambar 5 Dimensi Benda Kerja



Gambar 6 Skema Penelitian

Pada Gambar 6 menunjukkan proses pemakanan benda kerja *Stainless Steel 304* (1) dipasang tepat di bawah *endmill tool* (2) yang digunakan sebagai *cutting tool* dalam proses *slot milling*. Proses pemakanan pertama menggunakan pahat variabel *helix angle* dengan mengatur

putaran *spindle* (rpm) dan *feed* sehingga motor pneumatik dari mesin akan berputar menggerakkan *spindle* dan *table*. Selama proses pemakanan dilakukan pengambilan data *shifting* menggunakan *accelerometer* MPU6050 (3) kemudian data tersebut diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno (4). Mikrokontroler Arduino uno dikoneksikan ke Laptop (5) yang sudah terinstall *software* LabVIEW 2019 *version student edition* dan telah dibuat program yang bisa menerjemahkan getaran yang terjadi menjadi data dalam bentuk *time domain*, setelah itu data *time domain* di input ke dalam *software* DIAdem untuk mendapatkan data grafik dalam bentuk FFT (*Fast Fourier Transform*). Adapun pembuatan program



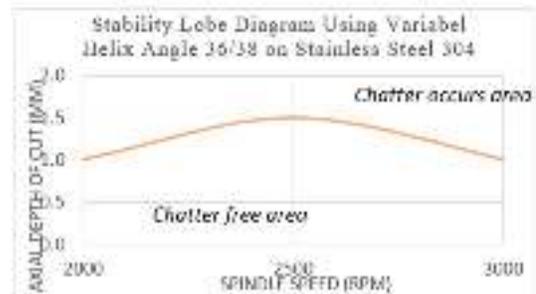
Gambar 7 Stability Lobe Diagram

Pada Gambar 7 menunjukkan batas antara zona stabil dan tidak stabil dari proses pemotongan yang bergantung kepada *depth of cut* dan *spindle speed*. Sebagai fungsi dari dua parameter pemotongan ini, batas antara *stable cut* dan *unstable cut* dapat ditunjukkan dalam *stability lobe diagram*. Penyusunan *stability lobe diagram* dapat dilakukan dengan *analytical method*, *semi analytical method*, dan *eksperimental method* (Palpandian, Prabhu & Satish, 2013).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Hasil Penelitian

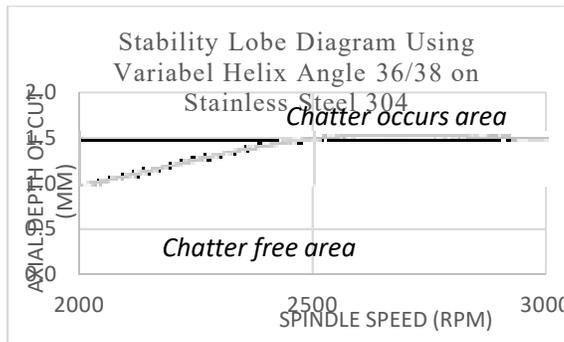
Setelah melakukan pengambilan data secara eksperimental, dari hasil proses permesinan *slot milling* dan pengamatan *acceleration-time domain* pada *software* LabVIEW 2019 *student edition* dengan menggunakan *variable helix 36/38* (derajat) pada variasi *spindle speed* yaitu 2000, 2500, 3000 (RPM), *axial depth of cut* yaitu 0.5, 1 dan 1.5 (mm) dan *Feed Rate* yaitu 100, 125 dan 150 (mm/mnt). Pembuatan SLD dilakukan dengan perbandingan nilai *fast fourier transform* (FFT) pada setiap parameter *Axial depth of cut* dan *Spindel Speed* dengan menggunakan *software* DIAdem 2019 *student edition* grafik SLD dapat ditunjukkan pada gambar 8,9 dan 10.



Gambar 8. Hasil Stability Lobe Diagram Menggunakan Feed Rate 100 mm/mnt



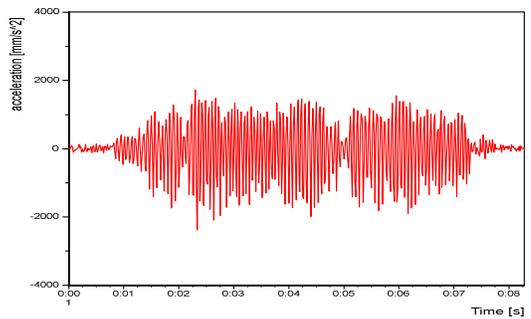
Gambar 9. Hasil Stability Lobe Diagram Menggunakan Feed Rate 125 mm/mnt.



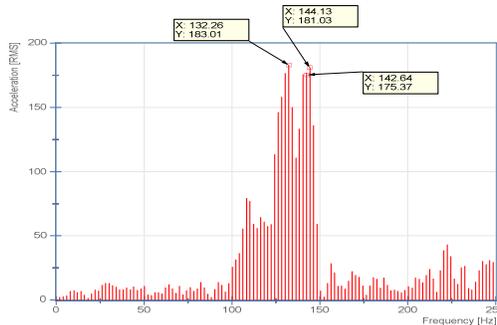
Gambar 10. Hasil Stability Lobe Diagram Menggunakan Feed Rate 150 mm/mnt

2. Grafik dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan pada salah satu variasi putaran spindel yaitu 3000 RPM dengan menggunakan pahat *variable helix*. Pada variasi tersebut terjadi *chatter* pada *axial depth of cut* 1.0 mm pada pemakanan sebelumnya pada *axial depth of cut* 0.5 mm dengan variasi *feed rate* 100, 125, 150 mm/mnt.

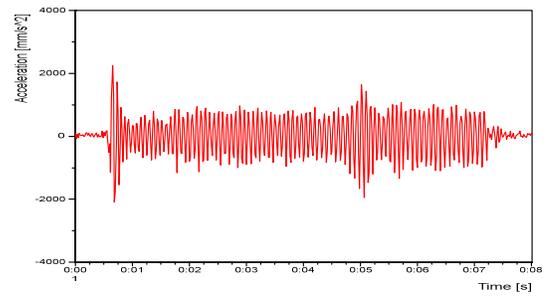


(A)

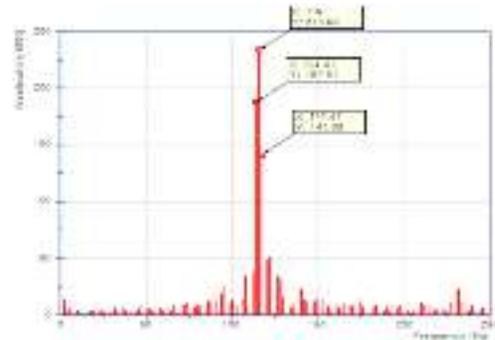


(B)

Gambar 11 (A) Grafik Acceleration-Time Domain dan (B) Grafik Fast Fourier Transform pada Spindle Speed 3000 RPM dan Depth of Cut 1.0 mm dengan Feed Rate 100 mm/mnt

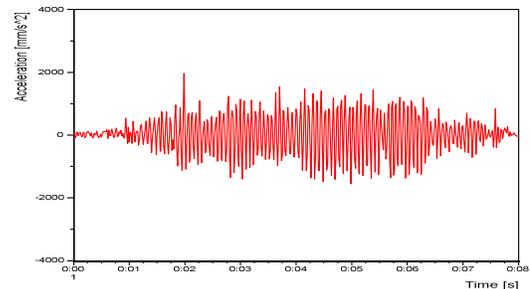


(A)

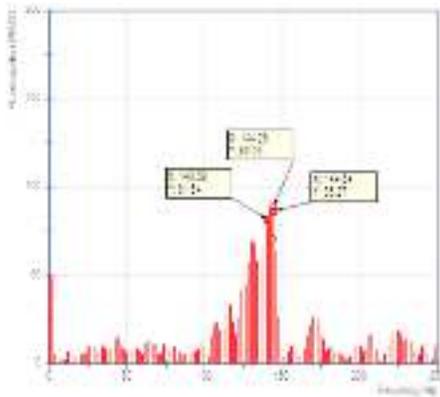


(B)

Gambar 12 (A) Grafik Acceleration-Time Domain dan (B) Grafik Fast Fourier Transform pada Spindle Speed 3000 RPM dan Depth of Cut 1.0 mm dengan Feed Rate 125 mm/mnt



(A)



(B)

Gambar 13 (A) Grafik *Acceleration-Time Domain* dan (B) Grafik *Fast Fourier Transform* pada *Spindle Speed* 3000 RPM dan *Depth of Cut* 1.5 mm dengan *Feed Rate* 150 mm/mnt.

Pada gambar 11,12 dan 13 merupakan hasil *signal processing* berupa grafik *acceleration-time domain* dan FFT (*Fast Fourier Transform*) dari proses permesinan *slot milling* pada variasi putaran spindle 3000 RPM dengan menggunakan *variable helix and pitch tool* dengan sudut *helix* 40/42 derajat, *depth of cut* 1.0 mm. Pengukuran besaran nilai *acceleration* getaran *chatter* diukur menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*), nilai *acceleration* pada *Feed rate* 100 mm/mnt sebesar 183.01 RMS, 181,03 RMS dan 175,37 RMS, nilai *acceleration* pada *Feed rate* 125 mm/mnt sebesar 233,68 RMS, 187.51 RMS dan 141,35 RMS, sedangkan nilai *acceleration* pada *Feed rate* 150 mm/mnt sebesar 89.06 RMS, 86,27 RMS dan 81,64 RMS.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa grafik *stability lobe diagram* yang dihasilkan dari penelitian eksperimental ini, dapat diketahui bahwa proses permesinan *slot milling* menggunakan *variable helix angle* 36/38 derajat dengan *feed rate* 150 mm/mnt memiliki *free chatter area* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *feed rate* 100 dan 125 mm/mnt. Hal ini dapat terjadi karena adanya

perbedaan kecepatan pemakanan pada *cutting tool* sehingga dapat menyebabkan adanya variasi nilai *tooth passing frequency* dan mengurangi peluang terjadinya *chatter* pada proses permesinan. Hasil nilai *acceleration* diukur menggunakan FFT, dari hasil tersebut didapatkan bahwa semakin tinggi *feed rate* maka nilai getaran *chatter* semakin rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik

REFERENSI

- [1] S. Ka'Ka, S. Himran, I. Renreng, and O. Sutresman, "Modeling of Vertical Dynamic Vibration Characteristics on Vehicles Suspension System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 619, no. 1, 2019.
- [2] V. R. Mamilla, M. Srinivasulu, and P. N. Mani, "Study on computer numerical control (CNC) machines," *Int. J. Adv. Sci. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–25, 2016.
- [3] G. Quintana and J. Ciurana, "Chatter in machining processes: A review," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 51, no. 5, pp. 363–376, 2011.
- [4] K. R. Kashyzadeh and M. J. O. Ghorabi, "Study of Chatter Analysis in Turning Tool And Control Methods – A Review," vol. 2, no. 4, pp. 1–5, 2012.
- [5] a K. M. N. Amin, A. U. Patwari, M. S. Sharulhazrin, and I. Hafizuddin, "Investigation of Effect of Chatter Amplitude on Surface Roughness during End Milling of Medium Carbon Steel," *Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, pp. 127–131, 2010.

- [6] I. M. Mehrabadi, M. Nouri, and R. Madoliat, "Investigating chatter vibration in deep drilling, including process damping and the gyroscopic effect," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 49, no. 12–13, pp. 939–946, 2009.
- [7] A. Hassui and A. E. Diniz, "Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 855–862, 2003.
- [8] M. Wiercigroch and A. M. Krivtsov, "Frictional chatter in orthogonal metal cutting," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 359, no. 1781, pp. 713–738, 2001.
- [9] M. Siddhpura and R. Paurobally, "A review of chatter vibration research in turning," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 61, pp. 27–47, 2012.
- [10] M. C. Salcedo, E. Y. Rodriguez, and G. V. Ochoa, "Study and analysis of the chatter in the milling the stainless steel 302 and alloy steel 4140," *Contemp. Eng. Sci.*, vol. 11, no. 55, pp. 2715–2722, 2018.
- [11] X. Zhou, D. Zhang, M. Luo, and B. Wu, "Chatter stability prediction in four-axis milling of aero-engine casings with bull-nose end mill," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 28, no. 6, pp. 1766–1773, 2015.
- [12] A. R. Yusoff and N. D. Sims, "Optimisation of variable helix tool geometry for regenerative chatter mitigation," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 51, no. 2, pp. 133–141, 2011.
- [13] M. Zatarain, J. Alvarez, I. Bediaga, J. Munoa, and Z. Dombovari, "Implicit subspace iteration as an efficient method to compute milling stability lobe diagrams," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 77, no. 1–4, pp. 597–607, 2015.
- [14] S. Ka'Ka, S. Himran, I. Renreng, and O. Sutresman, "Effects of Work on Shock Absorber and Spiral Springs Against Vertical Loads of Vehicles Burdening the Road Structure," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 676, no. 1, 2019.
- [15] Karunya, G., P. Ravikumar, P. Geeta Krishna, and P. Shiva Krishna. 2017. "Optimization of the Surface Roughness by Applying the Taguchi Technique for the Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel." *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 8(8): 694–701.
- [16] Izamshah, Raja et al. 2013. "Effects of End Mill Helix Angle on Accuracy for Machining Thin-Rib Aerospace Component." *Applied Mechanics and Materials* 315: 773–77.
- [17] Mei, Jiawei et al. 2018. "Analytical Modeling, Design and Performance Evaluation of Chatter-Free Milling Cutter with Alternating Pitch Variations." *IEEE Access* 6(c): 32367–75.

**[KM-03] OPTIMASI KEKUATAN
TARIK MATERIAL KOMPOSIT
DENGAN ANYAMAN BILAH
BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus
asper*) SEBAGAI PENGUAT**

Frans Robert Bethoni^{1*}, Chendri Johan²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
*email : frobethony@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kekuatan tarik yang optimum material komposit dengan anyaman bilah bambu petung (*Dendrocalamus asper*) sebagai bahan penguat. Untuk mendapatkan kekuatan tarik optimum dengan melakukan pengujian menggunakan alat uji tarik universal.

Bambu petung dibuat berbentuk bilah setebal 1 mm, lebar 10 mm, dan panjang 300 mm lalu dianyam lalu direndam didalam air payau dengan variasi salinitas 10, 20, dan 30 *parts per million* (‰) selama 0, 2, 4, 6, dan 8 minggu. Komposit yang dicetak terdiri dari resin epoksi 60% dan 40% katalis sebagai pengeras dengan anyaman bilah 1, 2, dan 3 lapis dan ditahan selama 12 jam. Pencetakan komposit dengan metode *hand lay-up*, yaitu mencetak komposit dengan manual. Untuk komposit 1 lapis anyaman, resin epoksi dituang ke cetakan lalu anyaman dan ditutup dengan resin epoksi kemudian dipres. Untuk komposit 2, 3 lapis anyamn proses yang sama dengan komposit 1 lapis anyaman. Komposit yang sudah dilepas dari wadah cetaknya, kemudian didiamkan didalam ruangan selama satu minggu. Komposit direparasi untuk memeriksa apakah ada cacat atau tidak terutama pada bagian permukaan. Proses selanjutnya adalah pembuatan sampel uji, untuk uji tarik berdasarkan ASTM (D638-02) dan uji bending sesuai ASTM (D790-02). Sebelum pengujian dilakukan sampel direparasi terlebih dahulu untuk memastikan bahwa sampel sudah dalam keadaan standar untuk siap diuji.

Hasil pengujian kekuatan tarik optimal komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung tanpa perendaman 1 lapis (36,436 MPa), 2 lapis (45,840 MPa), dan 3 lapis (58,143 MPa). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 1 lapis, 10 ‰, dan waktu perendaman 8 minggu (43,962 MPa) mengalami kenaikan (17,119 ‰). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 2 lapis, 10 ‰, waktu perendaman 2 minggu (56,443 MPa) mengalami kenaikan (18,785 ‰). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 3 lapis, 10 ‰, dan waktu perendaman 2 minggu (65,479 MPa) mengalami kenaikan (11,204 ‰). Kekuatan tarik

optimal komposit dengan anyaman 1 lapis 20 ‰ dan waktu perendaman 4 minggu (46,437 MPa) mengalami kenaikan (21,537 ‰). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 2 lapis 20 ‰, dan waktu perendaman 4 minggu (50,921) mengalami kenaikan (9,978 ‰). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 3 lapis 20 ‰ 4 minggu (61,534) mengalami kenaikan (5,511 ‰). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 1 lapis, 30 ‰, dan waktu perendaman 6 minggu (45,337 MPa) mengalami kenaikan (6,851 ‰). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 2 lapis, 30 ‰, dan waktu perendaman 4 minggu (48,946 MPa) mengalami kenaikan (6,346 ‰). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman 3 lapis, 30 ‰, dan waktu perendaman 4 minggu (61,408 MPa) mengalami kenaikan (5,317 ‰). Dengan memperhatikan perubahan yang terjadi pada masing-masing lapisan dan perlakuan tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa yang paling mengalami peningkatan kekuatan tarik yang signifikan adalah pada perendaman 4 minggu pada salinitas 20 ‰ dan anyaman 1 lapis, yaitu mengalami kenaikan (21,537 ‰).

Kata-kata kunci: bilah bambu petung, air payau, lama perendaman, kekuatan tarik.

Abstract

*This study aims to obtain the optimum tensile strength of composite materials with woven petung bamboo (*Dendrocalamus asper*) as a reinforcing material. To get the optimum tensile strength by testing using a universal tensile tester.*

Petung bamboo is made in the form of blades 1 mm thick, 10 mm wide, and 300 mm long and then woven and then soaked in brackish water with variations in salinity of 10, 20, and 30 parts per million (‰) for 0, 2, 4, 6, and 8 week. The molded composite consisted of 60% epoxy resin and 40% catalyst as hardener with 1, 2, and 3 ply woven blades and held for 12 hours. Composite printing using the hand lay-up method, namely printing composites manually. For composites of 1 layer woven, the epoxy resin is poured into a mold and then woven and covered with epoxy resin and then pressed. For composites of 2, 3 layers of webbing, the process is the same as for composites of 1 layer of webbing. The composite that has been removed from the mold container is then left in the room for one week. Composites are repaired to check whether there are defects or not, especially on the surface. The next process is the manufacture of test samples, for tensile tests based on ASTM (D638-02) and bending tests according to

ASTM (D790-02). Before the test is carried out, the sample is repaired first to ensure that the sample is in a standard state to be ready to be tested.

The results of testing the optimal tensile strength of petung bamboo slat reinforced composite without immersion were 1 layer (36,436 MPa), 2 layers (45.840 MPa), and 3 layers (58,143 MPa). The optimal tensile strength of composite with 1 ply woven, 10, and immersion time of 8 weeks (43.962 MPa) increased (17,119 %). The optimal tensile strength of composite with 2 layers of woven, 10, 2 weeks immersion time (56.443 MPa) increased (18.785%). The optimal tensile strength of composites with 3 layers of woven, 10, and 2 weeks of immersion (65,479 MPa) increased (11,204%). The optimal tensile strength of the composite with 1 ply woven 20 and an immersion time of 4 weeks (46.437 MPa) increased (21.537%). The optimal tensile strength of the composite with 2 layers of woven 20, and the immersion time of 4 weeks (50,921) increased (9.978 %). The optimal tensile strength of the composite with 3 layers of woven 20 4 weeks (61,534) increased (5,511 %). The optimal tensile strength of composite with 1 ply woven, 30, and immersion time of 6 weeks (45.337 MPa) increased (6.851 %). The optimal tensile strength of composite with 2 layers of woven, 30, and immersion time of 4 weeks (48.946 MPa) increased (6.346 %). The optimal tensile strength of composites with 3 layers of woven, 30, and 4 weeks of immersion time (61.408 MPa) increased (5.317%). By paying attention to the changes that occur in each layer and the treatment, it can be stated that the most significant increase in tensile strength was at 4 weeks immersion at 20 salinity and 1 layer woven, which increased (21.537 %).
Keywords: petung bamboo slats, brackish water, immersion time, tensile strength.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi rekayasa material secara khusus material komposit akhir-akhir ini telah mengalami kemajuan yang sangat signifikan, terutama dibidang aplikasi pada industri manufaktur. Salah satu teknologi rekayasa dan inovasi material komposit tersebut adalah penggunaan bahan alam sebagai penguat (Pavla, T. 2011 & M.R. Nurul, F. et al. 2016).

Penggunaan bahan alam sebagai bahan penguat material komposit, pada umumnya berupa bilah, seperti bilah rami, nanas, sabuk

kelapa, kenaf, palem, batang pisang, bambu, dan sebagainya. Termoplastik berbasis minyak bumi banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pengemasan. Namun, penggunaannya telah menyebabkan emisi polutan yang melonjak. Jadi, peneliti didorong untuk mencari bahan kemasan alternatif yang ramah lingkungan yang dapat didaur ulang serta dapat terurai secara hayati (T. Dhanujay, S. & M. Sasikumar. 2020).

Alam Tana Toraja cukup menyediakan tumbuhan yang beragam, tak terkecuali bambu petung yang melimpah hanya saja penggunaannya masih terbatas pada acara-acara pesta orang mati dan kerajinan tangan seperti souvenir. Bambu petung memiliki sifat-sifat mekanis bawaan baik, dimana sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia yang terkandung didalamnya. Salah satu sifat mekanis yang penting pada bambu petung adalah kekuatan tarik, hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Frans R.B. dan Chendri J. 2018) dengan judul optimasi perendaman air beferang panas terhadap kekuatan tarik dan *strip* bambu petung (*Dendrocalamus asper*). Penelitian lain yang menggunakan anyaman *strip* bambu petung sebagai bahan penguat komposit adalah analisis kekuatan komposit berpenguat anyaman bambu petung (*Dendrocalamus asper*) yang dilakukan oleh (Frans R.B. et al. 2020).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Material teknik (*engineering materials*) merupakan aplikasi dan peningkatan sifat-sifat (*properties*) dari suatu bahan dengan adanya proses, desain, dan pembentukan suatu material. Material teknik membantu manusia untuk mempelajari dasar hubungan struktur dan sifat bahan, lalu mendesain struktur bahan tersebut untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Ada tiga kelas utama pada jenis material teknik, yaitu logam, keramik, dan polimer. Kemudian ada tambahan satu lagi, yaitu material komposit. Dalam dunia industri sering kali diperhadapkan pada situasi di mana harus memilih suatu material yang akan digunakan, banyak pertimbangan akan dilakukan tetapi umumnya akan memilih material yang terbaik atau mendekati untuk diaplikasikan. Oleh karena itu pemahaman mengenai material teknik menjadi hal yang mutlak bagi seorang insinyur atau ilmuwan (Putu, H.K. 2020).

Komposit adalah suatu material yang

terbentuk dari kombinasi dua atau lebih bahan pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanis dari masing-masing bahan pembentuknya berbeda (Daniel, B.M. and Steven, L. 2001). Dari campuran tersebut akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat mekanis dan karakteristik yang lebih unggul dari bahan pembentuknya.

Komposit dan *alloy* memiliki perbedaan dari cara penggabungannya yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga masih kelihatan bilah maupun matriksnya (komposit bilah) sedangkan *alloy* atau paduan digabung secara mikroskopis sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya.

Sifat bahan hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing bahan penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaharui antara lain (Ning, H. 2012):

- a) Kekuatan (*Strength*), merupakan kemampuan bahan untuk menahan beban tanpa mengalami
- b) Kekakuan (*Stiffness*), yaitu sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari suatu materi. Banyak bahan yang kaku memiliki kepadatan yang rendah untuk menahan deformasi dari pemasangan, grafitasi, dan vibrasi pada saat pengoperasiannya.
- c) Ketahanan korosi (*Corrosion Resistance*) yaitu tidak cepat berkarat sehingga memiliki masa umur pakai yang panjang,
- d) Berat (*Weight*) yaitu berat bahan yang dapat berubah menjadi ringan tanpa mengurangi unsur-unsurnya.
- e) Ketahanan lelah (*Fatigue Life*), merupakan fenomena terjadinya kerusakan bahan karena pembebanan yang berulang-ulang. Apabila suatu bahan dikenakan tegangan berulang, maka akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik.
- f) Konduktivitas panas (*Heat Conductivity*), yaitu menambah laju perambatan panas pada padatan dengan aliran yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

Pada umumnya sifat-sifat komposit ditentukan oleh beberapa faktor antara lain (Daniel, B.M and Steven L.D. 2001):

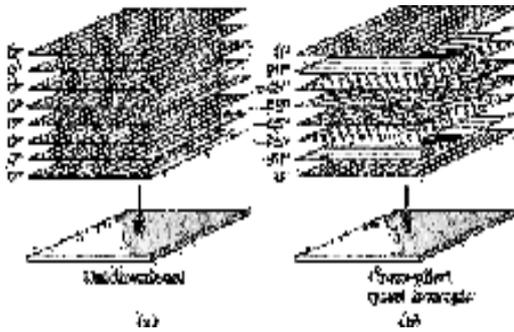
- a) Jenis bahan-bahan penyusun, yaitu bahan bilah yang akan digunakan seperti bilah sabut kelapa, ijuk, bilah nanas, bilah pisang,

bambu, dan lain-lain.

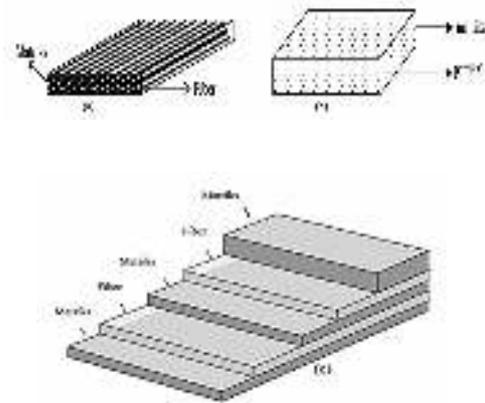
- b) Bentuk geometris dan struktur bahan penyusun, yaitu bentuk dari bilah, setakan, dan struktur bahan-bahan penyusun dalam pembuatan bahan komposit.
- c) Rasio perbandingan bahan-bahan penyusun, yaitu perbandingan bahan yang akan digunakan untuk menghasilkan bahan komposit yang baru dan baik.
- d) Daya lekat antar bahan-bahan penyusun, merupakan kemampuan bilah untuk saling mengikat antar bahan penyusunnya.
- e) Proses pembuatan, pada proses ini perlu diperhatikan langkah-langkah dalam membuat bahan baru sehingga diperoleh bahan yang baik dan sesuai dengan standar.

Komposit berpenguat bahan alam memiliki keistimewaan antara lain *renewable*, ramah lingkungan (*terdegradasi*), dan harga yang murah. Sedangkan bilah sintetis sukar terdegradasi, menghasilkan CO, dan debu yang berbahaya bagi kesehatan jika didaur ulang. Bahan berbasis polimer memiliki ketahanan korosi yang tinggi pada lingkungan asam (*chlorin*). Tetapi bahan polimer memiliki kekuatan mekanis yang relatif rendah, karena itu diperlukan bilah (*fiber*) sebagai penguat komposit.

Sifat ketahanan korosi polimer yang tinggi dipadukan dengan kekuatan mekanis dari bilah (*fiber*) merupakan salah satu nilai jual dari bahan komposit matriks polimer. Sedangkan bilah sebagai elemen penguat sangat menentukan sifat mekanis komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matriks. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanis lamina antara lain orientasi, ukuran, dan bentuk bilah. Bilah alam dikombinasikan dengan resin sebagai matriks akan menghasilkan komposit alternatif dengan memvariasikan arah orientasi bilah alam (Gbr. 2.1), sehingga diharapkan diperoleh hasil kekuatan mekanis komposit yang maksimal



Gambar 1. Arah Orientasi pada Komposit FRP, *unidirectional* dan (b) *quasiisotropic*
 Sumber: Gibson, 1994



Gambar 2. Jenis Komposit (a) komposit bilah, komposit partikel dan (c) komposit laminat

Sumber: Daniel B. Miracle and Steven L

Komposit merupakan penggabungan dua atau lebih bahan secara makroskopis antara bilah dan matriks. Makroskopis menunjukkan bahwa bahan pembentuk dalam komposit masih terlihat seperti aslinya, berbeda dengan penggabungan dalam *alloy* melalui proses solidifikasi peleburan homogen, yaitu bahan pembentuknya sudah tidak terlihat lagi. Tujuan dari penggabungan tersebut tidak hanya untuk memperoleh sifat aditif dari bahan pembentuknya tetapi terutama untuk memperoleh sifat sinergisnya (Gibson, 1994).

Bilah berfungsi memperkuat matriks karena umumnya bilah jauh lebih kuat dari matriks. Matriks berfungsi melindungi bilah dari pengaruh lingkungan dan kerusakan akibat benturan. Sedangkan secara garis besar terdapat tiga macam jenis komposit *fiber reinforced polymer (FRP)* berdasarkan penguat (*bilah*) yang digunakan (Gbr. 2.2). Komposit bilah (*fibrous composites*) terdiri dari satu *lamina* (lapisan) yang menggunakan penguat berupa bilah (*fiber*) yang disusun secara acak maupun dengan arah orientasi tertentu bahkan dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Komposit partikel (*particulate composites*) menggunakan partikel (serbuk) sebagai penguat dan terdistribusi secara merata di dalam matriks. Dan komposit laminat (*laminated composites*) jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sendiri.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Persiapan peralatan penelitian.
2. Pembuatan komposit.
3. Pengujian dan pengumpulan data.

3.1 Alat dan Bahan yang Akan Digunakan

a. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Parang Digunakan untuk menebang pohon bambu petung sebagai bahan penelitian.
2. Mistar geser dan mistar aluminium. Untuk mengukur tebal dan panjang bilah bambu petung.
3. Gergaji Digunakan untuk memotong bambu petung yang disiapkan sebagai bahan pengujian.
4. Wadah perendaman bilah bambu petung.

b. Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian adalah :

1. Anyaman bilah bambu petung.

2. *Epoxy resin*.
3. *Hardener*
4. Air payau

3.2 Persiapan Proses Penelitian

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Menyiapkan material komposit benda kerja/ sampel.
2. Mengukur sampel berdasarkan ukuran uji tarik sebelum pengujian.
3. Memastikan sampel tidak ada yangbermasalah.
4. Menguji kekuatan tarik dan mengumpulkan data.

3.3 Peubah yang diamati

Dalam penelitian ini variabel penelitian dirancang sebagai berikut :

a. Variabel bebas :

1. Lama perendaman dalam air payau (0, 2, 4, 6, dan 8 minggu).
2. Besar kandungan zat kimia/COD dalam air payau.

b. Variabel Terikat :

Kekuatan tarik material komposit.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini pengujian sifat mekanis komposit dengan alat uji tarik.

Dari penelitian tersebut akan diperoleh hasil penelitian berupa nilai kekuatan tarik yang diamati baik sebelum perlakuan maupun setelahnya perlakuan. Demikian pula kekuatan tarik komposit diperoleh dalam bentuk hasil uji tarik yang memungkinkan dapat dilakukan dengan analisis data.

3.5 Teknik Analisis Data

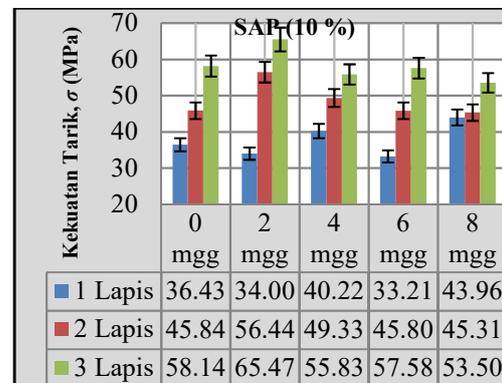
Dalam penelitian ini data-data hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan teknik analisis secara deskriptif yaitu statistik yang dimanfaatkan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat generalisasi

hasil penelitian. Dalam teknik analisis data statistik deskriptif termasuk didalamnya antara lain penyajian data melalui tabel dan grafik.

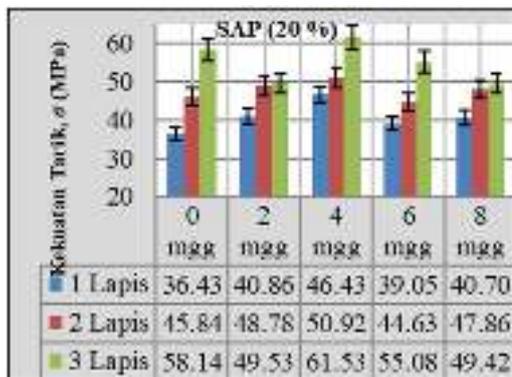
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai rata-rata kekuatan tarik dari setiap sampel pada masing-masing lapisan anyaman bilah bambu petung, baik yang mengalami perlakuan maupun tanpa perendaman atau yang normal. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai yang optimal yang terjadi pada komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung dengan perendaman media air payau dengan salinitas 10, 20, 30 % dan variasi lama perendaman 0, 2, 4, 6, dan 8 minggu.

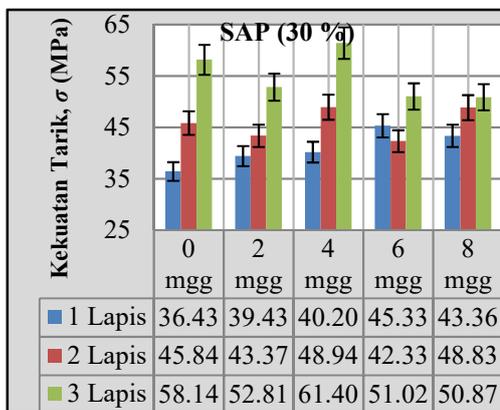
Adapun nilai kekuatan tarik rata-rata yang dihasilkan dari pengujian sampel komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung baik yang normal atau tanpa perlakuan maupun yang mengalami perendaman, seperti disajikan dibawah ini dalam bentuk grafik.



Gambar 3. Grafik pengaruh waktu perendaman terhadap kekuatan tarik pada salinitas air payau 10 %



Gambar 4. Grafik pengaruh waktu perendaman terhadap kekuatan tarik pada salinitas air payau 20 %



Gambar 5. Grafik pengaruh waktu perendaman terhadap kekuatan tarik pada salinitas air payau 30 %

1. Pembahasan

Pada gambar (3) menunjukkan bahwa variasi waktu perendaman dengan media air payau (0, 2, 4, 6, 8 minggu) pada salinitas (10 %) berpengaruh terhadap perubahan kekuatan tarik rata-rata optimal komposit resin epoksi yang diperkuat dengan anyaman bilah bambu petung. Kekuatan tarik rata-rata optimal komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung tanpa perendaman 1 lapis (36,436 MPa), 2 lapis (45,840 MPa), dan 3 lapis (58,143 MPa). Selanjutnya nilai inilah yang dijadikan sebagai pembandingan untuk nilai kekuatan tarik optimal komposit yang berpenguat anyaman bilah bambu petung yang mengalami perendaman.

Pada komposit yang berpenguat

anyaman bilah bambu petung 1 lapis dengan perendaman air payau pada salinitas 10 %, nilai kekuatan tarik optimal diperoleh pada perendaman 8 minggu sebesar 43,962 MPa. Sedangkan kekuatan tarik pada perendaman 0 minggu sebesar 36,436 MPa dengan selisih sebesar 17,119 %. Untuk komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung 2 lapis pada 10 % kekuatan tarik optimal komposit diperoleh pada perendaman 2 minggu sebesar 56,443 MPa, dan kekuatan tarik pada waktu perendaman 0 minggu sebesar 45,840 MPa dengan selisih sebesar 18,785 %. Pada komposit yang diperkuat anyaman bilah bambu petung 3 lapis dengan perendaman air payau pada salinitas 10 %, nilai kekuatan tarik optimal komposit diperoleh pada perendaman 2 minggu sebesar 65,479 MPa, sedangkan kekuatan tarik pada perendaman 0 minggu sebesar 58,143 MPa dengan selisih sebesar 11,204 %.

Pada gambar (4.) menunjukkan bahwa variasi waktu perendaman dengan media air payau (0, 2, 4, 6, 8 minggu) pada salinitas (20 %) berpengaruh terhadap perubahan kekuatan tarik rata-rata optimal komposit resin epoksi yang diperkuat dengan anyaman bilah bambu petung.

Kekuatan tarik rata-rata optimal komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung tanpa perendaman 1 lapis (36,436 MPa), 2 lapis (45,840 MPa), dan 3 lapis (58,143 MPa). Selanjutnya nilai inilah yang dijadikan sebagai pembandingan untuk nilai kekuatan tarik optimal komposit yang berpenguat anyaman bilah bambu petung yang mengalami perendaman.

Pada komposit yang diperkuat anyaman bilah bambu petung 1 lapis dengan perendaman air payau pada salinitas 20 %, nilai kekuatan tarik optimal diperoleh pada perendaman 4 minggu sebesar 46,437 MPa, sedangkan kekuatan tarik pada perendaman 0 minggu sebesar 36,436 MPa dengan selisih sebesar 21,537 %. Untuk komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung 2 lapis pada 20 % kekuatan tarik optimal komposit diperoleh

pada waktuparendaman 4 minggu sebesar 50,921 MPa, dan kekuatan tarik pada waktu perendaman 0 minggu dengan kekuatan tarik 45,840 MPa dengan selisih sebesar 9,978 %. Pada komposit yang diperkuat anyaman bilah bambu petung 3 lapis dengan perendaman air payau pada salinitas 20 %, nilai kekuatan tarik optimal komposit diperoleh pada waktu perendaman 4 minggu sebesar 61,534 MPa dan kekuatan tarik yang diperoleh pada waktu perendaman 0 minggu sebesar 58,143 MPa dengan selisih sebesar 5,511 %.

Pada gambar (5) menunjukkan bahwa variasi waktu perendaman dengan media air payau (0, 2, 4, 6, 8 minggu) pada salinitas (20 %) berpengaruh terhadap perubahan kekuatan tarik rata-rata optimal komposit resin epoksi yang diperkuat dengan anyaman bilah bambu petung.

Kekuatan tarik rata-rata optimal komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung tanpa perendaman 1 lapis (36,436 MPa), 2 lapis (45,840 MPa), dan 3 lapis (58,143 MPa). Selanjutnya nilai inilah yang dijadikan sebagai pembandingan untuk nilai kekuatan tarik optimal komposit yang berpenguat anyaman bilah bambu petung yang mengalami perendaman.

Pada komposit yang berpenguat anyaman bilah bambu petung 1 lapis dengan perendaman air payau dengan salinitas 30 %, nilai kekuatan tarik optimal diperoleh pada waktu perendaman 6 minggu sebesar 45,337 MPa dan kekuatan tarik pada waktu perendaman 0 minggu sebesar 36,436 MPa, maka selisihnya sebesar 19,633 %. Untuk komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung 2 lapis pada 20 % kekuatan tarik optimal komposit diperoleh pada waktu perendaman 4 minggu sebesar 48,946 MPa, dan kekuatan tarik pada waktu perendaman 0 minggu dengan kekuatan tarik 45,840 MPa dengan selisih sebesar 6,346 %. Pada komposit yang berpenguat anyaman bilah bambu petung 3 lapis dengan perendaman air payau pada salinitas 30 %, nilai kekuatan tarik optimal

komposit diperoleh pada waktu perendaman 4 minggu sebesar 61,408 MPa dan kekuatan tarik pada waktu perendaman 0 minggu sebesar 58,143 MPa dengan selisih sebesar 5,317 %.

V. KESIMPULAN

Pengaruh waktu perendaman terhadap sifat mekanis komposit berpenguat anyaman bilah bambu petung, seperti diuraikan sebagai berikut. Kekuatan tarik optimal komposit berpenguat bilah bambu petung tanpa perendaman 1 lapis (36,436 MPa), 2 lapis (45,840 MPa), dan 3 lapis (58,143 MPa).

a. Kekuatan tarik optimum komposit dengan anyaman bilah bambu petung 1 lapis, 10 %, dan waktu perendaman 8 minggu (43,962 MPa) mengalami kenaikan (17,119 %). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman bilah bambu petung 2 lapis, 10 %, waktu perendaman 2 minggu (56,443 MPa) mengalami kenaikan (18,785 %). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman bilah bambu petung 3 lapis, 10 %, dan waktu perendaman 2 minggu (65,479 MPa) mengalami kenaikan (11,204 %).

Kekuatan tarik optimum komposit dengan anyaman bilah bambu petung 1 lapis 20 % dan waktu perendaman 4 minggu (46,437 MPa) mengalami kenaikan (21,537 %). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman bilah bambu petung 2 lapis 20 %, dan waktu perendaman 4 minggu (50,921) mengalami kenaikan (9,978 %). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman bilah bambu petung 3 lapis 20 % 4 minggu (61,534) mengalami kenaikan (5,511 %).

Kekuatan tarik optimum komposit dengan anyaman bilah bambu petung 1 lapis, 30 %, dan waktu perendaman 6 minggu (45,337 MPa) mengalami kenaikan (6,851 %). Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman bilah bambu petung 2 lapis, 30 %, dan waktu perendaman 4 minggu (48,946 MPa) mengalami kenaikan (6,346 %).

Kekuatan tarik optimal komposit dengan anyaman bilah bambu petung 3 lapis, 30 %, dan waktu perendaman 4 minggu (61,408 MPa) mengalami kenaikan (5,317 %). Dengan memperhatikan perubahan yang terjadi pada masing-masing lapisan dan perlakuan tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa yang paling mengalami peningkatan kekuatan tarik yang signifikan adalah pada perendaman 4 minggu pada salinitas 20 ‰ dan anyaman 1 lapis, yaitu mengalami kenaikan (21,537 %).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik

REFERENSI

- [1] Arma, L.H. 2011. Analisis Perilaku Mekanik Komposit Laminat Bilah Bambu dengan Metode Makromekanik. Prosiding 2011. ©Hasil Penelitian Fakultas Teknik, Volume 5 : Desember 2011. SBN : 978-979-127255-0-6. E-mail: armalh@eng.unhas.ac.id.
- [2] Bellini, A. et al. 2019. Experimental and Numerical Evaluation of Fiber-Matrix Interface Behavior of different FRCM Systems. Composites Part B 161 (2019) 411–426. E-mail address: marco.bovo@unibo.it.
- [3] Bethony, F.R. dan Johan, C. 2018. Optimasi Perendaman Air Belerang Panas Terhadap KEKUATAN TARIK DAN Strip Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*). DYNAMIC SAINT. JDS, Jilid III no. 2, April 2018. e-mail: fransbethoni@yahoo.co.id, chendrijo@yahoo.com
- [4] Bethony, F.R. et al. 2020. Tensile Strength Analysis of Composite Reinforced *Petung* Bamboo Woven (*Dendrocalamus asper*). International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). ISSN(P): 2249–6890; ISSN(E): 2249–8001. Vol. 10, Issue 3, Jun 2020, 8227-8232. ©TJPRC Pvt. Ltd. www.tjprc.org.
- [5] Chang, F. et al. 2015. Effect of Hot-Compressed Water Treatment of Bamboo Fiber on the Properties of Polypropylene/Bamboo Fiber Composite. BioResources 10(1), 1366-1377. Corresponding author: lshyhk@kangwon.ac.kr.
- [6] Chaowana, P. 2013. Bamboo: An Alternative Raw Material for Wood and Wood- Based Composites. Journal of Materials Science Research; Vol. 2, No. 2; 2013. ISSN 1927-0585 E-ISSN 1927-0593. doi:10.5539/jmsr.v2n2p90. <http://dx.doi.org/10.5539/jmsr.v2n2p90>.
- [7] Dan-mallam, Y. et al. 2015. Mechanical Characterization and Water Absorption Behaviour of Interwoven Kenaf/PET Fibre Reinforced Epoxy Hybrid Composite. Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Polymer Science. Volume 2015, Article ID 371958, 13 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/371958>.
- [8] Irawan, A.P. dan Sukania, I.W. 2013. Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Bilah Bambu Epoksi. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 14, No. 2, Oktober 2013, 59-63. DOI: 10.9744/jtm.14.2.59-63 ISSN 1410-9867. e-mail: agustinus@untar.ac.id.
- [9] Kadir, Abd. dkk. 2014. Pengaruh Pola Anyaman Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Komposit

- Berpenguat Bilah Bambu. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 6, No. 1. November 2014. ISSN: 2085-8817. Date modified 08/02/2016, 15:49.
- [10] Mahesh, K. et al. 2020. Wear Analysis of Rice Husk Shell Powder Reinforced Epoxy Composite. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*. ISSN(P): 2249-6890; ISSN(E): 2249-8001. Vol. 9, Issue 5, Oct 2019, 997-1004. ©TJPRC Pvt. Ltd. www.tjprc.org.
- [11] Zulkifli dan Hermansyah, H. 2016. Analisa Pengaruh Penyerapan Air Sungai Mahakam terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit dengan Variasi Perbandingan Matriks dan Hardener. *Journal INTEK*. 2016, Volume 3 (1): 50-53. zulkifli.as@poltekba.ac.id.

**[KM-04] PENGARUH MEDIA
PENDINGIN PADA PROSES
HEAT TREATMENT
TERHADAP SIFAT MEKANIS
PADUAN Al 7Si**

Milka Rante^{1*}, Yafet Bontong², Alfin Sanda La'bi³

¹² Jurusan Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
³Mahasiswa Jurusan Teknik
Universitas Kristen Indonesia Toraja
*Email: milka_rante@yahoo.com

ABSTRAK

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik lainnya sebagai sifat logam. . Ada beberapa jenis logam yang dipadukan dengan aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium. Paduan aluminium yang cukup banyak digunakan adalah Al-Si karena, kepadatan rendah, ketahanan korosi yang baik, mampu cor yang baik, koefisien ekspansi termal rendah, dan berbagai sifat mekanik baik lainnya. Al 7Si adalah salah satu paduan Al-Si yang banyak digunakan. Setelah proses heat treatment lalu dilakukan uji ketangguhan, didapatkan ketangguhan tertinggi berada pada media pendingin air garam dengan nilai 0,710 J/mm²
Kata kunci: Al 7Si, heat treatment, air garam, ketangguhan

ABSTRACT

*Aluminum is a light metal that has good corrosion resistance and other good electrical conductivity as metal properties. . There are several types of metals that are alloyed with aluminum to improve the mechanical properties of aluminum. The most widely used aluminum alloy is Al-Si because of its low density, good corrosion resistance, good castability, low coefficient of thermal expansion, and various other good mechanical properties. Al 7Si is one of the most widely used Al-Si alloys. After the heat treatment process, a toughness test was carried out, the highest toughness was found in the saltwater cooling medium with a value of 0,710 J/mm²
*Keywords: Al 7Si, heat treatment, saltwater, toughness**

I. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya secara satu persatu atau bersama-sama, juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dan sebagainya. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi [1]

Aluminium memiliki kerapatan hanya 2,7 g / cm³, kira-kira sepertiga sebagai sebanyak baja (7,83 g / cm³). Satu kubik baja beratnya sekitar 490 lb sedangkan aluminium, hanya sekitar 170 lb. Bobot yang ringan, ditambah dengan kekuatan tinggi dari beberapa paduan aluminium (melebihi baja struktural), memungkinkan desain dan konstruksi struktur yang kuat dan ringan yang sangat menguntungkan untuk segala sesuatu yang bergerak kendaraan ruang angkasa dan pesawat terbang serta semua jenis kendaraan darat dan air. Ada beberapa jenis logam yang dipadukan dengan aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium. Paduan aluminium yang cukup banyak digunakan adalah Al-Si karena, kepadatan rendah, ketahanan korosi

yang baik, mampu cor yang baik, koefisien ekspansi termal rendah, dan berbagai sifat mekanik baik lainnya [2].

Selain itu, Al-Si juga mulai banyak digunakan terutama untuk pengecoran. Paduan Al-Si merupakan salah satu jenis aluminium paduan mampu cor dengan ketahanan korosi yang baik. Paduan 13 (12%Si) dan paduan 43 (5% Si) digunakan untuk membuat tuangan yang rumit, alat pengolah makanan dan lain-lain [3]

Kemuadian hal lain yang membuat paduan Al-Si, silikon menurunkan titik lebur. Dengan penambahan 12% silicon dapat menurunkan titik cair aluminium sampai sekitar 500°C. Al-Si memiliki *fluiditas* yang sangat baik sehingga menghasilkan hasil produksi yang baik dari pola apapun [4]

Perlakuan panas atau heat treatment adalah suatu proses memanaskan dan mendinginkan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut [5] Perlakuan panas sendiri adalah penggabungan atau kombinasi dari proses pemanasan dan proses pendinginan pada suatu bahan material seperti logam dan baja [6]. Tujuan dari proses perlakuan panas adalah untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (internal stress), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam [7]

II. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Al 7Si dalam bentuk ingot, gambar 2.1. Sampel pengujian dibuat dengan metode pengecoran (casting), menggunakan cetakan logam dengan ukuran 156x65x12 mm, seperti pada gambar 2.2, Dengan hasil pengecoran berupa coupond seperti pada gambar 2.4. Proses pengecoran dapat dilihat pada gambar 2.3. Pada proses pengecoran ini menggunakan tungku (*furnace*) manual dengan menggunakan bahan bakar gas LPG.

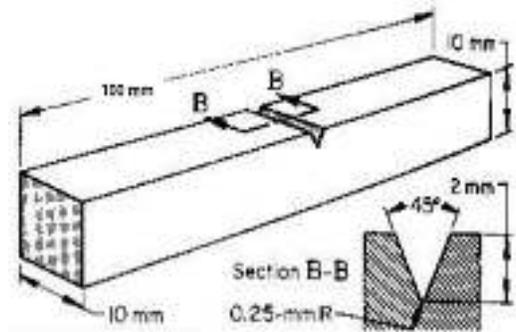


Gambar 1. Ingot Al 7Si



Gambar 2. Cetakan Logam

Coupond hasil pengecoran kemudian dibentuk menjadi spesimen uji impact (gambar 6), untuk mengetahui ketangguhan dari material Al 7Si. Specimen uji impact dibuat sesuai astm ASTM E 23 (gambar .5). Setelah pembuatan specimen uji impact, specimen kemudian diberikan perlakuan *heat treatment* dalam furnace electric (gambar 2.5) pada temperatur 400⁰C dengan *hoding time* selama 2 jam, lalu di dinginkan dengan 4 jenis media pendingin yaitu, air, minyak kelapa, air garam dan udara.



Gambar 5. ASTM E 23



Gambar 3. Proses Pengecoran



Gambar 6 Spesimen Uji Impact



Gambar 4. Hasil Pengecoran

Setelah specimen pengujian diberikan perlakuan *heat treatment*, kemudian dilakukan pengujian mekanis impact seperti pada gambar 6. Metode uji impact yang digunakan adalah metode charpy.



Gambar 7. Heat Treatment dengan Furnace Electric



Gambar 8. Pengujian Impak



Gambar 9 Pengujian Kekerasan

Selain uji impak, dilakukan juga uji kekerasan seperti pada (gambar 8). Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode brinnel (HRB).

III. Analisa dan Pembahasan

Gambar 10 merupakan spesimen Al 7Si yang telah diuji Impak, untuk jenis patahan dapat dilihat pada tabel 3.1. Dari Table 3.1, dapat dilihat hasil \ pengujian yang dilakukan, terlihat bahwa jenis patahan yang terjadi pada Al 7Si dengan variasi media pendingin adalah patahan getas.

Dari gambar 11 dapat dilihat bagaimana

pengaruh variasi media pendingin pada Al 7Si. Pada keadann normal, nilai ketangguhannya 0,433 J/mm², nilai ketangguhan kemudiang meningkat pada media pendingin air, udara dan air garam dengan masing-masing nilai 0,583 J/mm², 0,614 J/mm² dan 0,710 J/mm².



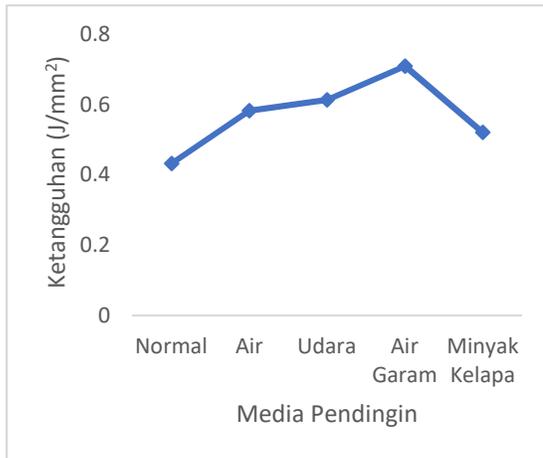
Gambar 10 Spesiemen Hasil Pengujian Ketangguhan

Tabel 1 Hasil Uji Ketangguhan

Temperature Pemanasan	Media pendingin	J/mm ²	Jenis patahan
Normal		0.433	Getas
400°C	Air	0,583	Getas
	Udara	0.614	Getas
	Air Garam	0,710	Getas
	Minyak Kelapa	0,522	Getas

Pada media pendingin minyak kelapa, nilai ketangguhan mengalami penurunan dengan nilai 0,522 J/mm². Hasil ini sejalan dengan penelitian [8] yang juga menggunakan air garam sebagai media pendingin, dimana air garam sebagai media pendingin dapat meningkatkan sifat

mekanis pada logam.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Ketangguhan Al 7Si



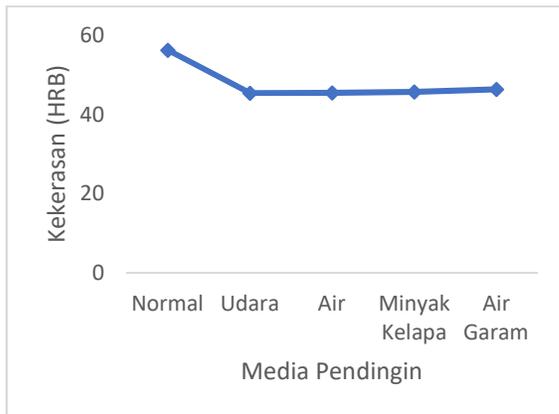
Gambar 12. Spesiemen Hasil Pengujian Kekerasan

Selain uji ketangguhan, dilakukan juga uji kekerasan dengan sampel hasil pengujian pada gambar 12. Data hasil uji kekerasan dapat dilihat pada tabel 2. Dari data pada tabel terlihat bahwa efek media pendingin pada Al 7Si bervariasi. Hal ini dapat kita lihat dengan cukup jelas pada gambar 13 yang memperlihatkan grafik pengaruh media pendingin terhadap kekerasan Al 7Si.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan

Temperature Pemanasan	Media pendingin	HRB
Normal		56,34
400°C	Udara	45,5
	Air	45,56
	Minyak Kelapa	45,80
	Air Garam	46,45

Pada grafik terlihat bahwa pada keadaan normal, nilai kekerasan Al 7Si lebih tinggi pada saat keadaan normal dengan nilai kekerasan 56,34 HRB, kemudian pada media pendingin udara, nilai kekerasannya mengalami penurunan dengan nilai kekerasan 45,5 HRB, kemudian pada media pendingin air mengalami kenaikan menjadi 45,56 HRB. Selanjutnya nilai kekerasan juga meningkat pada media pendingin minyak kelapa dengan nilai kekerasan 45,80, kemudian pada media pendingin air garam, nilai kekerasannya 46,45 HRB, nilai kekerasan ini menjadi nilai kekerasan tertinggi Al 7Si setelah diberikan perlakuan panas.



Gambar 13. Grafik Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Ketangguhan Al 7Si

Hasil pada uji kekerasan ini, sesuai dengan penelitian [5] yang juga menunjukkan nilai kekerasan logam yang diberi perlakuan panas dapat naik dengan media pendingin air garam.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Air garam sebagai media pendingin pada proses *heat treatment* paduan Al 7Si memberikan efek yang baik pada sifat mekanis pada paduan Al 7Si.
2. Nilai ketangguhan paduan Al 7Si mengalami peningkatan dengan media pendingin air garam, demikian juga untuk nilai kekerasan yang mengalami peningkatan pada media pendinginan air garam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik

sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik

REFERENSI

- [1] T. Suardia and S. Saito, "Ilmu Pengetahuan Bahan Teknik," *Pradnya Paramita Jakarta*, 1985.
- [2] S. Zor, M. Zeren, H. Ozkazanc, and E. Karakulak, "Effect of Cu content on the corrosion of Al-Si eutectic alloys in acidic solutions," *Anti-Corrosion Methods and Materials*, vol. 57, no. 4, pp. 185–191, 2010.
- [3] R. P. KS, E. Siahaan, and S. Darmawan, "PENGARUH UNSUR SILIKON PADA ALUMINIUM ALLOY (Al-Si) TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO," *POROS*, vol. 14, no. 1, pp. 49–56, 2017.
- [4] R. B. Ross, *Metallic materials specification handbook*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [5] K. Santoso and S. Suhardiman, "Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja Karbon Rendah Pada Proses Pembubutan," in *Seminar Nasional Industri Dan Teknologi*, 2019, pp. 160–170.
- [6] F. Yusman, "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1045," *Bandar Lampung: FT Universitas Lampung*, 2018.
- [7] Y. Handoyo, "Pengaruh quenching dan tempering pada baja jis grade S45C terhadap sifat mekanis dan struktur mikro crankshaft," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, 2015.
- [8] M. Syaifullah, M. Subhan, and J. Juanda, "Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST 60," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 2, no. 8, pp. 1555–1569, 2021.

**[KM-05] ANALISA PERMUKAAN
DELAMINASI MATERIAL CARBON
FIBER REINFORCED POLYMER
DENGAN VARIASI PERMESINAN
MENGUNAKAN METODE
TAGUCHI**

Formanto Paliling^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin
Universitas Kristen Indonesia Toraja
*e-mail : fpaliling@gmail.com

ABSTRAK

Material Komposit sekarang ini sudah mulai banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari untuk keperluan industri ringan, berat maupun industri dirgantara sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisa bagaimana nilai parameter pemakanan dan putaran spindel yang tepat untuk pengeboran material CFRP menggunakan mata pisau *endmill two flute*. Hasil dari pengeboran tersebut kemudian disimulasikan menggunakan metode taguchi. Diharapkan dalam penelitian ini bisa menambah wawasan para insinyur di bidang teknik dalam melakukan pengeboran material CFRP. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah pemakanan terbaik berada pada 60 mm/min pada putaran spindel 2000 RPM, semakin cepat pemakanan (*feed rate*) dan putaran spindel maka akan semakin baik kualitas pengeboran yang dihasilkan .

Kata kunci : CFRP, Delaminasi, *Feed rate* (Pemakanan), , *Taguchi. endmill two flute*.

ABSTRACT

Composite materials have now begun to be widely used in everyday life for light, heavy, and aerospace industries, so this study aims to analyze how the right feed value is for drilling for CFRP materials, using a two-flute endmill. The results of the drilling are then simulated using the Taguchi method. It is hoped that this research can add insight to engineers in the field of engineering in drilling CFRP materials. The results obtained from this study are that the best feed is at 60 mm/min at 2000 RPM spindle rotation, the faster the feed rate and spindle rotation, the better the drilling quality produced.

Keywords: *CFRP, Delamination, Feed rate, Taguchi. end mill*

I. PENDAHULUAN

CFRP banyak digunakan untuk aplikasi struktural di ruang angkasa, mobil, dan industri kelautan karena sifatnya yang unik. Pemesinan bahan-bahan ini berbeda dari bahan tradisional karena sifatnya yang tidak homogen dan sifat anisotropik. Di antara semua operasi pemesinan untuk komposit, pengeboran adalah metode yang paling umum, [1]. Komponen yang banyak digunakan diindustri serta membutuhkan banyak lubang untuk proses perakitan salah satunya adalah komponen dari material komposit. Material komposit dipilih karena memiliki karakteristik tersendiri yang tak dimiliki oleh material konvensional lainnya. Menurut Sianipar (2009), Carbon Fiber Reinforced Polymer merupakan sejenis plat baja tipis yang didalamnya terdapat serat-serat karbon dan dilapisi dengan fiber. Kerusakan CFRP pada suatu konstruksi biasanya disebabkan oleh beberapa hal yaitu Terjadinya kesalahan pada perencanaan dan adanya kerusakan dari bagian struktur sehingga dikhawatirkan dapat tidak berfungsi sesuai dengan yang diharapkan [2]. Adapun menurut Pangestuti dan handayani (2009) Carbon Fiber Reinforced Polymer menawarkan beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh baja tulangan yaitu: mempunyai kekuatan tarik yang jauh lebih tinggi dari kuat tarik baja tulangan, yaitu sebesar 2800 MPa, mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dimana modulus elastisitasnya (E) 165.000 Mpa tidak mengalami korosi dan membunyai bobot yang ringan [3]. Pemotongan material adalah salah satu proses terpenting di bidang produksi material [4]. Salah satunya adalah pengeboran. Saat pengeboran, serat dan matriks memiliki keunikan saat pengeboran dan yang paling umum dari permasalahan yang terjadi saat mengebor komposit CFRP adalah delaminasi[5] Delaminasi merupakan fenomena kerusakan yang paling dominan pada saat pengeboran *carbon fiber*

reinforced plastics (CFRP)[4]. Delaminasi juga merupakan salah satu jenis kerusakan kritis pada material Komposit. Delaminasi terjadi akibat sebagian dari benda kerja tidak terpotong secara sempurna [6]. Kemudian salah satu faktor untuk mengetahui kualitas pengeboran material CFRP adalah menggunakan pengoptimalan taguchi termasuk efek kontribusi dari ukuran serta kinerja pengeboran[7] dan Pengaruh parameter pengeboran seperti kecepatan spindel, laju pemakanan (*feed rate*), menjadi parameter utama dalam pengoptimalan dengan menggunakan desain Taguchi untuk menentukan nilai kualitas bahan material CFRP [9][10].

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Pengertian dan fungsi CRFP

Fungsi kekuatan dari komposit CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan material komposit atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas, atau dengan berbagai kombinasi diantaranya. Daya tahan material CFRP yang tinggi lebih ekonomis dan dapat digunakan pada lingkungan yang korosif dimana baja akan mudah berkarat[11].

2. Taguchi

Metode Taguchi merupakan sebuah metode untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas dari suatu pekerjaan selama penelitian dan pengembangan agar produk-produk berkualitas tinggi dan dapat menghasilkan dengan cepat dengan biaya relatif lebih rendah [12]

III. FASILITAS METODE PENELITIAN

3.1. Tabel dan Gambar

Pada Tabel 1. Merupakan kombinasi dari simulasi taguchi dengan menggunakan tabel *orthogonal array L9* maka simulasi persilangan perhitungan dapat dilakukan dengan mengkombinasikan rumus *S/N (signal to rasio)*. Tabel *orthogonal array* juga

menjadi syarat utama dalam menggunakan metode taguchi dengan parameter terbatas pada F = Feed Rate dan N = putaran spindel

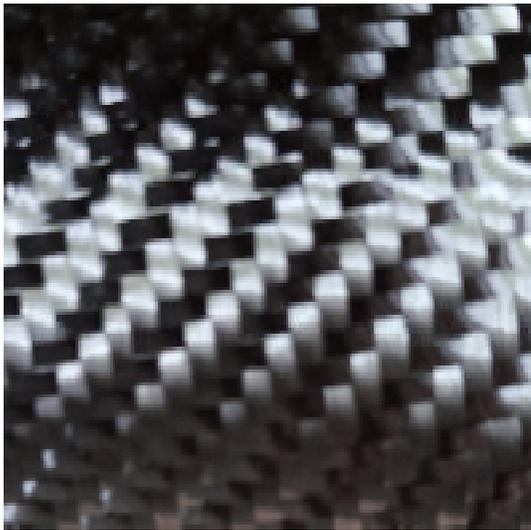
Tabel 1. Tabel *orthogonal array L9*

No Hole	F (mm/min)	N (rpm)
1	1	1
2	2	
3	3	
4	1	2
5	2	
6	3	
7	1	3
8	2	
9	3	

Berdasarkan hasil pengukuran dan ketelitian pada penelitian ini, hasil tersebut dapat dilihat pada tabel dengan pemakanan atau *feed rate* 40 mm/min, 50 mm/min, dan 60 mm/min serta variasi kecepatan putaran spindel 500 RPM, 1000 RPM, dan 2000 RPM dengan menggunakan diameter endmill 8 mm, kemudian ditabelkan sesuai tabel 2.

Tabel 2. Parameter Permesinan

No Hole	F (mm/min)	N (rpm)	Diameter Endmill (mm)
1	40	500	8
2	50		
3	60		
4	40	1000	
5	50		
6	60		
7	40	2000	
8	50		
9	60		



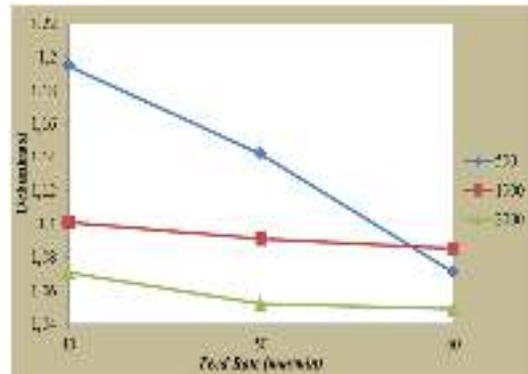
Gambar 1. Serat karbon twill 3k 240 gsm

Gambar 1 merupakan gambar serat karbon yang digunakan untuk penguat material komposit dimana berfungsi sebagai penguat utama dalam material CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*). Serat ini telah banyak dikembangkan terutama industri otomotif dunia karena memiliki sifat uji tarik yang kuat dan ringat dan juga memiliki kekuatan yang tangguh. Kepadatan dari serat karbon juga lebih baik dari baja. Juga sangat baik ketika meregang atau membengkok.



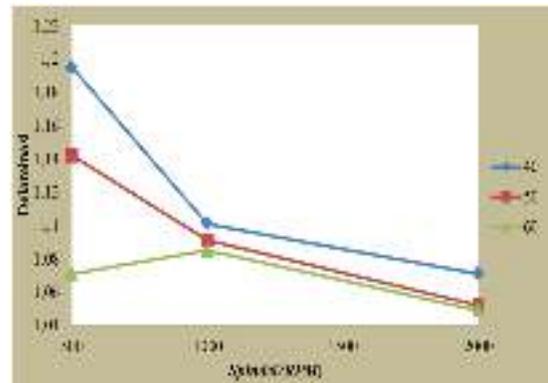
Gambar 2 Tipe mata pisau frais endmill two flute 8 mm

Gambar 2 adalah pisau *endmill two flute tipe carbon* 8 mm. Pisau frais yang digunakan untuk mengebor lubang yang ada pada material CFRP



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Berdasarkan laju pemakanan (*feed rate*)

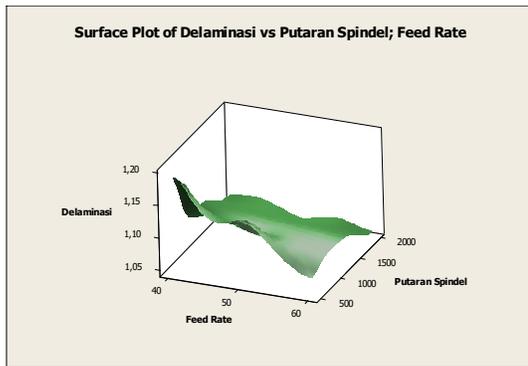
Berdasarkan gambar 3 maka dapat dilihat bahwa



grafik tersebut rata-rata mengalami penurunan cacat delaminasi pada 60 mm/min. Hal ini memperlihatkan bahwa pada pemakanan 60 RPM adalah pemakanan yang terbaik untuk mengurangi delaminasi pada material CFRP.

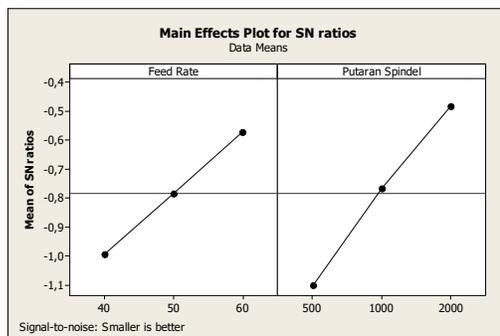
Gambar 4. Grafik Pengujian berdasarkan kecepatan putaran (*RPM*)

Berdasarkan gambar 4 maka dapat dilihat bahwa grafik tersebut rata-rata mengalami penurunan cacat delaminasi pada 2000 RPM. Hal ini memperlihatkan bahwa pada pemakanan 2000 RPM adalah pemakanan yang terbaik untuk mengurangi delaminasi pada material CFRP.



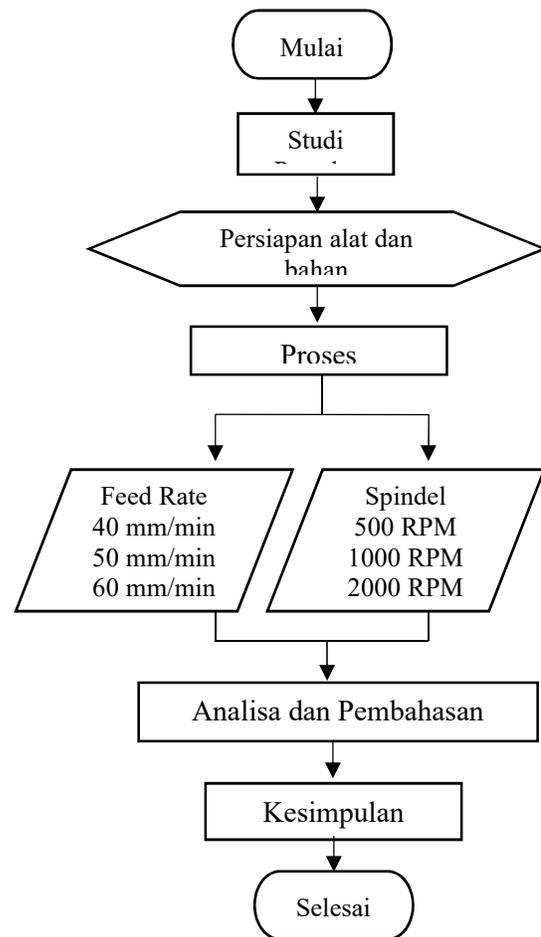
Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi Permesinan (Feed Rate) dan kecepatan spindel pada material CFRP

Dari Hasil analisa grafik pada gambar 5 diperlihatkan bahwa pada tiga variasi pemakanan yaitu pemakanan *feed rate* 40, 50, dan 60 (mm/min), Mengalami kecenderungan pemakanan dengan variabel 60 mm/min lebih baik dibandingkan dengan pemakanan 40 dan 50 mm/min, hal ini dapat diketahui melalui ketiga grafik yang cenderung mengalami penurunan pada pemakanan 60 mm/min.



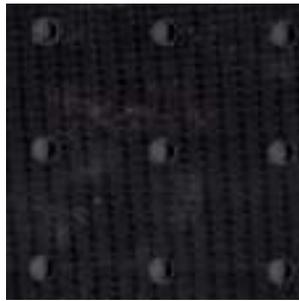
Gambar 6. Hasil simulasi menggunakan metode taguchi pada feed rate dan putaran spindel berdasarkan hasil delaminasi

Gambar 6 menjelaskan tentang bagaimana hasil perbandingan simulasi yang digunakan dengan metode taguchi dari putaran spindel dan feed rate (pemakanan) berdasarkan nilai delaminasi hasil pengeboran material CFRP. sehingga kita dapat mengetahui hasil yang terbaik didapatkan nilai pada putaran spindel dan nilai dari pemakanan (*feed rate*).



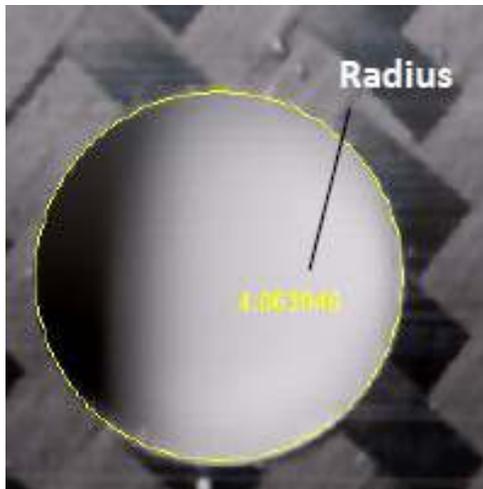
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 7 diagram alir memperlihatkan metode pengujian dan pengambilan data dimana parameter permesinan yang akan diuji adalah Feed rate 40 mm/ 50 mm dan 60 mm dan putaran spindel dengan kecepatan 500 RPM, 1000 RPM, dan 2000 RPM. Setelah data diuji dan hasil didapatkan kemudian akan disimpulkan untuk mengetahui parameter mana yang paling baik dalam penggunaan material CRFP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)



Gambar 3. Permukaan 9 lubang hasil pengeboran material CFRP.

Gambar 3 memperlihatkan total pengeboran yang dilakukan sebanyak 9 kali. Dengan diameter endmill 8 mm. Hal tersebut untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Untuk lebih mengetahui hasil gambar diatas diperlukan pembesaran gambar dengan metode scanning software IMAGE PRO PLUS. Dengan software tersebut kita dapat melihat dengan detail proses terjadinya delaminasi pada material Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP).



Gambar 4. Gambar yang memperlihatkan pengukuran dengan teknik scanning software.

Gambar 4 memperlihatkan cara pola pengukuran dengan teknik *scanning dengan software image pro plus*, dengan menggunakan software tersebut gambar akan semakin memperlihatkan radius x 2, teknik untuk menghitung 4.06 x 2 menjadi 8,12

sehingga delaminasi dimasukkan ke dalam rumus : $Fd = \frac{D_{max}}{D}$

$$Fd = \frac{8,12}{8} = 1.015$$



Gambar 5. Salah satu proses terjadinya delaminasi.

Gambar 5 memperlihatkan kondisi atau bentuk delaminasi akibat adanya pengeboran yang dilakukan dengan bentuk seperti cacat disekeliling lubang pengeboran yang dipengaruhi oleh pemakanan (*feed rate*) dan kecepatan spindel

3.2. Penulisan Rumus

$$Fd = \frac{D_{max}}{D} \quad (1)$$

Smaller is better :

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (2)$$

Fd adalah faktor delaminasi yang digunakan untuk menghitung seberapa besar nilai delaminasi yang terjadi pada material Carbon Fiber Reinforced Polymer sedangkan S/N adalah nilai dari proses simulasi taguchi yang memperlihatkan nilai parameter pemotongan material CFRP yang paling baik dengan nilai smaller is better artinya semakin kecil nilai kerusakan cacat

delaminasi maka akan semakin baik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter pemotongan pada mesin frais

Penelitian ini menggunakan dua parameter pemotongan, pada parameter pemotongan yang pertama menggunakan laju pemakanan atau yang biasa disebut dengan (*feed rate*) dan parameter pemotongan yang kedua adalah kecepatan spindel. Pada laju pemakanan menggunakan nilai 3 variasi indikator utama pemotongan pada mesin mulai dari 40 mm/min, 50 mm/min, dan 60 mm/min . untuk nilai parameter pemotongan kedua yaitu kecepatan spindel parameter yang digunakan meliputi 3 indikator putaran spindel yaitu 500 RPM, 1000 RPM, dan 2000 RPM.

4.2 Deskripsi hasil penelitian

Adapun hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa data dari hasil pengujian , kemudian data-data tersebut diolah kedalam bentuk suatu variabel yang bisa dibuat ke dalam bentuk tabel data kemudian dibuat ke dalam bentuk grafik 3D sehingga memudahkan pembaca dalam menganalisa hasil pembahasan. Kemudian data yang didapatkan tersebut juga diolah ke dalam bentuk metode taguchi dengan harapan dapat mengetahui parameter yang paling berpengaruh dalam proses permesinan

4.3 Pengukuran Diameter Lubang Hasil Permesinan

Pengukuran diameter lubang hasil permesinan dilakukan dengan metode *scanning image*, dari hasil tersebut dapat diketahui berdasarkan penggunaan pengukuran diameter lubang sehingga hasil dari diameter tersebut dapat diketahui dengan mengkalkulasikan ke

dalam *software*.

4.4 Parameter Nilai Kualitas Lubang.

Parameter kualitas lubang yang digunakan pada penelitian ini adalah penyimpangan. Berdasarkan hasil penyimpangan tersebut maka dilihat posisi nilai delaminasi yang terkecil sehingga dapat diketahui. Untuk nilai parameter pemakanan (*feed rate*) dan kecepatan spindel dapat dilihat pada tabel 1. Dimana terdapat parameter *feed rate* atau laju pemakanan (40 mm/min, 50 mm/min, dan 60 mm/min) kemudian pada kecepatan spindel dapat dilihat (500 RPM, 1000 RPM dan 2000 RPM).

Untuk gambar hasil pengeboran dan delaminasi dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 5 dimana gambar tersebut memperlihatkan hasil cacat yang disebabkan oleh pemakanan dan kecepatan spindel

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengaruh dari diameter, maka dapat disimpulkan parameter yang mempengaruhi adalah pemakanan dan kecepatan spindel, kemudian dari hasil taguchi memperlihatkan parameter yang terbaik menggunakan pemakanan 60 mm/min dan kecepatan spindel yang terbaik menggunakan 2000 mm/min. hal tersebut memperlihatkan semakin cepat putaran spindel dan pemakanan maka akan semakin baik hasil kualitas pengeboran yang didapatkan

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik

REFERENSI

- [1] Koenig, W.; Wulf, C.; Grass, P.; Willerscheid, H. Machining of fibre reinforced composites. *Annals of the CIRP* 1985, 34 (2), 536–548
- [2] Sianipar, M.T. (2009) „Analisa Kolom Bertulang Yang diperkuat Dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Skripsi. Sumatra Utara: Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara.
- [3] Pangestuti, E. K. (2009). Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Sebagai Tulangan Eksternal Pada Struktur Balok Beton. The use of Carbon Fiber Reinforced Plate as Externally Bonded Composite Material of Reinforced Concrete Beam Structure.,9,pp. 180-188.
- [4] Student, M. T. (2018) ‘Experimental Investigation To Optimize Process Parameters In Drilling Operation For Composite Materials’, pp. 9044–9047.
- [5] Ramkumar, J.; Aravindan, S.; Malhotra, S.K.; Krishnamurthy, R. An enhancement of the machining performance of GFRP by oscillatory assisted drilling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2004, 23, 240–244.
- [6] Haeger, A. et al. (2016) ‘Non-Destructive Detection of Drilling-induced Delamination in CFRP and its Effect on Mechanical Properties’, *Procedia Engineering*. The Author(s), 149(June), pp. 130–142. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.647.
- [7] Kurniawan, I. et al. (2019) ‘PENGARUH PARAMETER MENGGURDI BERTAHAP TERHADAP’, 9(2), pp. 245–254.
- [8] E.Ugo Enemuoh; A.Sherif El-Gizawy; A Chukwujekwu Okafor (2001). An approach for development of damage-free drilling of carbon fiber reinforced thermosets. , 41(12), 1795–1814. doi:10.1016/s0890-6955(01)00035-9
- [9] Kulkarni, Giridhar S.; Shivashankar, G. S.; Suresh, R.; Siddeshkumar, N. G. (2019). Optimization of Drilling Parameters of GFRP with Liquid Silicone Rubber and Fine Silica Powder by Taguchi Approach. *Silicon*, (), -. doi:10.1007/s12633-019-00260-z.
- [10] Material, J. R. et al. (2020) ‘FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi FT-UMSU’, 3(2), pp. 138–151.
- [11] Sipil, J., Teknik, F. and Brawijaya, U. (2016) ‘DENGAN MENGGUNAKAN PERKUATAN CFRP DAN GFRP’, 10(1).
- [12] Wahjudi, D. et al. (2001) ‘Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi’, 3(1), pp. 24–28.

**[TI-01] MODEL SIMULASI
PERENCANAAN PENGIRIMAN
BAHAN BAKU TEPUNG TERIGU
UNTUK MENINGKATKAN SERVICE
LEVEL**

Lery Alfriany Salo^{1*}

Universitas Kristen Indonesia Toraja

*e-mail : lery_salo@yahoo.com

ABSTRAK

Ketersediaan produk di pasaran dan biaya logistik adalah masalah utama dalam industri komoditas bernilai rendah seperti tepung terigu. Ketersediaan produk dan biaya logistik dipengaruhi oleh perencanaan pengiriman dan kapasitas penyimpanan. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan cara alternatif untuk meningkatkan service level. Penelitian ini mengembangkan model simulasi pengiriman material tepung terigu dengan menggunakan kapal di salah satu perusahaan makanan dengan bahan baku tepung terigu di Indonesia. Sistem ini terdiri dari gudang tepung di pabrik, pelabuhan pemasok dan pelabuhan demand. Adapun faktor-faktor yang dianalisa yaitu kapasitas kapal, jam operasional pelabuhan, dan *reorder point*. Setiap faktor dievaluasi dampaknya terhadap service level. Berdasarkan hasil simulasi, faktor kedua memiliki dampak paling besar pada total biaya dan service level. Penelitian ini memberikan rekomendasi penting bagi perusahaan serta wawasan untuk logistik maritim secara umum. Biaya adalah faktor kompetitif yang sangat penting untuk material curah seperti tepung terigu, dan dengan demikian skenario yang diusulkan dapat diimplementasikan oleh perusahaan untuk pengurangan biaya pengiriman dan peningkatan service level.

Kata kunci : Simulasi, perencanaan pengiriman, kapasitas penyimpanan.

ABSTRACT

Product availability at the market and logistic cost are major issue in low value commodity industries such as wheat flour. Product availability and logistic cost affected by shipment planning and storage capacity. In

this paper the effect of various factors on total costs and service level of a distribution system are investigated. The objective of this paper is to find alternative ways to reduce the logistic cost while still maintaining an acceptable service level. This research develops a simulation model of wheat flour transportation and distribution using ships in a large food company. The system consists of wheat flour storage at the plant, depot and plant. Several scenarios are developed, each factors are evaluated in terms of shipment costs and service level. Based on the simulation result, factor 2 appear to have the most substantial impacts on both total costs and service level. This paper brings an important recommendation to the company as well as insight for maritime logistics in general. Cost is a very important competitive factor for bulk items like wheat flour, and thus the proposed scenarios could be implemented by the company for increase the service level and decrease the distribution cost.

Keywords: simulation, shipment planning, storage capacity

I. PENDAHULUAN

Minimasi biaya logistik merupakan isu utama dalam banyak industri terutama industri yang memiliki bahan baku atau produk komoditas rendah seperti tepung, minyak, semen, pupuk, gandum. Industri tersebut memiliki biaya logistik dengan persentase yang besar dari total harga pokok penjualan [1]. Selain minimasi biaya logistik, isu penting lainnya adalah memastikan produk selalu tersedia di pasaran agar pelanggan tidak beralih pada produk lain. *Stock out* menyebabkan ketidakpuasan pelanggan dan untuk jangka waktu yang panjang mengakibatkan mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian karena kehilangan pangsa pasar [2].

Ada *trade-off* antara ketersediaan produk dengan biaya transportasi terutama untuk bahan baku bernilai rendah dengan jumlah besar, yang mana distribusi

dilakukan melalui jalur maritim [3]. Pengiriman dengan jalur laut membutuhkan biaya yang rendah dibanding jalur yang lain, tetapi di sisi lain memiliki visibilitas yang rendah dan ketidakpastian yang tinggi dalam penjadwalan [4].

Penelitian ini bertujuan untuk membangun model simulasi yang mengintegrasikan perencanaan pengiriman dan kapasitas penyimpanan di bawah ketidakpastian yang akan mengarah pada keseimbangan antara biaya dan ketersediaan produk, yang merupakan permasalahan kritis pada logistik maritim dalam jumlah pengiriman yang besar. Metode simulasi dipilih dalam penelitian ini karena model simulasi mampu mengevaluasi *trade off* antara *service level* dan biaya transportasi [5].

Pendekatan simulasi tepat digunakan pada penelitian ini karena masalah pada penelitian ini tergolong operasional yang menyangkut *day to day activity* pada proses bisnis *order fulfillment* dan berdampak pada keputusan operasional. Prosesnya berulang sehingga memungkinkan memperoleh data dan adanya kesempatan untuk memperbaiki performansi sistem pada kejadian mendatang.

Kompleksitas pada penelitian ini dilihat dari variabilitas keberagaman waktu proses dan ketidakpastian pada kejadian-kejadian tertentu, misalnya proses loading dan unloading, dan waktu tempuh kapal yang dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain cuaca/musim, gelombang laut, berat muatan dan kemungkinan adanya perompak.

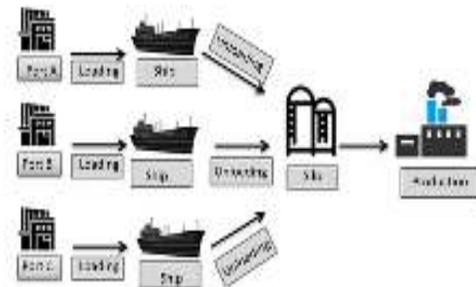
Kompleksitas meningkat dengan adanya interdependensi antar proses yang berurutan atau kejadian yang mempengaruhi proses selanjutnya. Misalnya jika terjadi *downtime* akan ada penurunan level inventory, hal ini mempengaruhi jumlah

produk yang akan dikirimkan. Selain itu cuaca buruk mengakibatkan proses unloading menjadi lama. Objek dalam penelitian ini sendiri tercatat mengalami *demurrage* sebanyak dua kali karena proses *unloading* lama dan banyaknya antrian kapal.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Gambaran Sistem

Objek dalam penelitian ini adalah salah satu perusahaan makanan di Indonesia yang memiliki bahan baku tepung terigu dengan pangsa pasar 55% di Indonesia. Tepung terigu merupakan salah satu pilihan utama sebagai substitusi atau pengganti beras dan selama ini telah menempati posisi yang cukup strategis dalam upaya menunjang diversifikasi pangan Indonesia. Ilustrasi yang menggambarkan alur pengiriman tepung dari pelabuhan awal sampai ke produksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Distribusi Saat Ini

Tepung terigu merupakan bahan baku makanan yang bersifat *low value* dan *high volume* dan didistribusikan dalam bulk dengan kapal yang memiliki biaya sewa yang tinggi. Material didistribusikan dari pelabuhan beberapa negara seperti Rusia, Australia, India dan Kanada menuju pelabuhan pabrik di Indonesia. Setelah tiba, material yang disimpan di dalam palka kapal diangkut dengan alat penghisap sehingga memungkinkan pembongkaran secara langsung ke dalam silo dengan

unloading rate 500 ton per jam. Dari silo material akan dialirkan ke bagian produksi disesuaikan dengan permintaan dari pihak produksi, dimana demand harian bersifat stokastik.

Tabel 1. Service Level Saat ini

Bulan	Permintaan	Permintaan Terpenuhi	Service Level
1	75,845	74,500	98.23%
2	90,929	90,929	100.00%
3	74,502	74,502	100.00%
4	71,855	71,855	100.00%
5	78,196	63,500	81.21%
6	77,144	65,200	84.52%
7	91,592	55,000	60.05%
8	82,300	36,750	44.65%
9	79,374	55,290	69.66%
10	67,761	64,500	95.19%
11	61,166	40,779	66.67%
12	82,321	33,500	40.69%
		Rata-rata	78.41%

Data *service level* dari obek penelitian selama satu tahun dapat dilihat pada Tabel 1. Perusahaan menetapkan target *service level* sebesar 90% setiap bulan. Perhitungan *service level* menggunakan rumus berikut.

$$Service\ level = 1 - \left(\frac{\text{number of cycles with stockout}}{\text{total number of order cycles}} \right) \quad (1)$$

Dari data diatas dapat dilihat bahwa bulan pertama sampai bulan ke 4 *service level* masih mencapai target perusahaan. Akan tetapi mengalami penurunan pada bulan ke 5 dan kembali naik pada bulan ke 10, lalu turun lagi pada bulan ke 11 dan 12.

Dari data histori perusahaan diketahui bahwa penurunan *service level* ini dikarenakan adanya keterlambatan kapal yang menyebabkan stok material tepung kurang dan tidak bisa memenuhi kebutuhan produksi. Keterlambatan kapal terjadi pada

bulan Mei sampai Desember sesuai dengan data penurunan *service level*.

Penelitian ini akan membangun model simulasi dan mengevaluasi beberapa kombinasi dari jumlah kapasitas kapal, *reorder point*, jam kerja pelabuhan yang terkait dengan *service level*. *Service level* yang dimaksud disini adalah persentase pemenuhan atau permintaan material tepung dari Produksi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar kebijakan bagi perusahaan industri tepung untuk meminimalkan biaya distribusi dan meningkatkan *service level*.

2.2. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi. Model simulasi dipilih dibandingkan model heuristik karena dengan simulasi, sistem yang bersifat tidak pasti, integrasi keputusan pada distribusi dan kapasitas penyimpanan bisa diperiksa dan seberapa efektif bisa meningkatkan kinerja sistem sehingga distribusi lebih efisien. Untuk itu dibutuhkan validasi dan verifikasi model. Selain itu, metode ini dipilih karena mampu mengevaluasi *trade-off* antara biaya transportasi dan *service level* [6]. Ada beberapa langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.

2.2.1. Pengumpulan dan Pemrosesan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan gambaran dari kondisi yang sebenarnya. Data dikumpulkan selama satu tahun dari departemen PPIC, Produksi dan Disitribusi dari perusahaan.

2.2.2. Pembuatan Model

Model konseptual ditampilkan dalam bentuk bagan siklus aktifitas dan bagan alur logika untuk setiap skenario. Setelah model konseptual dibuat, tahap selanjutnya adalah membuat model simulasi diskrit dengan menggunakan software ARENA. Model

simulasi yang dibuat harus mampu merepresentasikan kondisi sistem yang sebenarnya.

2.2.3. Replikasi

Penentuan jumlah replikasi dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat karena parameter yang digunakan pada metode simulasi bersifat stokastik dan sifat dari simulasi sendiri. Untuk menghitung jumlah replikasi yang dibutuhkan dimulai dengan mencoba replikasi awal dan menghitung interval estimasi nilai rata-rata populasi atau half-width dari sample replikasi yang telah dicoba [7]. Jumlah replikasi ini akan digunakan untuk menganalisa output model simulasi eksisting dan skenario.

2.2.4. Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah *debugging* yaitu memastikan tidak ada kesalahan pada saat model simulasi berjalan. Tahap kedua adalah memastikan logika simulasi logis dan sesuai dengan aliran logika yang telah dibuat di awal [8].

Validasi dilakukan dengan membandingkan output simulasi dengan sistem nyata dengan cara uji statistik. Proses ini membandingkan waktu siklus, *service level*, dan biaya logistik. Uji hipotesis menggunakan *t-test distribution* untuk menguji apakah hasil simulasi secara signifikan berbeda dengan data asli. Jika hasil simulasi tidak berbeda secara signifikan dari data asli, maka model simulasi dinyatakan valid.

2.2.5. Eksperimen Model dan Uji ANOVA

Setelah melakukan validasi dan verifikasi model simulasi, maka dibuat beberapa skenario perbaikan menggunakan desain *full factorial*. Perhitungan *half-width* dan n' menggunakan rumus berikut [9].

$$hw = e = \frac{t_{n-1,1-\frac{\alpha}{2}} \times \sqrt{\frac{std^2}{n}}}{|\bar{x}|} \quad (2)$$

Dimana

t = nilai t diperoleh dari tabel distribusi t

α = tingkat error

n = jumlah replikasi

std = standar deviasi populasi

$|\bar{x}|$ = nilai rata-rata

$$n' = \left| \frac{z_{\frac{\alpha}{2}} \times std}{\left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right)\bar{x}} \right|^2 \quad (3)$$

Uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui faktor atau kombinasi mana yang secara signifikan berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Kondisi Eksisting

Pada sistem distribusi perusahaan saat ini, jumlah kapal yang digunakan dalam sistem distribusi adalah 10 kapal dengan kapasitas muat yang beragam. Kapal mendistribusikan material dari tiga pelabuhan supply menuju satu pelabuhan demand dengan sistem dedicated. Setiap kapal hanya membawa satu jenis material tertentu. Enam kapal yang membawa material 1 berasal dari pelabuhan supplier 1, 2 kapal yang membawa material 2 berasal dari Port supply 2, dan 2 kapal yang membawa material 3 berasal dari Port supply 3. Pada kondisi eksisting, kapal berangkat saat kapal sudah tersedia di depot. Hal ini dikarenakan skema penyewaan kapal yang digunakan oleh perusahaan adalah skema time charter sehingga utilitas kapal harus dimaksimalkan, karena apabila utilitas kapal sedikit akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Dari data kondisi eksisting yang dikumpulkan selama satu tahun, diperoleh *service level* sebesar 78.4%. Pada tabel 1 bisa dilihat bahwa *service level* mengalami penurunan pada bulan ke 5 dan kembali naik pada bulan ke 10, lalu turun lagi pada bulan ke 11 dan 12. Dari data histori perusahaan diketahui bahwa penurunan *service level* ini

dikarenakan adanya keterlambatan kapal sehingga stok material kurang dan tidak bisa memenuhi permintaan dari produksi.

3.2. Eksperimen

Eksperimen faktor dilakukan pada model simulasi yang telah dibuat yang terdiri dari tiga faktor dasar dan kombinasi faktor. Adapun faktor yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :

1. Faktor 1 : *Operating Hour Port*. Saat ini pelabuhan *port supply* dapat melayani kapal mulai dari jam 7 pagi sampai jam 5 sore. Dalam faktor ini dilakukan perpanjangan jam kerja pelabuhan menjadi 24 jam dengan tujuan mengurangi waktu tunggu kapal.
2. Faktor 2 : *Reorder Point*. Pada kondisi eksisting, kapal akan berangkat kapanpun kapal siap di depot. Namun pada faktor ini, kapal hanya akan berangkat apabila stok tepung terigu berada pada titik reorder point.
3. Faktor 3 : Menambah kapasitas kapal. Penambahan kapasitas secara signifikan akan berpengaruh terhadap kenaikan *service level* karena jumlah tepung terigu yang datang akan lebih banyak sehingga diharapkan permintaan dari produksi akan terpenuhi.

Desain eksperimen untuk kombinasi faktor dihitung dengan menggunakan *full factorial* dengan hasil sebagai berikut.

1. Faktor 1 : *Operating Hour Port*
 Level 1 : eksisting (12 jam kerja)
 Level 2 : 24 jam kerja
2. Faktor 2 : *Reorder Point*
 Level 1 : eksisting
 Level 2 : pengaplikasian ROP
3. Faktor 3 : Penambahan Kapasitas kapal
 Level 1 : eksisting (kapasitas kapal 146.000 mt)
 Level 2 : kapasitas kapal 162.000 mt
 Level 3 : kapasitas kapal 195.000 mt

3.3. Hasil Simulasi

3.3.1. Hasil Simulasi Faktor

Hasil perhitungan *service level* pada setiap faktor bisa dilihat pada tabel 2. Sementara perubahan *service level* untuk setiap faktor dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Hasil *Service Level* dari setiap faktor

Bulan	<i>Service Level</i>			
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3 level 2	Faktor 3 Level 3
1	93.78 %	93.78 %	94.25 %	93.78 %
2	96.66 %	96.77 %	95.89 %	98.67 %
3	90.52 %	93.99 %	84.73 %	94.53 %
4	91.09 %	93.69 %	85.91 %	97.65 %
5	81.38 %	91.83 %	86.77 %	88.35 %
6	74.16 %	89.21 %	86.39 %	81.41 %
7	77.15 %	86.93 %	79.82 %	87.26 %
8	70.72 %	89.39 %	89.19 %	80.22 %
9	74.88 %	84.67 %	76.99 %	82.97 %
10	72.45 %	90.78 %	77.34 %	79.64 %
11	72.37 %	94.21 %	75.15 %	82.45 %
12	78.13 %	96.10 %	78.65 %	89.29 %
Totall	81.18 %	91.77 %	84.52 %	88.02 %

Tabel 3. Perubahan *Service Level* Dari Semua Faktor

Faktor	<i>Service level</i>		Perubahan
	Faktor	Eksisting	
1	81.18	78.41%	2.77%

	%		
2	91.77%	78.41%	13.36%
3 (level 2)	84.52%	78.41%	6.11%
3 (level 3)	88.02%	78.41%	9.61%

Dari tabel 3 dapat terlihat bahwa seluruh faktor yang diterapkan mampu meningkatkan *service level*. Faktor dengan peningkatan *service level* tertinggi adalah faktor 2 yaitu penerapan *reorder point* mampu menaikkan *service level* sebanyak 13.36%, yang kedua adalah faktor 3 (level 3) yaitu penambahan kapasitas kapal mampu menaikkan *service level* sebanyak 9.61%. Yang ketiga adalah faktor 3 (level 3) mampu menaikkan *service level* sebanyak 6.11%. Keempat adalah faktor 1 penambahan *operating hour port*, mampu menaikkan *service level* sebesar 2.77%.

3.3.2. Kombinasi Faktor

Setelah simulasi faktor dasar dilakukan, selanjutnya dilakukan kombinasi beberapa faktor menghasilkan 12 skenario. *Service level* dari kombinasi faktor dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Kombinasi Faktor

Skenario	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	<i>Service level</i>
1	1	1	1	81.13%
2	1	1	2	84.52%
3	1	1	3	88.02%
4	1	2	1	91.77%

5	1	2	2	88.58%
6	1	2	3	86.90%
7	2	1	1	81.18%
8	2	1	2	85.55%
9	2	1	3	77.50%
10	2	2	1	92.36%
11	2	2	2	88.68%
12	2	2	3	86.00%

Dari tabel 4 dapat diketahui bahwa *service level* tertinggi diperoleh dari kombinasi faktor nomor 10 yaitu penambahan jam operasi pelabuhan menjadi 24 jam, pengaplikasian ROP dan kapasitas kapal sebesar 146.000 mt mampu meningkatkan *service level* sebesar 13.95% dari *service level* eksisting.

3.4. Hasil Uji ANOVA

Skenario terbaik dipilih dari eksperimen yang telah dilakukan terhadap *performance measurement* atau parameter yang telah ditentukan. Namun sebelum itu akan dilakukan perbandingan faktor-faktor yang ada dengan menggunakan metode One-Way ANOVA. menguji hipotesis nol bahwa sampel dalam kelompok yang berbeda tersebut diambil dari populasi yang sama. Pada penelitian ini uji anova dilakukan untuk membandingkan rata-rata *service level* pada setiap hasil simulasi dari skenario yang ada.

Apabila hipotesis 0 ditolak, maka tes post hoc digunakan untuk mendapatkan gambaran yang benar mengenai kelompok mana yang berbeda signifikan [10]. Pengambilan keputusan dilihat berdasarkan nilai p-value atau nilai sig.

Pada output SPSS. Apabila nilai sig. < taraf kesalahan (α) yaitu 0.05 maka H_0 ditolak dan sebaliknya apabila nilai sig. > taraf kesalahan (α) yaitu 0.05 maka H_0

diterima.

Tabel 5. Uji ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2583.640	11	234.876	4.205	0.000
Within Groups	7372.693	132	55.854		
Total	9956.333	143			

Dari hasil uji ANOVA pada tabel 5 ditemukan bahwa nilai *pvalue* yang dihasilkan adalah lebih kecil dari 0.05, sehingga H_0 ditolak yang berarti bahwa terdapat minimal 1 *service level* yang berbeda.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan rancangan model dengan mengevaluasi tiga skenario yang mampu meningkatkan *service level* yaitu jam operasi pelabuhan, penetapan *reorder point*, dan penambahan kapasitas kapal. Sistem eksisting bisa diperbaiki dan ditingkatkan dengan mengimplementasikan kombinasi dari beberapa skenario.

Skenario yang paling berpengaruh terhadap *service level* adalah skenario 2 yaitu *reorder point*, mampu meningkatkan *service level* sebanyak 13.36%, yang kedua adalah skenario 3 (level 3) yaitu penambahan kapasitas kapal mampu menaikkan *service level* sebanyak 9.61%. Yang ketiga adalah skenario 3 (level 2) mampu menaikkan *service level* sebanyak 6.11%. Keempat adalah skenario 1 penambahan *operating hour port*, mampu menaikkan *service level* sebesar 2.77%. Kombinasi skenario yang paling berpengaruh terhadap *service level* adalah kombinasi skenario nomor 10 yaitu penambahan jam operasi pelabuhan

menjadi 24 jam, pengaplikasian ROP dan kapasitas kapal sebesar 146.000 mt mampu meningkatkan *service level* sebesar 13.95%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik

REFERENSI

- [1] M. Christiansen, K. Fagerholt, B. Nygreen, and D. Ronen, "Ship routing and scheduling in the new millennium," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 228, no. 3, pp. 467–483, 2013.
- [2] M. Christiansen, K. Fagerholt, T. Flatberg, Ø. Haugen, O. Kloster, and E. H. Lund, "Maritime inventory routing with multiple products : A case study from the cement industry," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 208, no. 1, pp. 86–94, 2011.
- [3] L. A. Salo and I. Vanany, "A simulation model of shipment planning and storage capacity for wheat material," 2021.
- [4] E. Engebretsen, "PT US CR," 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.1.067>
- [5] A. J. Schmitt, "QUANTIFYING SUPPLY CHAIN DISRUPTION RISK USING MONTE CARLO AND DISCRETE-EVENT SIMULATION," pp. 1237–1248, 2009.
- [6] Lery A Salo and I Vanany 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1034 012119

- [7] Law, A. M. & Kelton, W.D., 2000. *Simulation Modelling and Analysis*. 3rd ed. New York:McGraw-Hill.montgomery
- [8] Nyoman Pujawan, Mansur Maturidi, Arief Benny Tjahjono, Duangpun Kritchanchai, (2015), "An integrated shipment planning and storage capacity decision under uncertainty: a simulation study", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 45 Iss 9/10 pp. Permanent link to this document:
<http://dx.doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2014-0198>
- [9] Siswanto Nurhadi, Latiffianti E., Wiratno, Stefanus E., (2018), *Simulasi Sistem Diskrit*, 1st edition, ITS Tekno Sains, Surabaya.
- [10] Verma J. P., (2012), *Statistics and Research Methods in Psychology with Excel*, Springer Nature Pte Ltd., Singapore.