

#### SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Ketua Editor:  
Saparin, S.T., M.Si.

Manajer Jurnal:  
Eka Sari Wijianti, S.Pd., M.T.

Anggota Editor:  
Yudi Setiawan, S.T., M.Eng.  
Budi Santoso Wibowo, S.Pd., M.Eng.  
Occa Roanica, M.Si.

Administrasi:  
Fika Septiawati, A.Md.  
Said Apreza, S.S.T.  
Agus Sarwono, A.Md.

Mitra Bestari:  
Dr. Dani Harmanto (University of Derby),  
Scopus ID : 55159740800  
Dr. Ir. Erwin Siahaan, M.Si. (Universitas  
Tarumanegara)  
Dr. Ni Ketut Caturwati, M.T. (Universitas  
Sultan Ageng Tirtayasa)  
Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D (Universitas  
Sultan Ageng Tirtayasa)  
Dr. Yanuar Burhanuddin, M.T. (Universitas  
Lampung)  
Priyoko Prayitnoadi, M.Eng., Ph.D (Universitas  
Bangka Belitung)  
Suhdi, S.S.T., M.T. (Universitas Bangka  
Belitung)

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

Email:machineteknikmesin@gmail.com

Alamat Redaksi

Gedung Dharma Pengabdian  
Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik  
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung  
Balunujuk, Kabupaten Bangka Prov. Bangka  
Belitung

Laman: mesin.ubb.ac.id  
Email: mesinubb@yahoo.com

#### PENGANTAR EDITOR

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

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

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

Tim Redaksi  
Machine; Jurnal Teknik Mesin

## DAFTAR ISI

<b>PENGERING BERPENUKAR KALOR DENGAN SUMBER ENERGI SEKAM PADI</b>	<b>1</b>
Ida Bagus Alit <sup>1</sup> , I Gede Bawa Susana <sup>2</sup>	
<b>ANALISIS PENGARUH TEKANAN VACUUM PADA PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT CARBON FIBER MENGGUNAKAN METODE VACUUM INFUSION</b>	<b>6</b>
Setyo Wahyu Eko Utomo <sup>1</sup> , Dinda Putri Anggriani <sup>2</sup> , Aldianyah Rusminanda <sup>3</sup> , Novi Sukma Drastiawati <sup>4</sup>	
<b>PENGARUH PENGGUNAAN DUAL BED CATALYTIC CONVERTER BERBAHAN TEMBAGA DAN KUNINGAN TERHADAP TINGKAT KEBISINGAN DAN PERFORMA MESIN</b>	<b>12</b>
Syahrlun Gunawan <sup>1</sup> , Warju <sup>2</sup> , Sinta Putri Anisa <sup>3</sup> , Emilda Dini Pratiwi <sup>4</sup> , Mahardika Dwi Saputra <sup>5</sup>	
<b>SIMULASI NUMERIK II : DISTRIBUSI DIAMETER DROPLET PADA SEMPROTAN BIODIESEL KELAPA, JATROPA CURCAS DAN MINYAK GORENG BEKAS DALAM RUANG BAKAR MEXICAN HAT</b>	<b>18</b>
I Gede Teddy Prananda Surya	18
<b>MESIN PENGHALUS KULIT PISANG MENJADI BUBUK MINUMAN KOPI</b>	<b>24</b>
Yudi Setiawan <sup>1</sup> Saparin <sup>2</sup> ekasari wijianti <sup>3</sup>	
<b>PENGARUH KECEPATAN PAHAT LAS (TOOL) TERHADAP KUALITAS HASIL PENGELASAN GESEK PUNTIR (FRICTION STIR WELDING) PADA PROSES PENYAMBUNGAN ALUMINIUM TIDAK SEJENIS (DISSIMILAR) AL1100 DAN AL5052</b>	<b>29</b>
Deo Renaldo Scorpion <sup>1</sup> , Irza Sukmana <sup>1,*</sup> , A. Yudi Eka Risano <sup>1</sup>	
<b>MODIFIKASI PISAU MESIN PENEPUNG ATC DENGAN GARIS MATA POTONG PADA SUDUT 330 ARAH RADIAL</b>	<b>36</b>
Encu Saefudin, Marsono, Erik Puji Nugraha	

**PENGERING BERPENUKAR KALOR DENGAN SUMBER ENERGI SEKAM PADI**Ida Bagus Alit<sup>1</sup>, I Gede Bawa Susana<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

Jl. Majapahit No. 62 Mataram-NTB, 83125

<sup>2</sup>E-mail: gedebawa@unram.ac.id**Abstrak**

Pengeringan merupakan salah satu cara untuk memperpanjang masa simpan produk-produk pertanian. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan cara konvensional maupun menggunakan alat pengering. Penggunaan alat pengering dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi surya maupun sumber energi lain. Kelemahan pengeringan konvensional adalah sangat bergantung pada cuaca, sementara kelemahan alat pengering dengan sumber energi lain seperti energi listrik dan bahan bakar adalah diperlukannya biaya tambahan untuk sumber energi yang digunakan. Untuk itu diperlukan alat pengering dengan sumber energi yang lebih murah, seperti penggunaan limbah sekam. Di samping murah, limbah sekam juga mudah diperoleh. Penelitian ini mengkaji penggunaan alat pengering berbahan bakar limbah sekam padi untuk pengeringan cabai. Alat yang dirancang terdiri dari tungku pembakaran sekam, pipa penukar kalor dan lemari pengering. Penggunaan pipa penukar kalor bertujuan agar produk yang dikeringkan tidak terkontaminasi pembakaran sekam. Hasil penelitian menunjukkan berat bahan, kadar air, laju pengeringan, dan efisiensi pengering mengalami penurunan terhadap waktu. Temperatur lemari pengering berkisar 50- 600 C, dengan laju aliran udara 0,49 m<sup>3</sup>/menit. Alat ini mampu menurunkan kadar air cabai 85,8% hingga 58,2% dalam jangka waktu 900 menit, dengan efisiensi rata-rata sebesar 22%.

**Kata kunci:** Pengering, sekam, pengeringan cabai, penukar kalor**Abstract**

*Drying is one way to extend the shelf life of agricultural products. The drying process can be done by using conventional methods or a dryer. Dryer could utilize solar energy and others. The disadvantage of conventional drying by using solar energy is that very dependent on weather, while dryer with other energy sources such as electricity and fuel need an additional cost. For this reason, dryer with cheaper energy sources was needed, such as the use of husk waste. In addition to cheap, husk waste was also obtained easily. This study examined the use of dryer using rice husk waste for drying chili. The tool designed consists of husk burning furnaces, heat exchanger pipes and drying cabinets. A heat exchanger pipe is intended so that dry products were not contaminated with burning husks. The results showed that material weight, water content, crushing rate and drying efficiency decreased with time. The temperature of the drying cabinet ranges from 50 to 600 C with an air flow rate of 0.49 m<sup>3</sup> / min. this tool can reduce chili water content 85.8% to 58.2% in 900 minutes, with an average efficiency of 22%.*

**Keywords:** Dryers, rice husks, chilies drying, heat exchangers**PENDAHULUAN**

Salah satu cara untuk memperpanjang umur suatu bahan yaitu dengan melakukan proses pengeringan. Pengeringan merupakan cara untuk menghilangkan sebagian besar air dari zat padat dengan bantuan panas, baik secara alami maupun buatan [1], karena jika tidak dilakukan proses pengeringan maka bahan akan mudah rusak akibat adanya aktifitas mikroba dan jamur yang dapat merusak bahan, sehingga bahan tidak dapat bertahan

lama. Pengeringan alami merupakan pengeringan yang bergantung pada cuaca yaitu dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari. Jika cuaca tidak memungkinkan maka proses pengeringan akan berlangsung tidak sempurna dan memerlukan waktu yang cukup lama. Teknis penjemuran yang biasa dilakukan oleh masyarakat yaitu dilakukan pada lantai jemur, alas anyaman bambu, tikar, atau dengan cara digantung. Kelemahan dari pengeringan dengan cara penjemuran diantaranya mudah terkontaminasi, sulit dikontrol, memerlukan tempat yang luas, dan memerlukan waktu yang lama [2]. Pengeringan buatan merupakan alternatif pengeringan yang dapat

dilakukan tanpa bergantung pada cuaca yaitu menggunakan alat mekanis atau pengering buatan. Pengeringan buatan menggunakan tambahan panas untuk mengatasi kekurangan pengeringan dengan penjemuran. Pengeringan mekanis memerlukan energi untuk memanaskan bahan, menguapkan air bahan serta menggerakkan udara [3]. Beberapa keuntungan yang didapat diantaranya kapasitas pengering dapat dipilih sesuai dengan yang diperlukan, tidak memerlukan tempat yang luas, serta kondisi pengeringan dapat dikontrol. Salah satu kendala yang dihadapi oleh masyarakat dalam menerapkan pengeringan buatan yaitu memerlukan investasi awal yang cukup besar.

Penelitian mengenai penggunaan alat pengering dan penggunaan sumber energi biomassa telah banyak dilakukan. Seperti Moharaj dan Candra melakukan penelitian tentang performa pengering tenaga surya konveksi paksa untuk mengeringkan cabai. Sistem yang dibuat terdiri dari kolektor surya plat datar, *blower* sentrifugal dan rak pengering. *Blower* mengalirkan udara dengan laju aliran udara sebesar 0.25 kg/s. Efisiensi alat pengering yang dirancang adalah sebesar 21% [4]. Pengeringan ikan teri menggunakan biomassa sabut kelapa melalui metode konversi energi menggunakan *heat exchanger* dengan sistem konveksi paksa menghasilkan peningkatan produktivitas perajin sebesar 54,88% [5]. Proses pengeringan cabai merah dari kadar air 80% sampai 10% telah dilakukan menggunakan alat pengering tenaga surya. Waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan tersebut adalah 33 jam dengan rata-rata intensitas matahari sebesar 420 W/m<sup>2</sup> dan laju aliran udara sebesar 0,07 kg/s, efisiensi sistem pengeringan diperoleh sebesar 13% [6]. Hasil pengujian alat pengering berpenukar kalor dengan bahan bakar sekam padi dilakukan untuk mengeringkan jagung dari kadar air 19% menjadi 12% membutuhkan waktu 47 menit untuk kecepatan udara 3m/s [7]. Fathurrahman dkk. melakukan penelitian pengaruh temperatur dan kecepatan udara terhadap laju pengeringan jagung pada alat *fluidized bed dryer* [8]. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara dan temperatur, waktu pengeringan jagung semakin cepat. Variasi kecepatan udara dan temperatur udara yang paling cepat mengeringkan bahan pada kecepatan udara 7 m/s dan temperatur 65°C dengan massa bahan 0,5 kg. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air 12,6% yaitu 30 menit.

Proses pengeringan baik menggunakan sumber energi biomassa maupun surya dengan konversi energi termal meningkatkan temperatur ruang pengering untuk mengeringkan bahan pangan. Rerata temperatur ruang pengering tanpa beban dapat mencapai 71,10°C [9] dan temperatur tertinggi 109,2°C dengan rerata 72,79°C [10]. Penelitian [11] menggunakan biomassa sabut kelapa sebagai sumber

energi dalam merancang alat pengering yaitu tungku terpisah dengan penukar kalor yang disusun dari berkas pipa paralel. Penelitian selanjutnya menggunakan sekam sebagai bahan bakar alat pengering dengan variasi jumlah pipa dan jarak antar lubang sirkulasi udara. Alat yang dibuat terdiri dari ruang pembakaran sekam, pipa penukar kalor dan lemari pengering. Hasil penelitian tersebut menunjukkan temperatur ruang pengering yang tertinggi dihasilkan pada tungku dengan jumlah pipa penukar kalor 9 buah dan jarak lubang sirkulasi udara 50 mm. Semakin banyak pipa penukar kalor pada alat uji maka semakin luas permukaan kontak perpindahan panas yang terjadi di dalam tungku maupun di dalam ruang pengering. Semakin luas permukaan kontak perpindahan panas pada tungku menyebabkan semakin besar pula kalor hasil pembakaran sekam yang mampu diserap oleh pipa-pipa penukar kalor. Temperatur pipa penukar kalor sendiri dipengaruhi oleh proses pembakaran pada tungku. Pembakaran sekam dalam tungku memerlukan suplai udara yang berasal dari lubang yang terdapat pada dinding tungku, sehingga jarak lubang sirkulasi pada tungku akan mempengaruhi proses pembakaran. Dua ratus menit pertama terjadi kenaikan temperatur pipa penukar kalor, karena pembakaran sekam dimulai dari dasar tungku tepat di atas pipa penukar kalor. Dengan bertambahnya waktu maka proses pembakaran akan merambat ke atas sampai semua bahan bakar sekam habis terbakar. Semakin jauh pembakaran sekam dari pipa penukar kalor maka temperatur pipa semakin turun [9].

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental pengujian unjuk kerja alat pengering. Alat pengering terdiri dari tungku pembakaran sekam, lemari pengering, dan pipa penukar kalor. Tungku pembakaran merupakan ruang untuk proses pembakaran limbah sekam padi dengan lubang sirkulasi udara pada dindingnya, yang memiliki ukuran panjang 0,5 m, lebar 0,5 m, dan tinggi 0,8 m dengan kapasitas 20 kg sekam. Pipa penukar kalor berbahan *black steel*, berdiameter 2,54 cm dan ditempatkan 10 cm di atas lubang abu, karena karakteristik pembakaran sekam terjadi di dasar tumpukan sekam dan selanjutnya merambat ke atas. Penukar kalor terdiri dari pipa yang jumlah 9 buah yang disusun paralel dengan 1 (satu) lintasan aliran fluida yang berfungsi sebagai penghubung dan mentransfer panas dari ruang pembakaran ke lemari pengering. Ruang pengering memiliki ukuran panjang 0,5 m, lebar 0,5 m, dan tinggi 0,6 m yang dilengkapi kipas sebagai pengisap udara panas. Pengujian dilakukan untuk mengeringkan cabai besar. Skematik penelitian seperti disajikan pada

Gambar 1. Data yang diukur meliputi temperatur pipa penukar kalor, ruang pengering, lingkungan, kecepatan aliran udara, waktu pembakaran sekam dan kadar air cabai.

Jumlah kalor (panas) yang digunakan untuk pengeringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$Q_1$ = Panas sensibel bahan (kJ)

$Q_2$ = Panas sensibel air (kJ)

$Q_3$ = Panas laten penguapan air (kJ)

$Q_1$  adalah panas sensible bahan yang dikeringkan yaitu jumlah panas yang digunakan untuk memanaskan bahan.

$$Q_1 = m_k C_p (T_f - T_i) \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 1 Peralatan penelitian

Besarnya panas spesifik cabai adalah sebesar 3,81 kJ/kg<sup>o</sup>C [9].  $Q_2$  adalah panas sensible air yaitu panas yang digunakan untuk menaikkan suhu air di dalam bahan.

$$Q_2 = m_a C_{pa} (T_f - T_i) \dots\dots\dots(3)$$

$Q_3$  adalah panas laten penguapan air yaitu jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan.

$$Q_3 = m_a h_{fg} \dots\dots\dots(4)$$

$$K_a = \left( \frac{M_t - M_k}{M_t} \right) 100\% \dots\dots\dots(5)$$

$m_k$  = massa kering bahan,  $m_t$  = massa total,  $C_p$ =panas jenis bahan,  $T_f$ = Suhu akhir,  $T_i$ = suhu awal,  $K_a$ = kadar air,  $m_a$  = massa air,  $C_{pa}$ = panas jenis air,  $h_{fg}$  = panas laten penguapan air.

Energi masuk ke ruang pengering berasal dari udara yang membawa panas secara konveksi dari ruang pemanas. Volume udara yang masuk ke dalam

alat pengering dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$V = \dot{V} \times t \dots\dots\dots(6)$$

dengan  $\dot{V}$  = debit udara masuk,  $t$  = waktu pengeringan.

Besarnya kalor yang diberikan oleh udara panas pada bahan yang dikeringkan digunakan rumus sebagai berikut.

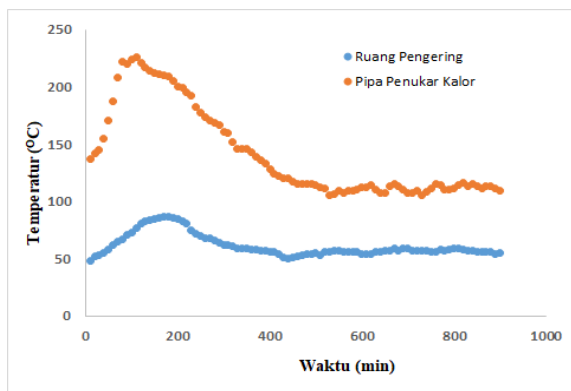
$$q = \rho_u V C_{pu} (T_m - T_k) \dots\dots\dots(7)$$

$\rho_u$  = massa jenis udara,  $C_{pu}$  =panas jenis udara,  $T_m$  = suhu rata-rata udara masuk pengering,  $T_k$  = suhu rata-rata udara keluar pengering.

Untuk efisiensi termal pada proses pengeringan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\eta = \frac{Q}{q} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

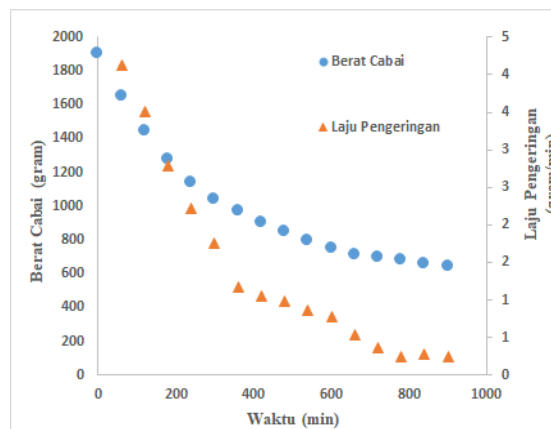
**HASIL DAN PEMBAHASAN**



**Gambar 2 Waktu pengeringan vs temperatur pipa penukar kalor dan ruang pengering**

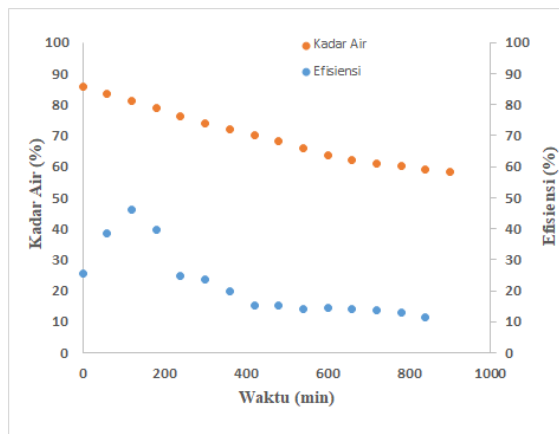
Gambar 2 menunjukkan bahwa besarnya temperatur ruangan pengering sangat dipengaruhi oleh temperatur pipa penukar kalor. Temperatur pipa penukar kalor sendiri dipengaruhi oleh proses pembakaran pada tungku. Pembakaran sekam dalam tungku memerlukan suplai udara yang berasal dari lubang yang terdapat pada dinding tungku. Dua ratus menit pertama terjadi kenaikan temperatur pipa penukar kalor, karena pembakaran sekam dimulai dari dasar tungku tepat di atas pipa penukar kalor. Dengan bertambahnya waktu maka proses pembakaran akan merambat ke atas sampai semua bahan bakar sekam habis terbakar. Semakin jauh pembakaran sekam dari pipa penukar kalor maka temperatur pipa semakin menurun. Selanjutnya temperatur ruangan dipertahankan dengan rentang temperatur 50 – 60°C dengan cara mengeluarkan abu dalam tungku pembakaran secara periodik. Temperatur ruang pengering sejalan dengan penelitian [12] bahwa cabai kering optimal pada suhu 60°C dengan pengujian dilakukan pada alat pengering.

Alat pengering digunakan untuk mengeringkan cabai yang memiliki berat awal cabai yang dikeringkan 1900 gram, dengan kadar air sebesar 85,8%. Cabai tersebut diletakkan di dalam lemari pengering yang memiliki 4 buah rak pengering. Gambar 3 memperlihatkan semakin lama waktu pengeringan menyebabkan berat cabai dan laju pengeringan semakin kecil. Setelah 15 jam pengujian berat cabai berkurang dari 1900 gram menjadi 646 gram atau sebesar 66%. Rata-rata laju pengeringan diperoleh sebesar 1,395 gram/menit.



**Gambar 3 Waktu pengeringan vs berat cabai dan laju pengeringan**

Gambar 4. Menunjukkan penurunan kadar air selama waktu pengujian dari kadar air awal cabai 85,8% menjadi 58,2%, atau terjadi penurunan kadar air sebesar 32% selama 15 jam pengujian. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu pengeringan semakin banyak air yang teruapkan sehingga kadar air cabai menurun. Efisiensi rata-rata pengeringan yang diperoleh sebesar 22%.



**Gambar 4 Waktu pengeringan vs kadar air dan efisiensi pengering**

**KESIMPULAN**

Hasil pengujian alat pengering menunjukkan berat bahan, kadar air, laju pengeringan dan efisiensi pengering mengalami penurunan terhadap waktu. Besarnya temperatur lemari pengering dipengaruhi oleh besar kecilnya temperatur pipa penukar kalor. Temperatur lemari pengering berkisar 50- 60°C, dengan laju aliran udara

0,49 m<sup>3</sup>/menit. Alat ini mampu menurunkan kadar air cabai 85,8% hingga 58,2% dalam rentang waktu 900 menit dengan efisiensi rata-rata sebesar 22%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami disampaikan kepada Kementerian riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi sebagai institusi pemberi dana penelitian, dan Jurusan Teknik Mesin Unran yang telah memberikan fasilitas sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sontakke M.S. and Salve S.P., Solar Drying Technologies: A Review. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, Vol. 4, Issue 4, 2015, pp. 29-35.
- [2] Syahrul S., Romdhani R., dan Mirmanto, Pengaruh Variasi Kecepatan Udara dan Massa Bahan terhadap Waktu Pengeringan Jagung pada Alat Fluidized Bed. *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, Vol. 6, No. 2, 2016, hal. 120-126.
- [3] Suryadi, Sukmawaty, dan Putra G.M.D., Scale Up dan Uji Teknis Alat Pengering Tipe Fluidized Bed [Scale Up and Technical Test of Fluidized Bed Dryer. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, Vol. 5, No. 2, 2017, hal. 452-461.
- [4] Mohanraj M. and Chandra S., Performance of A Force Convection Solar Drier Integrated with Gravel as Heat Storage Material for Chili Drying. *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 4, Issue 3, 2009, pp. 305-314.
- [5] Susana I G.B. dan Santosa I G., Peningkatan Produktivitas Perajin Ikan Teri dengan Konversi Energi Biomassa. *Jurnal Logic*, Vol. 15, No. 1, 2015, hal. 47-50.
- [6] Fudholi A., Othman M. Y., Ruslan M. H., and Sopian K., Drying of Malaysian Capsicum annum L. (Red Chili) Dried by Open and Solar Drying. *International Journal of Photoenergy*, 2013.
- [7] Alit I.B. dan Susana I G.B., Pengaruh Kecepatan Udara pada Alat Pengering Jagung dengan Mekanisme Penukar Kalor. *Rekayasa Mesin*, Vol. 11, No. 1, 2020, hal. 77-84.
- [8] Fathurrahman, Syahrul, Nurchayati, Mirmanto, dan Sukmawaty, Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Udara terhadap Laju Pengeringan Jagung pada Alat Fluidized Bed Dryer. *Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI IX)*, Lombok, 2017.
- [9] Susana I G. B., Yudhyadi I G.N.K., Alit I.B., Mirmanto, and Okariawan I D.K., Effect of Hole Spacing and Number of Pipe on Dryer Box Temperature. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Vol. 8, Issue 11, 2017, pp. 1029-1035.
- [10] Susana I.G.B., Mara I.M., Okariawan I.D.K., Alit I.B., & Aryadi I.G.A.K.C.A.W., 2019, Ash Hole Variation in Rice Husk Biomass Furnace with Parallel Flow Heat Exchanger to Dryer Box Temperature. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (2), 583-586.
- [11] Susana I.G.B., Improve of Worker Performance and Quality of Anchovy with Ergonomic Hybrid Solar Dryer. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 13, Issue 5, 2018, pp. 1662-1667.
- [12] Setiawan Y., Rodiawan, Wijianti E.S., dan Habibi N., Pengaruh Suhu dan Putaran Rak terhadap Laju Pengeringan Cabai Merah menggunakan Sumber Panas Heater. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 3, No. 1, 2017, hal. 1-4.

## ANALISIS PENGARUH TEKANAN VACUUM PADA PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT CARBON FIBER MENGGUNAKAN METODE VACUUM INFUSION

Setyo Wahyu Eko Utomo<sup>1</sup>, Dinda Putri Anggriani<sup>2</sup>, Aldianyah Rusminanda<sup>3</sup>, Novi Sukma Drastiawati<sup>4</sup>

Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Kota SBY, Jawa Timur 60231

Email : setyoutomo16050754036@mhs.unesa.ac.id

### Abstrak

*Vacuum infusion* merupakan metode pembuatan material komposit dengan menggunakan pompa *vacuum* untuk mengalirkan dan menyebarkan resin pada cetakan. *Vacuum infusion* dapat memperkuat sifat mekanik dari suatu material komposit dikarenakan pada proses pembuatannya diberikan tekanan negatif yang membuat resin atau matriks dapat meresap dengan lebih baik dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Komposit hasil *vacuum infusion* dapat digunakan sebagai bahan utama bodi kendaraan dikarenakan sifatnya yang kuat dan fleksibel dalam bentuk dan pembuatannya sehingga dapat dibentuk sesuai kebutuhan. Studi ini menguji tentang pengaruh tekanan pompa *vacuum* terhadap dua sifat mekanik (impak dan bending) suatu material komposit *carbon fiber* yang dengan matriks *epoxy*. Penelitian ini mendapatkan hasil kekuatan mekanik komposit *carbon fiber* akan semakin meningkat dengan bertambahnya tekanan pompa *vacuum* pada proses *vacuum infusion*.

**Kata Kunci** : *Carbon fiber*, kekuatan, komposit, tekanan pompa *vacuum*, *vacuum infusion*.

### Abstract

*Vacuum infusion* is a method of making composite materials by using a vacuum pump to drain and spread the resin in molding. *Vacuum infusion* can strengthen the mechanical properties of a composite material because the manufacturing process is given a negative pressure which makes the resin or matrix permeate better than the hand lay-up method. *Vacuum infusion* composites can be used as the main ingredient of a vehicle body due to its strong and flexible nature in its form and manufacture so that it can be shaped as desired. This study examines the effect of vacuum pump pressure on two mechanical properties (impact and bending) of a carbon fiber composite material given an epoxy matrix. The results of this study get an increase in strength of mechanical properties with added vacuum pump pressure.

**Keywords** : *carbon fiber*, composite, mechanical strength, *vacuum Infusion*, *vacuum pump pressure*.

### PENDAHULUAN

Salah satu teknologi material maju yang dikembangkan saat ini adalah komposit.

Komposit merupakan kombinasi makroskopik dari dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda dari material penyusunnya (Bakir dkk, 2013). Pada pembuatan komposit serat, susunannya disatukan dengan menggunakan pengikat serat yang disebut resin. Resin yang termasuk kedalam termoseting diantaranya *epoxy* dan *polyester*. Kebanyakan komposit yang diproduksi untuk keperluan komersial menggunakan matriks polimer dengan penguat serat tekstil seperti glass, aramid, dan karbon (Goren dkk, 2008).

Komposit yang banyak digunakan sebagai struktur pesawat, kapal laut, otomotif dan lainnya merupakan komposit dengan resin termoseting berpenguat serat kontinyu (Yeung dkk, 2014).

Ada beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan komposit seperti *manual hand lay up*, *vacuum bagging*, *vacuum infusion*, *resin transfer moulding*, *prepreg autoclave* dan sebagainya. Beberapa dekade terakhir, proses *vacuum infusion* telah menjadi populer untuk manufaktur struktur komposit dengan matriks polimer. Proses *vacuum infusion* merupakan alternatif teknik dengan biaya lebih rendah dibanding teknik manufaktur *autoclave*. Sebagai contoh, dengan proses *vacuum infusion* memungkinkan untuk memproduksi bentuk yang kompleks dengan tebal dan sifat mekanik yang sangat baik serta limbah yang lebih sedikit dibanding

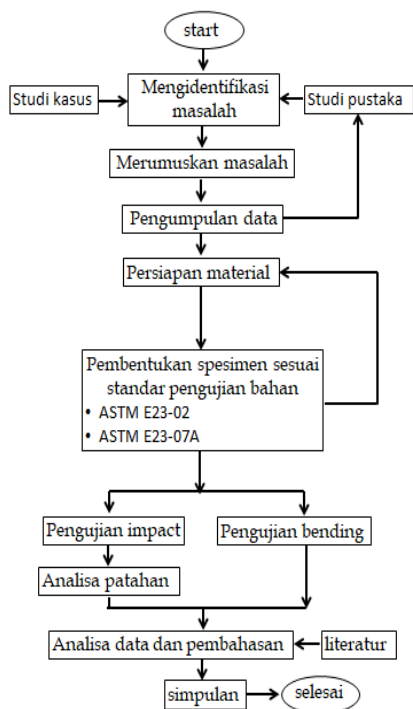


metode tradisional (Wang et al., 2011). Pada pembuatan komposit menggunakan metode *vacuum infusion* peran pompa *vacuum* untuk mendistribusikan resin sangatlah penting, untuk itu tentu tekanan hisapan pada pompa *vacuum* harus diperhatikan dengan baik agar hasil yang dicapai maksimal. Pada penelitian ini tekanan hisap pompa *vacuum* pada proses *vacuum infusion* mendapatkan perhatian lebih untuk diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan dampak dari variasi tekanan pompa *vacuum infusion* yang berbeda terhadap kekuatan impact dan bending material komposit berpenguat serat karbon dengan resin *epoxy*.

Hasil dari penelitian ini dapat menjadi suatu acuan pada pembuatan material komposit berpenguat serat karbon selanjutnya, dan bagi industri manufaktur akan memberikan data yang berguna pada saat melakukan produksi material menggunakan metode *vacuum infusion*.

**METODE EKSPERIMEN**

1. Rancangan Penelitian

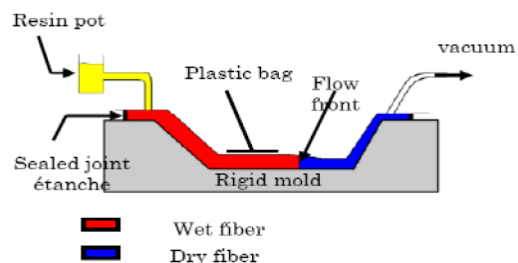


**Gambar 1 Rancangan Penelitian**

2. Pembuatan Spesimen Uji

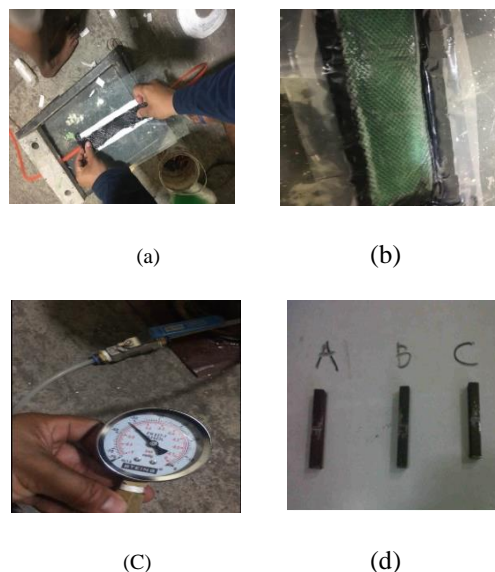
Spesimen uji dibuat dengan menggunakan metode *vacuum infusion*, dimana resin akan dialirkan merata pada serat yang sudah disiapkan

dalam cetakan dan telah dikondisikan agar tidak ada udara yang masuk (*leaking*). Tekanan pompa *vacuum* divariasikan pada tekanan -0,7 Bar, -0,8 Bar, dan -0,9 Bar dengan mengatur katub *valve* dan *clam*. Skema pembuatan spesimen uji komposit serat karbon dengan resin *epoxy* dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2 Skema Vacuum Infusion**

Pada metode ini serat karbon diletakkan pada molding yang sudah dibentuk, kemudian dilapisi dengan beberapa lapisan bahan seperti *peel ply* sebagai lapisan pertama berfungsi untuk membantu pelepasan komposit saat sudah kering agar tidak menempel terlalu kuat pada *infusion mesh*. *Infusion mesh* sendiri terletak pada lapisan kedua berfungsi untuk meratakan dan menghomogenkan aliran udara dari pompa *vacuum* supaya resin mengalir pada seluruh bagian cetakan (*molding*). *Bagging film* sebagai lapisan terakhir berfungsi untuk mencegah udara dari luar masuk kedalam cetakan.

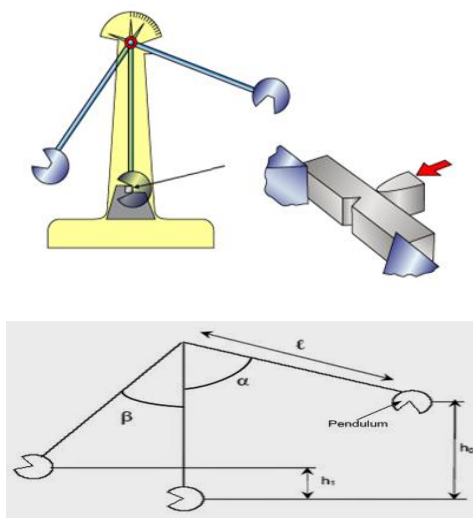


**Gambar 3 Komposit Serat Carbon**

Gambar 3 (a) menunjukkan *setting* pada laminasi komposit serat *carbon* yang kemudian dibalut dengan *peel ply*, *infusion mesh*, dan *bagging film* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3 (b). Gambar 3 (c) menunjukkan tekanan *pressure gauge* pada -0,7 Bar, dimana tekanan tersebut merupakan salah satu variasi tekanan *vacuum* yang digunakan pada penelitian ini. Gambar 3 (d) menunjukkan spesimen hasil yang sudah dipotong dan dihaluskan.

**Spesimen Uji Impact**

*Impact test* merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). *Impact test* bisa diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dengan ayunan. *impact test* merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan – lahan melainkan datang secara tiba – tiba.



**Gambar 4 Uji Impact Metode Charphy**

Dengan mengetahui besarnya energi potensial yang diserap oleh material maka kekuatan *impact* benda uji dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.

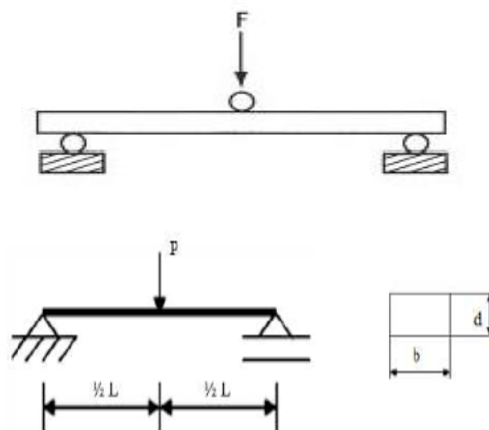
$$\begin{aligned}
 E &= \text{energi awal} - \text{energi yang tersisa} \\
 &= m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 \\
 &= m \cdot g \cdot (R - R \cdot \cos \alpha) - m \cdot g \cdot (R - R \cdot \cos \beta) \\
 &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

Keterangan :

- E : energi terserap (Kj/m<sup>2</sup>)
- m : berat pendulum (kg)
- g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- R : panjang lengan (m)
- α : sudut pendulum sebelum diayunkan
- β : sudut ayunan pendulum setelah mematahkan
- h : ketinggian

**Spesimen Uji Bending (Lengkung)**

Pengujian *bending* atau uji tekuk adalah salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik terutama kekuatan lengkung terhadap beban. Pengujian ini dilakukan dengan cara material ditahan di atas dua tumpuan yang diberi pembebanan secara terus-menerus pada satu titik tengah hingga spesimen mengalami perubahan bentuk dan pada akhirnya patah. Jika materialnya ulet maka kegagalan yang terjadi berupa luluh sedangkan bila materialnya getas kegagalannya adalah berupa patahan.



**Gambar 5 Pengujian Bending**

Pengujian *bending* memiliki standar pengujian yaitu standart pengujian ASTM E23-02 yang merupakan metode pengujian *bending* untuk menentukan karakteristik suatu material. Nilai kekuatan *bending* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_b = \frac{3 F L}{2 b d^2} \dots \dots \dots (2)$$

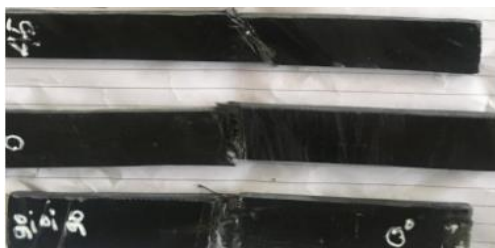
- Dimana :
- σ<sub>b</sub> = Kekuatan *bending* (N/mm<sup>2</sup> = Mpa)
  - F = Beban (N)
  - L = Panjang spesimen (mm)
  - b = Lebar spesimen (mm)
  - d = Tebal spesimen (mm)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Material komposit diuji sampai mengalami kegagalan untuk mengetahui nilai kekuatan impak dan bendingnya. Gambar 6 dan 7 menunjukkan spesimen komposit hasil pengujian yang mengalami kegagalan.



**Gambar 6 Patahan Uji Impak**

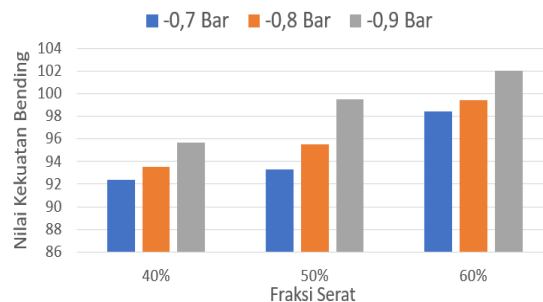


**Gambar 7 Kegagalan Uji Bending**

Rasio matriks dan *reinforce* di ukur dengan menggunakan metode fraksi volume, dimana massa antara matriks dan *reinforce* ditimbang dengan dengan memperhatikan massa jenis dari setiap unsur-unsur yang terkandung dalam material komposit, kemudian presentase fraksi volumenya divariasikan sesuai yang telah ditentukan sebelumnya.

### Analisa Uji Bending

Pengujian bending yang dilakukan menggunakan metode 3 *bending point test* untuk mengetahui nilai kekuatan lengkung dari material komposit yang telah dibuat, dari pengujian bending yang dilakukan tersebut maka didapatkan hubungan antara fraksi volume serat dengan kekuatan bending dan hubungan tekanan *vacuum* dengan kekuatan bending, seperti yang diperlihatkan pada gambar 8.



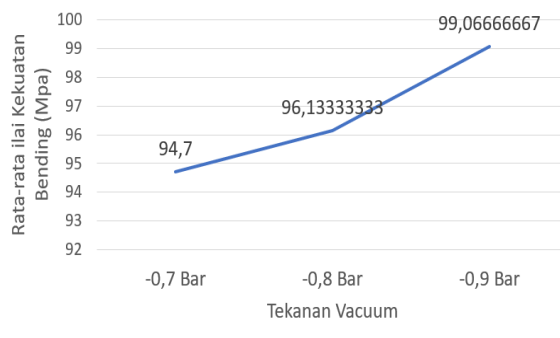
**Gambar 8 Grafik Tekanan *Vacuum* dan Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Impak.**

Pada Gambar 8, menunjukkan peningkatan kekuatan bending dikarenakan penambahan jumlah fraksi serat karbon. Grafik diatas menjelaskan bahwa kekuatan bending akan semakin bertambah seiring dengan ditambahkan fraksi seratnya. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tekanan *vacuum* -0,7 Bar pada fraksi volume serat 40% nilai kekuatan bendingnya 92.4 Mpa, pada fraksi volume serat 50% nilai kekuatan bendingnya 93.3 Mpa dan terus meningkat sampai fraksi volume serat 60% dimana nilai kekuatan bendingnya mencapai 98.4 Mpa. Seperti pada tekanan *vacuum* -0.7 Bar, pada tekanan -0.8 dan -0.9 bar penambahan fraksi volume serat juga akan meningkatkan kekuatan bending material komposit berpenguat serat karbon (Mpa).



**Gambar 9 Spesimen setelah diuji bending**

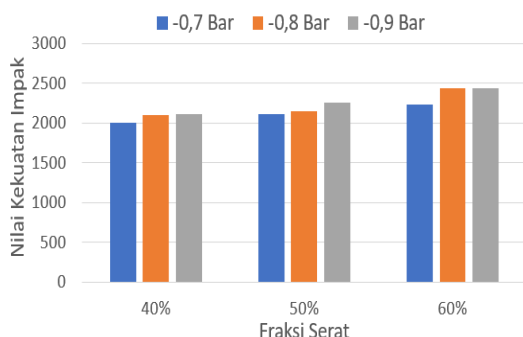
Gambar 8, Juga menjelaskan pengaruh tekanan *vacuum* terhadap nilai kekuatan bending (Mpa) pada komposit serat karbon. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan *vacuum* yang diberikan, maka nilai kekuatan bending yang diperoleh akan semakin besar. Hal ini ditunjukkan pada tekanan *vacuum* -0.7 Bar, rata-rata nilai kekuatan bendingnya adalah 94.7 Mpa, kemudian pada tekanan *vacuum* -0.8 Bar, rata-rata nilai kekuatan bendingnya meningkat menjadi 96.14 Mpa dan puncaknya pada tekanan *vacuum* -0.9 Bar, rata rata nilai kekuatan bendingnya mencapai 99.07 Mpa. Hal ini menunjukkan penambahan tingkat tekanan *vacuum* akan berdampak pada peningkatan kekuatan bending pada material komposit serat karbon seperti yang ditunjukkan gambar grafik 10 dibawah ini.



Gambar 10 Grafik Tekanan Vacuum Terhadap rata-rata nilai Kekuatan Bending (MPa)

### Analisa Uji Impak

Untuk mengetahui tingkat energi *damping* atau benturan dan keuletan material komposit, maka dilakukan uji impak. Uji impak yang kami lakukan ini menggunakan metode *charphy*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pada metode ini takikan membelakangi pukulan. Energi yang dihasilkan oleh ayunan pendulum akan terpusat pada tengah takikan material komposit, sehingga material akan mengalami kegagalan pada area tengahnya. Dari pengujian yang kami lakukan, maka diperoleh data gambar data grafik dibawah ini.



Gambar 11 Grafik Tekanan Vacuum dan Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Impak (Kj/m2).

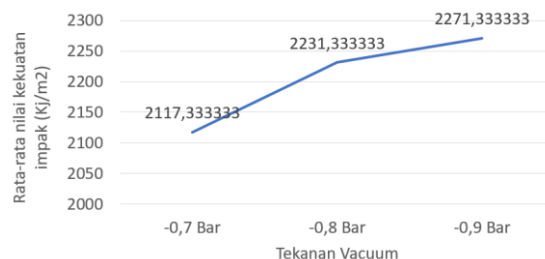
Pada Gambar 11 menunjukkan peningkatan nilai kekuatan impak dikarenakan penambahan jumlah presentase fraksi serat karbon. Grafik diatas menunjukkan peningkatan kekuatan dari fraksi serat 40%, 50%, dan 60% terus meningkat. Pada tekanan *vacuum* -0.8 Bar, nilai kekuatan impaknya adalah 2105 kj/m2 dengan fraksi serat 40%, kemudian pada saat fraksi serat ditambah menjadi 50%, peningkatan terjadi pada nilai kekuatan impaknya yaitu menjadi 2153 kj/m2, dan puncaknya pada presentase fraksi seratnya 60% kekuatan impaknya adalah 2436 kj/m2. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan

jumlah serat akan meningkatkan tingkat kekuatan impak pada material komposit serat karbon.



Gambar 12 Spesimen Sebelum dilakukan Uji Impak

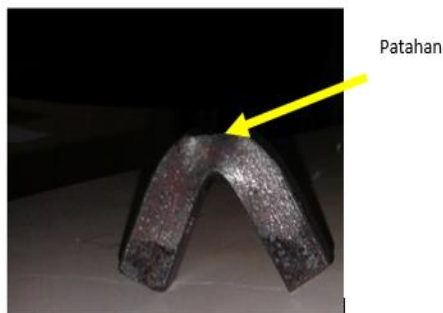
Pada pengujian Impak yang kami lakukan, kami juga mengambil sampel dengan tekanan vacuum yang berbeda beda yaitu dari tekanan -0.7 Bar, -0.8 Bar, dan -0.9 bar, yang akan dijelaskan pada gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 13 Grafik Tekanan Vacuum Terhadap rata-rata nilai Kekuatan Impak (Kj/m2).

Gambar 13 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan *vacuum* dengan nilai rata-rata kekuatan impak (Kj/m<sup>2</sup>). Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan nilai tekanan pompa *vacuum* pada proses *vacuum infusion* akan meningkatkan nilai rata-rata kekuatan impak. Dapat dilihat dari grafik diatas nilai rata-rata kekuatan nilai impak (Kj/m<sup>2</sup>) pada tekanan vacuum -0.7 Bar, adalah 2117.34 Kj/m<sup>2</sup>, kemudian penambahan tekanan *vacuum* menjadi -0,8 bar, nilai rata-rata kekuatan impak naik menjadi 2231.3 Kj/m<sup>2</sup> dan puncaknya pada penambahan tekanan *vacuum* -0.9 Bar, nilai rata-rata kekuatan impaknya menjadi 2271.33 Kj/m<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kevakuman udara pada proses *vacuum infusion*, maka kekuatan impak yang didapatkan akan semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan karena pada saat udara dalam cetakan mengalami tekanan kevakuman yang tinggi, resin yang berfungsi mengikat serat akan cenderung tidak bergerak atau dalam keadaan *stayed* (diam), hal ini mengakibatkan ikatan yang maksimal antara resin dan penguatnya sehingga material komposit

memiliki nilai kekuatan bending dan dampak yang tinggi.



**Gambar 14** Spesimen setelah dilakukan Uji Impak.

bending dan dampak material komposit akan semakin meningkat.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan segenap terimakasih kepada LPPM UNESA yang telah mendukung dan mendanai penelitian ini sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik, dan tak lupa juga kami ucapkan terima kasih atas bimbingan dan dukungan Ibu Novi Sukma Drastiawati, ST, M.Eng., yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penulisan makalah ini dan tak lupa kami juga mengucapkan terimakasih kepada segenap tim penelitian DIPA UNESA

## KESIMPULAN

Dengan selesainya penelitian yang kami lakukan dengan judul Analisa Tekanan Vacuum Pada Proses Pembuatan Komposit Carbon Fiber Menggunakan Metode Vacuum Infusion, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kekuatan dampak dan bending komposit serat karbon yang di produksi dengan menggunakan metode *vacuum infusion* akan mengalami peningkatan seiring dengan ditambahkan fraksi volume seratnya dari 40%, 50%, sampai 60%. Dari hasil analisa yang dilakukan, hal ini disebabkan oleh serat dalam material komposit yang bersifat menguatkan baik itu kekuatan dampak maupun bending.
2. Pada proses pembuatan material komposit menggunakan metode *vacuum infusion*, nilai kekuatan dampak dan bending material akan mengalami peningkatan seiring dengan ditambahkan tekanan *vacuum* dari -0,7 Bar, -0,8 Bar hingga -0,9 Bar. Hasil analisa menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan *vacuum*, maka akan mengefisienkan penggunaan resin atau matriks *epoxy* yang sifatnya adalah keras dan getas, Dengan ditingkatkannya nilai kevakuman pada proses *vacuum infusion*, maka kekuatan

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Bakir, B. dan H. Hasim, 2013. Effect of Fiber Orientation for Fiber Glass Reinforced Composite Material on Mechanical Properties, International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMME) Volume 1, Issue 5 (2013) ISSN 2320-4052.
- [2] Goren, A. dan Atas, C., 2011. Manufacturing of Polymer Matrix Composites Using Vacuum Assisted Resin Infusion Molding, International Scientific Journal, World Academy of Materials and Manufacturing Engineering, Volume 34 Issue 2, December 2008, Pages 117-120.
- [3] Wang, P; Molimard, J; Drapier, S; Vautrin, A; and J.C. Minni, 2011. Monitoring the Resin Infusion Manufacturing Processes Under Industrial Environment Using Distributed Sensors, Journal of Composite Materials 46(6) 691-706.
- [4] Yeung, K.K.H. and K.P. Rao, 2014. Mechanical Properties of Boron and Kevlar-49 Reinforced Thermosetting Composites and Economic Implications, Journal of Engineering Science, Vol. 10, 19-2

## PENGARUH PENGGUNAAN DUAL BED CATALYTIC CONVERTER BERBAHAN TEMBAGA DAN KUNINGAN TERHADAP TINGKAT KEBISINGAN DAN PERFORMA MESIN

Syahrul Gunawan<sup>1</sup>, Warju<sup>2</sup>, Sinta Putri Anisa<sup>3</sup>, Emilda Dini Pratiwi<sup>4</sup>, Mahardika Dwi Saputra<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Kota SBY, Jawa Timur 60231

Email: syahrul.17050754002@mhs.unesa.ac.id

### Abstrak

Seiring dengan meningkatnya aktivitas, manusia semakin memerlukan alat transportasi yang aman, nyaman dan memadai sebagai sarana pendukung mobilitas. Akibatnya, seiring perkembangan zaman jumlah arus lalu lintas dan jenis kendaraan yang menggunakan ruas-ruas jalan semakin bertambah. Hal ini menimbulkan masalah dibidang transportasi, salah satunya adalah masalah kebisingan yang ditimbulkan dari knalpot kendaraan. Oleh karena itu, upaya untuk mereduksi kebisingan dan tekanan balik dari *muffler* kendaraan perlu dilakukan. Salah satunya dengan menggunakan *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan. *Dual bed catalytic converter* berfungsi sebagai pereduksi emisi sekaligus dapat mereduksi kebisingan dan meningkatkan performa mesin. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar peningkatan performa mesin dan tingkat reduksi kebisingan dengan menggunakan *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan pada sepeda motor Honda Vario Techno. Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimen. Analisis data menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan dapat meningkatkan, daya dan menurunkan tingkat kebisingan. Peningkatan torsi tertinggi pada *catalytic* kuningan-tembaga sebesar 16,70 % didapatkan pada putaran 4000 rpm dan *catalytic* tembaga-kuningan sebesar 10,06% didapatkan pada putaran 8000 rpm. Peningkatan daya efektif *catalytic* Kuningan-Tembaga tertinggi sebesar 2,40 % didapatkan pada putaran 3000 rpm, sedangkan *catalytic* tembaga kuningan tertinggi sebesar 3,20%. Selain itu *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan dapat menurunkan tingkat kebisingan tertinggi pada *catalytic* Tembaga-Kuningan sebesar 3,08 % didapatkan pada putaran 4000 rpm dan penurunan tingkat kebisingan tertinggi pada *catalytic* Kuningan-Tembaga sebesar 5.6% pada putaran 4000 rpm.

**Kata kunci:** *dual bed*, catalytic converter, tembaga, kuningan.

### Abstract

As activities increase, people increasingly need safe, comfortable and adequate means of transportation to support mobility. As a result, as time goes by the number of traffic flows and types of vehicles using road segments is increasing. This raises problems in the field of transportation, one of which is the problem of noise generated from vehicle exhaust. Therefore, efforts to reduce noise and back pressure from vehicle mufflers need to be done. One of them by using a *dual bed catalytic converter* made of copper and brass. The *dual bed catalytic converter* functions as a reducing emissions while reducing noise and improving engine performance. The purpose of this study was to determine how much increased engine performance and noise reduction levels using a *dual bed catalytic converter* made of copper and brass on a Honda Vario Techno motorcycle. The research conducted was experimental research. Data analysis uses quantitative descriptive method. Based on the results of this study concluded that the use of *dual bed catalytic converters* made from copper and brass can increase, power and reduce noise levels. The highest increase in torque at 16.70% catalytic brass was found at 4000 rpm and copper-brass catalytic at 10.06% obtained at 8000 rpm. The highest increase in the effective catalytic capacity of Brass-Copper by 2.40% was found at 3000 rpm, while the highest catalytic copper brass was 3.20%. In addition, the *dual bed catalytic converter* made from copper and brass can reduce the highest noise level on Copper-Kuningan catalytic by 3.08% obtained at 4000 rpm and the highest noise level reduction on Brass-Copper catalytic by 5.6% at 4000 rpm rotation.

**Key words:** *dual bed*, catalytic converter, copper, brass.

## PENDAHULUAN

Pada rentang 2005, perbandingan antara jumlah sepeda motor dan penduduk di Indonesia diperkirakan mencapai 1:8 dan dari tahun ke tahun akan terus meningkat [1]. Pertumbuhan kendaraan bermotor yang tinggi tidak hanya didukung oleh jumlah penduduk Indonesia yang besar (240 juta), akan tetapi juga didukung oleh karakteristik orang Indonesia yang senang berganti-ganti kendaraan untuk menunjukkan eksistensi dan gengsi mereka di masyarakat [2]. Pertumbuhan tersebut akan menjadi lebih besar karena populasi kendaraan diproyeksikan untuk tumbuh mendekati 1.300 juta pada tahun 2030 [3].

Knalpot telah banyak digunakan untuk mengurangi kebisingan aliran di dalam saluran, seperti pada sistem knalpot kendaraan atau sistem ventilasi peralatan rumah tangga [4]. Prinsip kerja knalpot pada dasarnya digunakan untuk menurunkan tekanan dan temperatur gas buang serta mengurangi kebisingan yang ditimbulkan oleh ledakan pembakaran dari dalam ruang bakar dengan cara pembesaran ruangan agar gas buang mengalami ekspansi dan penurunan temperatur secara bertahap. Penurunan tekanan dan temperatur dapat terjadi karena amplitudo gelombang tekanan dan suara menjadi turun. Dengan demikian intensitas suara dan tekanan balik yang ditimbulkan akan menurun [5].

Secara umum, knalpot harus dirancang untuk memenuhi dua persyaratan berikut: (1) Knalpot harus meredam rentang frekuensi yang diinginkan, terutama rentang frekuensi rendah (2) Tekanan balik minimum, tekanan balik merupakan tekanan statis ekstra yang diberikan oleh knalpot pada *engine* melalui pembatasan aliran gas buang. Hal tersebut perlu dijaga agar tetap minimum, karena tekanan balik yang besar akan menghasilkan pengurangan efisiensi volumetrik dan tingkat konsumsi bahan bakar spesifik [6].

Kebisingan pada knalpot tersebut merupakan sebuah masalah yang sering dijumpai pada banyak perusahaan besar saat ini. Penggunaan mesin dan alat kerja yang mendukung proses produksi berpotensi menimbulkan suara kebisingan. Kebisingan adalah terjadinya bunyi yang tidak dikehendaki sehingga mengganggu atau membahayakan kesehatan (Kepmenkes No.1405/MENKES/ SK/ XI/ 2002) [7]. Sedangkan menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup KEPMEN LH No 48 Tahun 1996 Kebisingan merupakan bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan [8]. Kebisingan juga dapat menyebabkan berbagai gangguan seperti gangguan fisiologis,

gangguan psikologis, gangguan komunikasi dan ketulian. Selain itu kebisingan pada frekuensi rendah juga dapat mengganggu pengemudi dan penumpang [9].

Kebisingan pada knalpot akan berkaitan dengan performa mesin yang merupakan sebuah kinerja suatu mesin, dimana kinerja tersebut erat hubungannya dengan daya mesin yang dihasilkan serta daya guna dari mesin tersebut. Kinerja dari suatu mesin kendaraan umumnya ditunjukkan dalam tiga besaran, yaitu tenaga yang dapat dihasilkan, torsi yang dihasilkan, dan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Tenaga bersih yang dihasilkan dari poros keluar mesin disebut "*brake horse power*" (Bhp). Tenaga total yang dapat dihasilkan dari piston mesin disebut "*indicated horse power*" (Ihp). Sebagian dari *indicated horse power* ini hilang akibat gesekan dan energi kelembaman dari massa yang bergerak yang disebut "*friction horse power*" [10].

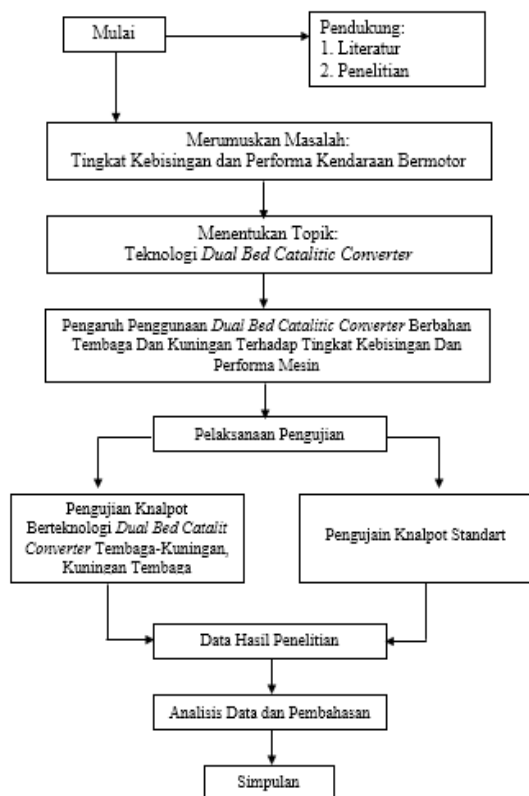
Selain mengurangi kebisingan dalam perkembangannya, berbagai model knalpot juga berfungsi sebagai piranti untuk meningkatkan performa kendaraan bermotor, termasuk di dalamnya adalah knalpot jenis *racing* yang diproduksi oleh industri kecil [11]. Oleh karena itu, knalpot dapat dianggap sebagai perangkat yang dapat meningkatkan efisiensi energi sistem sekaligus mengurangi kebisingan [12].

*Catalytic converter* merupakan teknologi untuk menurunkan kadar emisi dari kendaraan bermotor seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) [13]. Selain itu, penambahan *catalytic converter* pada kendaraan mampu mereduksi kebisingan dan meningkatkan torsi daya performa kendaraan bermotor. Beberapa penelitian dilakukan untuk mendapatkan performa kendaraan yang tinggi dengan tetap memperhatikan polusi kebisingan pada kendaraan. Seperti penelitian *catalytic converter* selain mampu mengurangi emisi gas buang CO dan HC juga mampu meningkatkan performa mesin serta menurunkan tingkat kebisingan pada knalpot kendaraan [14]. Berlatar belakang dari masalah kebisingan pada kendaraan dan performa mesin maka dalam penelitian ini dilakukan eksperimen untuk mengetahui hasil tingkat kebisingan dan performa mesin motor Vario Techno 125 menggunakan *dual bed catalytic converter* berbahan dasar tembaga dan kuningan yang diletakan secara campur. Pengujian akan dibandingkan dengan knalpot standar, lalu knalpot *dualbed catalytic converter* bagian depan kuningan dan belakang tembaga (KT), dan knalpot bagian depan *dual bed catalytic converter* berisi tembaga dan belakang kuningan (TK). Berdasarkan tiga knalpot tersebut akan diuji dan dicari data presentase penurunan kebisingan pada knalpot dengan penambahan *catlytic converter* KT dan TK,

serta akan dicari data peningkatan performa mesin setelah menggunakan knalpot dengan penambahan *catalytic converter* tersebut.

## METODE PENELITIAN

### Rancangan Penelitian



Gambar 1 Rancangan Penelitian

### Penelitian

Untuk mengetahui hasil pengujian torsi, daya dan kebisingan pada knalpot yang diuji. Maka pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental.

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian tingkat kebisingan dan pengujian performa kendaraan seperti torsi dan daya. Prosedur pengujian tingkat kebisingan dilakukan menggunakan *Sound Level Meter* (SLM) yang dipasang pada jarak  $0,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  dari titik sumbu pipa knalpot dengan membentuk sudut  $45^\circ \pm 5^\circ$  dan tinggi SLM tidak kurang dari  $0,2 \text{ m}$  dari permukaan tanah. Motor dihubungkan dengan *Rpm Counter* dan pengujian yang dilakukan dengan mengukur kebisingan secara bertahap pada putaran mesin 1000 rpm sampai 9000 rpm dengan kenaikan 500 rpm setiap pengukurannya.

Pengujian torsi dan daya pada penelitian ini menggunakan pembebanan mesin dengan *chassis dynamometer*. Selanjutnya mengaktifkan beban pada *chassis dynamometer* dan memulai membuka throttle gas sampai pada kecepatan maksimal dan kemudian dilepaskan. Data operasi meliputi daya, putaran mesin dan torsi/beban akan langsung terbaca pada *display chassis dynamometer* secara *real time*.

### Instrumen

1. Chasis Dynamometer
2. Rpm Counter
3. Sound Level Meter 4 in 1 Multi-Function Environment Meter

### Obyek Penelitian

Obyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah Honda Vario Techno 125 CC Tahun 2013.

### Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan referensi dan pengujian pada laboratorium performa mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Teknik pengumpulan data menggunakan metode pengujian sebagai berikut:

1. Pengukuran performa mesin berdasarkan standar SAE J1349 tentang Engine Power Test Code – Spark Ignition and Compression Ignition – Net Power Rating.
2. Pengukuran tingkat kebisingan berdasarkan standar ISO/FDIS 5130:2006 (E) tentang Acoustics-Measurements of Sound Pressure Emitted by Stationary Road Vehicles.

### Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan metode deskriptif, yaitu dengan mendeskriptifkan atau menggambarkan secara sistematis, faktual, dan akurat mengenai realita yang diperoleh selama pengujian. Data hasil penelitian yang diperoleh dimasukkan dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Selanjutnya dideskriptifkan dengan kalimat sederhana sehingga mudah dipahami untuk mendapatkan jawaban dari permasalahan yang diteliti. Hal ini dilaksanakan untuk memberikan gambaran terhadap fenomena yang terjadi setelah diadakan penambahan *catalytic converter* pada saluran gas buang (knalpot) Vario Techno 125 CC.



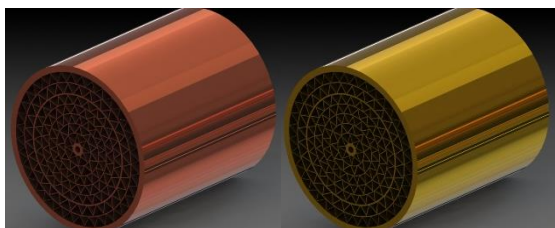
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Desain Knalpot Variasi**

Knalpot variasi merupakan modifikasi dari knalpot standar yang ditambah dengan wadah *dual bed catalytic converter* yang didalamnya berisi *catalytic converter* berbahan dasar tembaga kuningan dan kuningan tembaga.



**Gambar 2 Desain knalpot variasi**

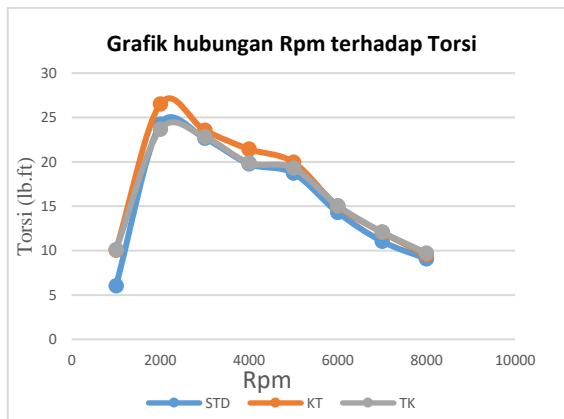


**Gambar 3 Desain catalytic converter berbahan dasar tembaga dan kuningan**

*Catalytic converter* yang digunakan diletakkan pada wadah *dual bed* secara campur, *catalytic converter* KT dan TK. Dua komposisi pada knalpot variasi ini diuji dan dibandingkan dengan knalpot standar untuk mengetahui apakah ada perbedaan terhadap kebisingan dan performa mesin pada motor Honda Vario Techno 125 setelah ditambahkan *catalytic converter*.

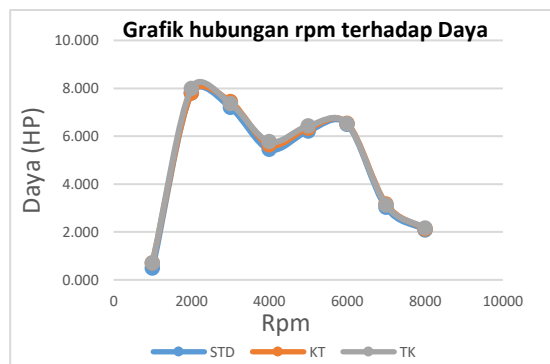
**HASIL PENGUJIAN**

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen terhadap sepeda motor Honda Vario Techno 125 CC yang menggunakan *dual bed catalytic converter*. Secara lengkap data-data yang didapatkan bisa dilihat pada grafik berikut.



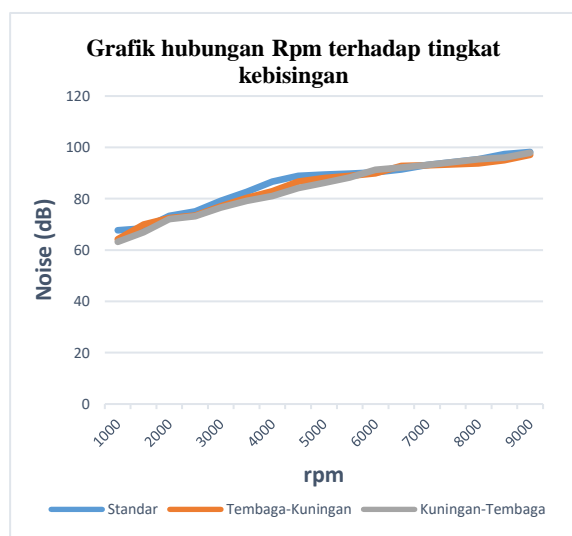
**Gambar 4 Grafik Hubungan antara putaran mesin terhadap torsi**

Berdasarkan grafik 1 penggunaan *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan pada knalpot sepeda motor Honda Vario Techno 125 CC selain sebagai teknologi reduksi konsentrasi emisi CO dan HC juga dapat meningkatkan torsi yang dihasilkan. Peningkatan torsi tertinggi pada *catalytic converter* KT sebesar 16,70 % didapatkan pada putaran 4000 rpm dan *catalytic converter* TK sebesar 10,06% didapatkan pada putaran 8000 rpm. Adanya penambahan *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan di dalam wadah *catalytic converter*, torsi yang dihasilkan mesin cenderung naik hingga didapatkan torsi maksimal. Karena dengan penambahan *dual bed catalytic converter*, maka saluran gas buang akan memberikan tekanan balik yang lebih besar jika dibandingkan dengan knalpot standar. Tekanan balik ini akan dimanfaatkan untuk menaikkan torsi. Tekanan balik ini menyebabkan sebagian gas buang yang mengandung panas masuk ke dalam ruang bakar, sehingga efisiensi thermal mesin meningkat jika dibandingkan dengan efisiensi thermal mesin menggunakan knalpot standar.



**Gambar 5 Grafik Hubungan antara putaran mesin terhadap daya.**

Berdasarkan grafik 2 penggunaan *dual bed catalytic converter* TK dan KT pada knalpot sepeda motor Honda Vario Techno 125 CC. Peningkatan daya efektif *catalytic converter* KT tertinggi sebesar 2,40 % didapatkan pada putaran 3000 rpm, sedangkan *catalytic converter* TK tertinggi sebesar 3,20%. Meningkatnya daya efektif disebabkan karena torsi yang dihasilkan meningkat. Dampaknya daya efektif juga meningkat dibandingkan knalpot standar.



**Gambar 6 Grafik Hubungan antara putaran mesin terhadap tingkat kebisingan.**

Berdasarkan Grafik 3 penggunaan *dual bed catalytic converter* berbahan KT dan TK pada knalpot sepeda motor Honda Vario Techno 125 CC selain sebagai teknologi reduksi konsentrasi emisi CO dan HC juga dapat menurunkan tingkat kebisingan. Penurunan kebisingan yang terjadi disebabkan karena tekanan gas buang pada knalpot eksperimen diturunkan dengan adanya *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan yang dimasukkan kedalam wadah *catalytic converter*, sehingga gas sisa hasil pembakaran dalam ruang bakar yang keluar melalui pipa utama dapat diredam secara sempurna oleh *dual bed catalytic converter* berbahan KT dan TK yang terdapat dalam pipa utama. Dampaknya tingkat kebisingan pada knalpot berteknologi *dual bed catalytic converter* mengalami penurunan jika dibandingkan dengan knalpot standar. Penurunan tingkat kebisingan tertinggi pada *catalytic converter* TK sebesar 3,08 % didapatkan pada putaran 4000 rpm dan penurunan tingkat kebisingan tertinggi pada *catalytic converter* KT sebesar 5.6% pada putaran 4000 rpm.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa knalpot sepeda motor Honda Vario Techno 125 CC yang menggunakan *dual bed catalytic converter* berbahan tembaga dan kuningan pada knalpot eksperimen dapat meningkatkan torsi dan daya yang dihasilkan. Peningkatan torsi tertinggi pada *catalytic converter* KT sebesar 16,70 % didapatkan pada putaran 4000 rpm dan *catalytic converter* TK sebesar 10,06% didapatkan pada putaran 8000 rpm. Peningkatan daya efektif *catalytic converter* KT tertinggi sebesar 2,40 % didapatkan pada putaran 3000 rpm, sedangkan *catalytic converter* TK tertinggi sebesar 3,20%. Selain itu *dual bed catalytic converter* berbahan TK dan KT pada knalpot sepeda motor Honda Vario Techno 125 CC dapat menurunkan tingkat kebisingan tertinggi pada *catalytic converter* TK sebesar 3,08 % didapatkan pada putaran 4000 rpm dan penurunan tingkat kebisingan tertinggi pada *catalytic converter* KT sebesar 5.6% pada putaran 4000 rpm. Berdasarkan hasil pengujian secara keseluruhan, penggunaan *catalytic converter* KT memiliki kemampuan yang baik dalam meningkatkan torsi dan mereduksi kebisingan dibandingkan *catalytic converter* TK. Sedangkan peningkatan daya, *catalytic converter* TK mampu memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan *catalytic converter* KT.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada LPPM Universitas Negeri Surabaya selaku penyelenggara dan pemberi dana dalam kegiatan Penelitian Mahasiswa.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ismiyati, D. Marlita, and D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Manaj. Transp. Logistik*, vol. 01, no. 03, pp. 241–248, 2014.
- [2] M. H. Anshari, K. D. Artika, and A. Kuswoyo, "Analisa Pengukuran Tingkat Kebisingan Sepeda Motor Berdasarkan Rpm Dan Jumlah Kendaraan," *J. Elem.*, vol. 5, no. 1, p. 07, 2018, doi: 10.34128/je.v5i1.67.
- [3] R. Manojkumar, S. Haranethra, M. Muralidharan, and A. Ramaprabhu, "I.C. Engine emission reduction using catalytic converter by replacing the noble catalyst and using copper oxide as the catalyst," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.804.

- [4] J. K. Lee, K. S. Oh, and J. W. Lee, "Methods for evaluating in-duct noise attenuation performance in a muffler design problem," *J. Sound Vib.*, vol. 464, p. 114982, 2020, doi: 10.1016/j.jsv.2019.114982.
- [5] E. F. Obert, "Internal combustion engines and air pollution," 1973.
- [6] T. Yasuda, C. Wu, N. Nakagawa, and K. Nagamura, "Predictions and experimental studies of the tail pipe noise of an automotive muffler using a one dimensional CFD model," *Appl. Acoust.*, vol. 71, no. 8, pp. 701–707, 2010, doi: 10.1016/j.apacoust.2010.03.001.
- [7] "Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002," 2002.
- [8] Kementerian Lingkungan Hidup, "Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup Tentang Baku Tingkat Kebisingan," Jakarta, 1996.
- [9] H. Shao, H. He, Y. Chen, X. Tan, and G. Chen, "A tunable metamaterial muffler with a membrane structure based on Helmholtz cavities," *Appl. Acoust.*, vol. 157, p. 107022, 2020, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.107022.
- [10] M. Aris, "Penggunaan Cu Murni di Exhaust Muffler dalam Upaya Pengurangan Emisi Gas Buang," Institut Sepuluh November, 2005.
- [11] E. Subandono, Sukoco, and M. Syamsiro, "Analisis Tingkat Kebisingan Knalpot Sepeda Motor Produk Industri Kecil," *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 2, no. 2, pp. 21–26, 2017.
- [12] S. Oh, S. Wang, and S. Cho, "Topology optimization of a suction muffler in a fluid machine to maximize energy efficiency and minimize broadband noise," *J. Sound Vib.*, vol. 366, pp. 27–43, 2016, doi: 10.1016/j.jsv.2015.10.022.
- [13] H. Purnomo, "Analisa Pengaruh Knalpot Knalpot Catalytic Converter dengan Katalis Tembaga (Cu) Berlapis Mangan (Mn) terhadap Gas Buang Honda Supra X 100 cc," *J. Ilm. ITS*, vol. 1, pp. 1–9, 2012.
- [14] S. D. Sulistiyono and Warju, "Unjuk Kemampuan Metalic Catalytic Converter Berbahan Dasar Kuningan Berlapis Nikel Terhadap Performa Mesin, Reduksi Emisi Gas Buang, Dan Tingkat Kebisingan Sepeda Motor Yamaha V-IXION Tahun 2011," *J. Tek. Mesin*, vol. 02, pp. 1–10, 2014.

---

## **SIMULASI NUMERIK II : DISTRIBUSI DIAMETER DROPLET PADA SEMPROTAN BIODIESEL KELAPA, JATROPA CURCAS DAN MINYAK GORENG BEKAS DALAM RUANG BAKAR MEXICAN HAT**

I Gede Teddy Prananda Surya

Teknik Mesin Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus UNUD, Kampus Bukit Jimbaran, Jimbaran  
Kabupaten Badung, Bali, Indonesia

teddyps@gmail.com

### **Abstrak**

Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan dengan properties hampir menyerupai diesel fuel dan dapat digunakan pada motor diesel direct injection tanpa perubahan sistem bahan bakarnya. Bahan baku biodiesel yang tersedia di Indonesia antara lain kelapa, jatropha curcas dan minyak goreng bekas dapat diubah menjadi biodiesel melalui proses esterifikasi. Penelitian numerik menggunakan FLUENT 6.2 ini dilakukan pada model ruang bakar mexican hat untuk mengetahui distribusi ukuran droplet serta visualisasi semprotan dari ketiga jenis biodiesel tersebut. Pemodelan turbulen yang digunakan adalah RNG k- $\epsilon$  karena dapat memprediksi struktur large scale yang diproduksi oleh semprotan dan squish flow sedangkan pemodelan break-up menggunakan WAVE karena semprotan ini berlangsung dalam angka Weber yang tinggi. Hasil numerik membuktikan bahwa biodiesel minyak goreng bekas memiliki droplet berdiameter lebih besar daripada biodiesel kelapa atau jatropha curcas karena memiliki tegangan permukaan tinggi. Diameter partikel akan berkurang saat penetrasi semakin jauh karena pengaruh gaya aerodinamik yang bekerja pada droplet dan droplet tadi pecah setelah bertumbukan dengan dinding piston.

**Kata kunci** : diameter droplet, SMD, biodiesel

### **Abstrak**

*Biodiesel is a renewable fuel with almost changeable properties for diesel fuel and can be used in direct injection diesel motors without changing the fuel system. The raw materials for biodiesel available in Indonesia include coconut, jatropha curcas and used cooking oil that can be converted into biodiesel through an esterification process. This numerical study using FLUENT 6.2 was carried out on the Mexican hat combustion chamber model to see the droplet size distribution as well as to visualize the spray of the three types of biodiesel. The turbulent modeling used is RNG k- $\epsilon$  because it can predict large-scale structures produced by spray and squish flow while break-up modeling uses WAVE because this spray takes place in high Weber numbers. The numerical results prove that used cooking oil biodiesel has larger diameter droplets than coconut or jatropha biodiesel because it has a high surface tension. The particle diameter will decrease as the penetration gets stronger due to the influence of the aerodynamic force acting on the droplet and the droplet breaks after colliding with the piston wall.*

**Keywords** : droplet diameter, SMD, biodiesel

## PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang persediaannya semakin terbatas. Keunggulan lain dari biodiesel adalah bahan bakar ini ramah lingkungan karena diproduksi dari hewan atau tumbuhan dan pengembangan bahan bakar nabati di beberapa negara dilakukan menggunakan tanaman lokal sebagai *feedstock* [[1],[2]]. Indonesia dengan sumber daya alam melimpah memiliki beberapa sumber bahan baku biodiesel antara lain kelapa, jatropha curcas bahkan minyak goreng bekas. Melalui proses esterifikasi atau transesterifikasi yang tepat maka biodiesel tersebut dapat memiliki properties menyerupai *diesel fuel*.

Nilai kalor dalam biodiesel lebih kecil daripada *diesel fuel* sedangkan viskositas biodiesel umumnya melebihi viskositas *diesel fuel* sehingga diperlukan penelitian lanjut mengenai karakteristik semprotannya agar proses pembakaran berlangsung sempurna. Proses atomisasi semprotan *full cone* pada *sac nozzle* dijelaskan Baumgarten [[3]]. Ketika meninggalkan nozzle, jet mulai *breakup* membentuk semprotan yang bersudut. *Primary breakup* adalah *breakup* pada awal semprotan dan menghasilkan ligamen serta droplet yang membentuk *dense spray* sekitar nozzle. Pada injeksi tekanan tinggi, kavitasi dan turbulen dalam lubang injeksi adalah penyebab awal mekanisme *breakup*. Perbedaan kecepatan relatif antara droplet dan gas akan menimbulkan gaya aerodinamik yang dapat memperlambat laju droplet dan menyebabkan droplet pecah menjadi lebih kecil, peristiwa ini dinamakan *secondary breakup*. Droplet sekitar *spray tip* memiliki gaya drag paling besar dan kecepatannya lebih lambat daripada droplet dalam area *wake* sedangkan droplet dengan energi kinetik rendah didorong ke arah radial dan membentuk semprotan bagian terluar hingga membentuk sudut semprotan. Fasa liquid banyak terdapat di sekitar sumbu semprotan daripada di bagian luar semprotan, kecepatan droplet tertinggi berada pada daerah sumbu dan berkurang ke arah radial akibat interaksi droplet dengan gas. *Dense spray* memiliki peluang sangat besar untuk *collision* yang dapat menyebabkan kecepatan dan ukuran droplet berubah menjadi lebih kecil atau bergabung menjadi besar yang biasa disebut *coalescence*.

Ketika biodiesel disemprotkan dalam ruang bakar maka akan terbentuk droplet dan berukuran besar akan mengalami *breakup*. Hal ini sangat penting untuk membentuk semprotan yang sempurna. Azzopardi [[4]] telah melakukan eksperimen menggunakan kamera kecepatan tinggi. Hasil eksperimen menunjukkan hal menarik bahwa

mekanisme *breakup* tidak sama pada setiap angka Weber. Angka Weber rendah menyebabkan droplet tipis pada bagian tengah lalu pecah dimulai dari bagian tersebut sedangkan pada Weber tinggi *breakup* dimulai dari tepi droplet. Hwang dkk [[5]] melakukan eksperimen untuk mempelajari karakteristik semprotan seperti sudut semprotan, penetrasi spray tip dan SMD. Menggunakan injektor berdiameter 0,2, 0,3, 0,4 mm. tekanan injeksi yang digunakan 35 Mpa dan tekanan udara yang digunakan 0,6, 0,1, 1,5 Mpa. Dalam penelitian ini diketahui bahwa kenaikan tekanan gas menyebabkan sudut semprotan bertambah dan mengurangi penetrasi. Hasil eksperimen ini dibandingkan dengan teori dan hasil eksperimen peneliti lainnya dan menunjukkan hasil yang serupa yaitu kenaikan tekanan *ambient* dan diameter nozzle meningkatkan SMD pada arah *downstream*. Penetrasi spray tip ini merupakan faktor penting untuk menentukan desain ruang bakar sebuah motor diesel.

Metoda Sauter Mean Diameter digunakan untuk perhitungan ukuran droplet rata-rata. Didefinisikan sebagai diameter droplet yang mempunyai volume sama dengan rasio luas permukaannya pada keseluruhan semprotan.

$$SMD = \frac{\sum nD^3}{\sum nD^2} \dots\dots\dots (1)$$

Ukuran butiran-butiran droplet yang dihasilkan oleh semprotan selalu berbeda untuk setiap jenis biodiesel. Ukuran droplet rata-rata tergantung dari properti biodiesel berupa tegangan permukaan, densitas dan viskositas cairan serta parameter injeksi berupa laju aliran massa, tekanan injeksi dan tekanan gas. Interaksi semprotan dengan dinding telah dipelajari oleh Alloca dkk [[6]] melalui eksperimen terhadap injeksi tekanan tinggi pada pelat datar berjarak 20 mm dari nozzle dan kondisi tekanan atmosfer serta temperatur *ambient* telah diteliti menggunakan stroboflash-CCD camera. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah ISO 4112 dengan viskositas 2,5 cst pada temperatur 40 °C dan tegangan permukaan 0.0284 N/m pada temperatur 80 °C.

Menurut Naber dan Farell [[7]], regim tumbukan didasarkan atas angka Weber, dimana untuk angka Weber > 130 tumbukan akan berada pada regim *splash* sedangkan angka Weber < 130 menunjukkan tumbukan akan berada pada regim *spread*. Regim *spread* adalah suatu kondisi tumbukan dimana droplet dalam semprotan akan meluncur dipermukaan dinding dan menjauh dari lokasi tumbukan hingga energi kinetiknya habis. Sedangkan regim *splash* adalah kondisi tumbukan dimana droplet akan pecah dan memantul setelah menumbuk

dinding sehingga terbentuk butiran-butiran dengan ukuran yang lebih kecil.

$$We_{imp} = \frac{\rho V_{imp}^2 d}{\sigma} \dots\dots\dots (2)$$

Beberapa eksperimen menjelaskan bahwa proses penyemprotan bahan bakar sangat penting dalam motor diesel, proses ini mencakup atomisasi, collision, coalescence dan breakup, momentum, energi dan interaksi droplet dengan dinding. Karakteristik semprotan bahan bakar dipengaruhi oleh beragam parameter dan memiliki proses cukup rumit. Untuk mengetahui semprotan bahan bakar lebih rinci maka diperlukan bantuan CFD. Validasi eksperimen dan numerik dilakukan oleh Reitz dan Rutland [[8]] dalam penelitian menggunakan motor diesel silinder tunggal Caterpillar 3406. Tipe piston yang digunakan adalah Mexican Hat berdiameter 137,19 mm dan pemodelan KIVA menggunakan submodel untuk mempelajari karakteristik semprotan hingga gas sisa pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemodelan turbulensi yang tepat adalah RNG k-ε karena dapat memprediksi struktur large-scale yang terbentuk oleh gerakan squish dan spray.

Pemodelan numerik untuk mempelajari panjang break-up dan ukuran droplet pada dua tipe *pressure-swirl atomizer* yang bekerja dalam tekanan ambient dilakukan oleh Senecal dkk [[9]] dengan bantuan software KIVA-3V. Dalam penelitian ini persamaan Rosin-Ramler digunakan untuk perhitungan distribusi diameter droplet, persamaan Lagrangian untuk perhitungan jejak droplet dan setiap droplet diasumsikan memiliki properti kinematik dan termodinamika yang sama. Droplet collision dan coalescence diselesaikan menggunakan persamaan O'Rourke dan *secondary breakup* menggunakan Taylor Analogy Breakup (TAB) sedangkan persamaan fasa gas menggunakan algoritma Lagrangian-Eulerian (ALE). Fluida kerja yang digunakan adalah Stoddard Solvent sebanyak 14 dan 44 mg. Hasil numerik dari kedua jenis injektor ini serupa dengan eksperimen sebelumnya dan menunjukkan *linear stability analysis* dalam pemodelan *pressure swirl atomizer* dipengaruhi oleh udara dalam chamber, tegangan permukaan dan viskositas bahan bakar serta persamaan yang digunakan dalam KIVA-3V tersebut dapat memprediksi penetrasi semprotan, SMD dan visualisasi dengan akurat.

Dalam atomisasi bahan bakar menggunakan *pressure-swirl atomizer*, interaksi antara injektor dengan semprotan bahan bakar merupakan hal yang penting. Schmidt dkk [[10]] memberikan penjelasan akurat mengenai hal tersebut melalui pemodelan yang

dikenal dengan nama Linearized Instability Atomization (LISA) yang bertujuan sebagai prediksi bentuk semprotan dekat nozzle tip. LISA memiliki tiga tahap, yaitu pembentukan film, lapisan tipis dan atomisasi. Pemodelan ini diterapkan untuk mempelajari penetrasi, sudut, flux massa dan visualisasi semprotan *pressure-swirl injector* berdiameter 560 um dan 458 um yang bekerja dalam ambient pressure dengan pasokan bahan bakar 56.8; 20 dan 69 mm<sup>3</sup>. Dengan menggunakan TAB sebagai pemodelan *secondary breakup*, RNG k-ε sebagai pemodelan turbulen dan collision serta coalescence diselesaikan menggunakan metoda O'Rourke. Proses semprotan ini diselesaikan secara transient dan membuktikan bahwa prediksi numerik sesuai dengan hasil eksperimen, droplet pada awal injeksi berukuran besar sedangkan pada akhir injeksi terjadi perbedaan antara numerik dan eksperimen yang disebabkan karena *injector closing* tidak dapat diselesaikan dalam kasus transient.

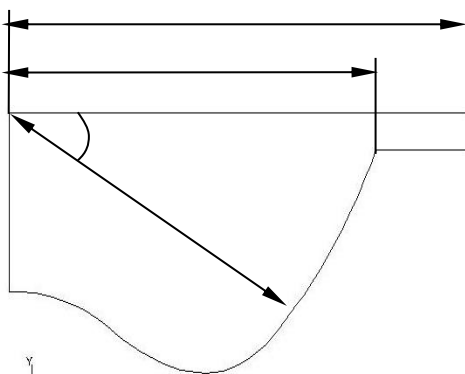
**METODOLOGI**

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah biodiesel Kelapa, Jatropha Curcas dan Minyak Goreng Bekas, Tabel 1. Bahan bakar ini diinjeksikan menggunakan nozzle berdiameter 0,22 mm dengan laju massa bahan bakar 5,9 gr/s. Pada simulasi menggunakan FLUENT 6.2 ini tekanan injeksi yang digunakan adalah 200 bar sedangkan tekanan ruang bakar 6 bar.

**Tabel 1 Hasil pengujian bahan bakar di PT. Pertamina Surabaya 2006**

Propertis	Sat	ASTM Test Method	Diesel Fuel	Hasil Pengujian Biodiesel		
				Kelapa	J.C.	MGB
Density at 15 <sup>o</sup> C	kg/m <sup>3</sup>	D 1299	863	880.4	906.6	915.2
Kinematic Viscosity at 40 <sup>o</sup> C	mm <sup>2</sup> /s	D 445	3.694	7.78	17.85	37.53
Tegangan Permukaan	N/m <sup>2</sup>	---	-	0.0621	0.0699	0.073

Tipe ruang bakar yang digunakan adalah submodel Mexican Hat dengan nozzle-dinding berjarak 58,4 mm. Ruang bakar ini umumnya digunakan pada motor diesel putaran rendah dengan daya yang besar.



Gambar 1 Pemodelan ruang bakar tipe Mexican Hat

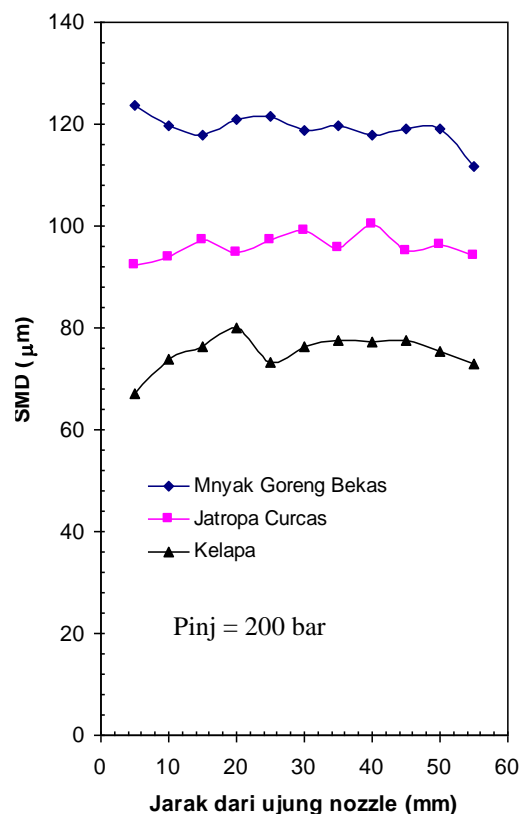
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sauter Mean Diameter merupakan metoda yang digunakan untuk menentukan diameter droplet rata-rata. Semakin kecil tegangan permukaan maka biodiesel tersebut akan memiliki droplet berdiameter kecil karena tegangan permukaan berguna untuk mempertahankan bentuk droplet mengatasi gaya drag saat bergesekan dengan udara dan diameter tersebut semakin berkurang sepanjang arah penetrasi akibat bergesekan dengan udara, gambar 3. Pada jarak penetrasi 0 hingga 40 mm terjadi fluktuasi perubahan diameter droplet yang disebabkan oleh *collision* dan *coalescence* antar droplet tersebut. Pada penelitian ini biodiesel Kelapa memiliki SMD terkecil 67,1 hingga 80,1  $\mu\text{m}$ . Hal ini terjadi karena biodiesel tersebut memiliki tegangan permukaan 0.0621  $\text{N/m}^2$ , lebih kecil daripada Jatropa curcas dan Minyak Goreng Bekas.

Perilaku semprotan menumbuk dinding pada umumnya dipengaruhi oleh ukuran droplet, kecepatan tumbukan dan kondisi permukaan dinding. Parameter tak berdimensi yang menentukan jenis tumbukan adalah Weber Number. Gambar 4, 5, 6 menunjukkan bahwa biodiesel Kelapa, Jatropa curcas dan Minyak Goreng Bekas dengan jarak nozzle tip-dinding 58,4 mm memiliki regim tumbukan yang beragam. Dengan menggunakan persamaan (2) diketahui bahwa Kelapa memiliki angka Weber 125,6, Jatropa Curcas 107,2 dan Minyak Goreng Bekas 148,5. Hal ini menunjukkan bahwa pada semprotan dengan tekanan injeksi 200 bar dan tekanan ruang bakar 6 bar hanya Minyak Goreng Bekas yang memiliki regim splash karena angka Weber > 130.

Berdasarkan Naber dan Farel [[7]], biodiesel Minyak Goreng Bekas dapat membentuk regim *splash* sementara biodiesel lainnya hanya memiliki

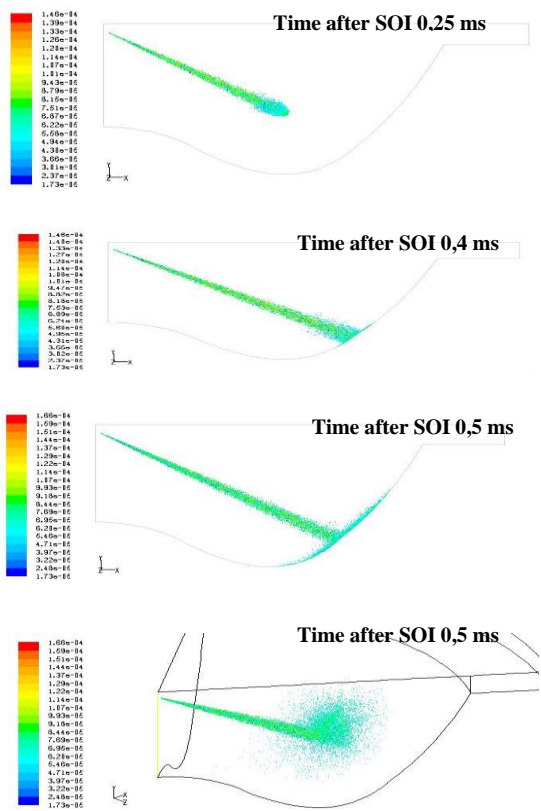
regim *spread*. Dengan demikian semakin tinggi tekanan injeksi, regim tumbukan semakin cenderung ke regim *splash*. Fenomena regim tumbukan dari ketiga biodiesel terjadi karena biodiesel Minyak Goreng Bekas memiliki densitas besar 915,2  $\text{kg/m}^3$  dan tegangan permukaan yang tinggi 0,072  $\text{N/m}^2$  dimana tegangan permukaan tersebut mempertahankan bentuk droplet agar tidak *breakup* saat bergesekan dengan udara.



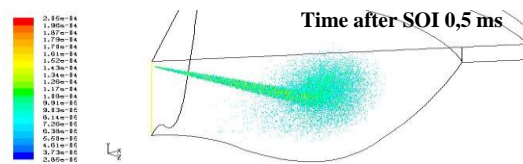
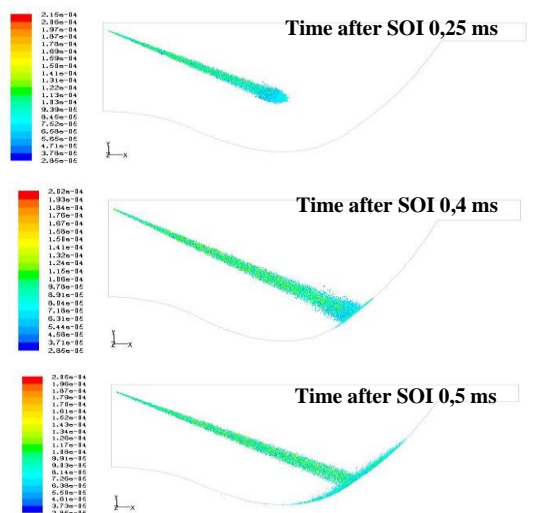
Gambar 2 Distribusi diameter droplet pada semprotan biodiesel

Gambar 3, 4 dan 5 membuktikan bahwa biodiesel dengan viskositas besar menyebabkan jarak penetrasi lebih jauh karena droplet memiliki tegangan permukaan lebih besar. Biodiesel Kelapa memiliki jarak penetrasi terpendek karena dropletnya mudah *breakup* dan sudut semprotan menjadi lebih besar karena droplet di tepi semprotan memiliki energi lebih kecil dan mengalami *breakup* lebih cepat. Dengan penjelasan mengenai regim tumbukan pada ketiga jenis biodiesel ini, dapat dipahami bahwa regim tumbukan *splash* yang diciptakan biodiesel Minyak Goreng Bekas sangat baik untuk tipe ruang bakar Mexican Hat. Regim splash ini sangat menguntungkan bagi proses atomisasi lanjutan

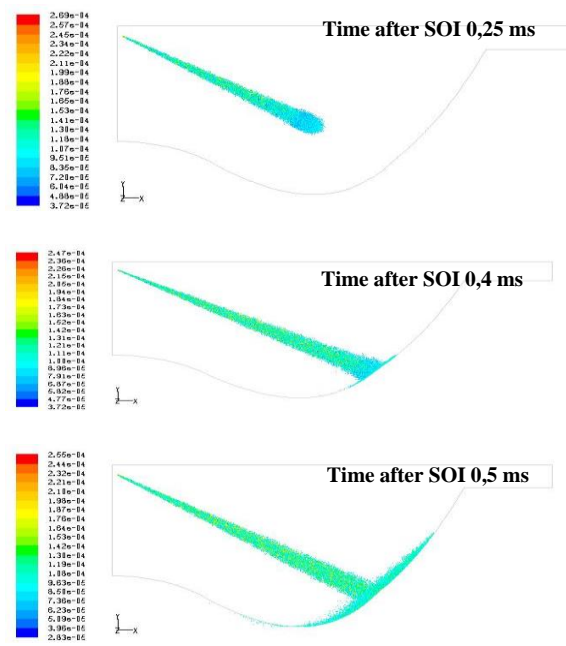
setelah menumbuk dinding, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih baik.



Gambar 3 Visualisasi droplet pada biodiesel Kelapa



Gambar 4 Visualisasi droplet pada biodiesel Jatropa Curcas



Gambar 5 Visualisasi droplet pada biodiesel Minyak Goreng Bekas

KESIMPULAN

Minyak Goreng Bekas merupakan sumber bahan baku biodiesel yang baik untuk motor diesel putaran rendah karena memiliki viskositas dan tegangan permukaan yang dapat menghasilkan regim splash saat menumbuk dinding piston. Proses semprotan biodiesel pada arah *downstream* akan mengami *collision* membentuk droplet berdiameter lebih kecil atau *coalescence* sehingga droplet berdiameter besar. Proses ini tidak sama pada setiap biodiesel sehingga setiap semprotan biodiesel memiliki karakteristik penetrasi, sudut atau diameter



droplet beragam. Penelitian lebih lanjut mengenai biodiesel Kelapa dan Jatropha Curcas dapat dilakukan pada motor diesel putaran tinggi yang menggunakan regim spread untuk mengawali pembakaran.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saydut, A., Duz, M. Z., Kaya, C., Kafadar, A. B. dan Hamamci, C., "Transesterified Sesame (Sesamum Indicum L.) Seed Oil as a Biodiesel Fuel", Bioresource Technology Vol. 99, hal. 6656–6660, 2008.
- [2] Sun, H., Ding, Y., Duan, J., Zhang, Q., Wang, Z., Lou, H. dan Zheng, X., "Transesterification of Sunflower Oil to Biodiesel on ZrO<sub>2</sub> Supported La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst", Bioresource Technology Vol. 101, hal 953–958, 2010.
- [3] Baumgarten, C., "Mixture Formation in Internal Combustion Engines", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2006.
- [4] Azzopardi, B. J., "Atomization Fundamentals," Department of Chemical Engineering, University of Nottingham, 1991.
- [5] Hwang, J.S., HA, J.S. dan No, S. Y., "Spray Characteristics of DME in Conditions of Common Rail Injection System", International Journal of Automotive Technology, Vol. 4, No.3 hal. 119, 2003.
- [6] Alloca, L., Amato, U., Bertoli, C. dan Corcione, F. E., "Comparison of Models and Experiments for Diesel Fuel Sprays", International Symposium COMODIA90:255-261, 1990.
- [7] Naber, J. D. dan Reitz, R. D., "Modeling Engine Spray/Wall Impingement", SAE 88107, 1988.
- [8] Reitz, R. D. dan Rutland, C. J., "Development and Testing of Diesel Engine CFD Models", Prq Energy Cumhusr. Sri. Vol. 21, hal. 173-196, 1995.
- [9] Senecal, P.K., Schmidt, D.P., Nouar, I., Rutland, C.J., Reitz, R.D. dan Corradin, M.L., "Modeling high-speed viscous liquid sheet atomization", International Journal of Multiphase Flow, Vol. 25, hal.1073-1097, 1999.
- [10] Schmidt, D.P., Nouar, I., Senecal, P.K., Rutland, C.J., Martin, J. K. dan Reitz, R.D., "Pressure-Swirl Atomization in the Near Field", SAE 1999-01-0496, 1999.

**MESIN PENGHALUS KULIT PISANG MENJADI BUBUK MINUMAN KOPI**Yudi Setiawan<sup>1</sup> Saparin<sup>2</sup> ekasari wijianti<sup>3</sup>

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

yudiubb@yahoo.co.id

**Abstrak**

Penelitian ini tentang pemanfaatan kulit pisang kepok menjadi bubuk minuman kopi. Kulit pisang ini umumnya dihaluskan dengan menggunakan blender, namun kelemahannya adalah kapasitas produksinya lebih rendah, sehingga untuk memproduksi dalam jumlah banyak harus dilakukan proses berulang. Berdasarkan hal tersebut, maka dibuatlah sebuah mesin penghalus kulit pisang hingga menjadi bubuk dengan tingkat kehalusan bubuk kopi pada umumnya. Kulit pisang yang digunakan yaitu kulit pisang kepok matang. Proses penghalusan kulit pisang menggunakan mesin dengan menggunakan motor listrik sebesar ½ HP, dengan putaran pada poros penghalus yaitu 1050 rpm. Hasil pengujian dengan bahan uji dengan massa 500 gram yaitu dalam waktu 1 menit menghasilkan 215 gram, waktu 2 menit menghasilkan 225,7 gram, waktu 3 menit menghasilkan 250,7 gram.

**Kata Kunci** : Mesin , Kulit pisang , Kopi**Abstract**

*This research is about the utilization of kepok banana peel into coffee drink powder. Banana peels are generally mashed using a blender, but the disadvantage is that the production capacity is lower, so to produce large quantities, a repeated process must be carried out. Based on this, a banana peel grinding machine was made to become a powder with the level of fineness of coffee grounds in general. The banana peel used is a ripe kepok banana peel. The process of refining banana peels uses a machine using an electric motor of ½ HP, with a rotation of 1050 rpm on the smoothing shaft. The test results with the test material with a mass of 500 grams, which is within 1 minute to produce 215 grams, 2 minutes to produce 225.7 grams, 3 minutes to produce 250.7 grams*

**Keywords** : Machine , Banana Peel , Coffee**PENDAHULUAN**

Industri kuliner merupakan salah satu industri yang masih menempatkan diri sebagai industri strategis yang sangat menguntungkan. Kuliner sangat diminati oleh kebanyakan masyarakat karena memang merupakan kebutuhan pokok. Kuliner telah menjadi kontributor terbesar atau utama terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) ekonomi kreatif Indonesia, yaitu sebesar 41 persen atau sebesar Rp 410 triliun (Rusiawan, 2019). Kuliner terkait erat dengan bidang pariwisata, karena salah satu pendukung pariwisata adalah keanekaragaman kuliner. Pada daerah-daerah wisata, hampir selalu ditemukan bermacam kuliner, bahkan kuliner itu sendiri adalah sebuah wisata bagi masyarakat. Menurut Bekraf (2019), data statistik ekonomi propinsi Kepulauan Bangka Belitung menyatakan bahwa dari 16 subsektor ekonomi kreatif yang ada, kuliner memegang rating paling tinggi, yaitu sebesar 68,45%, diikuti bidang fashion 18,59%. Berbagai cara mereka lakukan, baik dengan cara memodifikasi

teknik pembuatan minuman kopi atau dengan mencampur beberapa bahan pendukung sehingga kopi disajikan dengan rasa yang unik. Selama ini, untuk menyajikan minuman kopi, bahan baku yang disajikan adalah bahan yang berasal dari bubuk buah kopi. Namun belakangan ini, ada hal menarik yang ditemukan oleh Imamah (2019). Imamah menyatakan bahwa untuk menyajikan minuman kopi yang enak dapat dibuat dari bahan lain, tidak selalu dari buah kopi, yaitu dari bahan kulit pisang. Supriyanti dkk, (2015) menyatakan bahwa kulit pisang kepok memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi yaitu sebesar 95,14%. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa kulit pisang kepok yang mengandung antioksidan tinggi, dapat diolah menjadi bubuk untuk disajikan menjadi minuman kopi. Alasan besar mengapa kulit pisang layak menggantikan minuman kopi adalah karena cita rasanya yang hampir menyamai kopi, selain itu pemilik kedai kopi tidak memerlukan modal yang besar untuk menyajikan minuman kopi, mereka dapat memanfaatkan kulit pisang tanpa biaya yang besar. Selama ini, kebanyakan masyarakat memanfaatkan kulit pisang sebagai pakan ternak atau

membiarkannya menumpuk menjadi sampah sehingga mencemari lingkungan (Kholisoh, 2019). Potensi produksi buah pisang di Indonesia tahun 2017 yaitu 7.162.678 Ton. Khususnya di Bangka Belitung (Babel) produksinya sebesar 4.734 ton, dengan pertumbuhan dari tahun 2016 sebesar 34,45% dan luas panen pisang 73 Ha, mengalami peningkatan dibanding tahun 2016 sebesar 9,99%. Produktifitas pisang di Bangka Belitung yaitu 65,05ton/ha (Kementan RI, 2018). Dengan potensi tersebut, menjadi peluang besar untuk memanfaatkan kulit pisang menjadi bubuk minuman kopi. Pengolahan kulit pisang menjadi bubuk kopi memiliki beberapa tahapan proses. Salah satu prosesnya yaitu proses penghalusan kulit pisang menjadi bubuk.

## METODOLOGI

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan merancang dan membangun mesin penghalus kulit pisang. Dimensi mesin secara keseluruhan dengan panjang 61 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 88 cm. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan lama penghalusan 1,2 dan 3 menit. Adapun prosedur pengujiannya sebagai berikut:

Siapkan kulit pisang kepok yang sudah kering dan disangrai. Masing-masing sampel ditimbang dengan massa 500 gram per pengujian. Siapkan mesin penghalus kulit pisang kapok matang. Hubungkan mesin ke *stopcontak*.

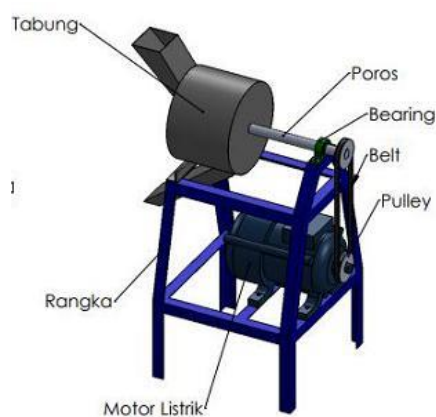
Masukkan kulit pisang kedalam tabung penghalusan berbarengan dengan menghidupkan *stopwatch* selama 1 menit. Matikan *stopwatch* saat waktu pengujian sudah mencapai 1 menit. Timbanglah bubuk kulit pisang yang keluar dari lubang pengeluaran tabung. Ulangi langkah langkah diatas, lakukanlah lagi untuk setiap variasi 2 menit dan 3 menit sebanyak 3 kali percobaan. Massa sampel tertinggal diperoleh dari selisih sampel percobaan dengan bubuk kopi yang keluar dari lubang pengeluaran tabung.



**Gambar 1 Kulit pisang kepok dicacah**



**Gambar 2 Kulit pisang yang disangrai**



**Gambar 3 Desain mesin**



**Gambar 4 Hasil pengujian dengan mesin**

Bubuk kulit pisang yang dikatakan halus (H) jika lolos 86 mash. Bubuk kulit pisang yang lebih besar dari 86 mash dikatakan kurang halus (KH).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Hasil Pengujian**

Hasil pengujian yang dilakukan dengan cara melakukan pengujian dengan massa kulit pisang 500 Gram dengan 3 variasi 1 menit , 2 menit dan 3 menit proses penghalusan. Setiap waktu pengujian dilakukan 3 kali pengujian dengan massa 500 gram kulit pisang yang telah ditentukan. Tujuan dari pengujian yang dilakukan sebanyak 9 kali ingin mendapatkan rata-rata *output* terbaik dari 3 variasi waktu tersebut, berikut tabel hasil pengujian penghalusan kulit pisang dengan 3 variasi waktu dengan massa 500 gram kulit pisang sebagai berikut:

**Penghalusan kulit pisang Dengan Waktu 1 Menit**

**Tabel 1 Penghalusan kulit pisang Dengan Waktu 1 Menit**

Waktu	Massa Awal	Sampel	H	KH	T
1 Menit	500 Gram	A1	233	250	17
1 Menit	500 Gram	A2	218	268	14
1 Menit	500 Gram	A3	194	282	24
<b>Rata-rata</b>			215	266,7	18,3

Keterangan: H (Halus), KH (Kurang Halus), dan T (Terbuang)

Dari segi kapasitas *output* pada mesin penghalus kulit pisang akan dihitung rata-rata keberhasilan mesin dengan sampel kulit pisang halus sebagai berikut :

Kapasitas rata-rata dalam waktu 1 menit

$$= \frac{A1+A2+A3}{\text{Jumlah Sampel}} \dots\dots\dots(1)$$

$$= \frac{231+219+195}{3}$$

$$= 215 \frac{\text{gram}}{\text{menit}}$$

Efisiensi produksi mesin

$$= \frac{215}{500} \times 100\% = 43\% \dots\dots\dots(2)$$

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa rata-rata massa kulit pisang halus yang dapat dihaluskan oleh mesin penghalus kulit pisang dengan massa 500 gram dalam waktu 1 menit dengan jumlah 3 sampel pengujian adalah 215 gram/menit kulit pisang yang halus, dan rata-rata kulit pisang yang kurang halus 266,7 gram/menit sedangkan rata-rata kulit pisang yang terbuang adalah 18,3 gram/menit. Untuk efisiensi pengujian dengan waktu 1 menit hanya mencapai 43%.

**Penghalusan kulit pisang Dengan Waktu 2 Menit**

**Tabel 2 Penghalusan kulit pisang 500 Gram Dengan Waktu 2 Menit**

Waktu	Massa Awal	Sampel	H	KH	T
2 Menit	500 Gram	A1	234	246	20
2 Menit	500 Gram	A2	206	282	12
2 Menit	500 Gram	A3	237	247	16
<b>Rata-rata</b>			225,7	258,3	16

Keterangan: H (Halus), KH (Kurang Halus), dan T (Terbuang)

Dari segi kapasitas *output* pada mesin penghalus kulit pisang akan dihitung rata-rata keberhasilan mesin dengan sampel kulit pisang halus sebagai berikut :

Kapasitas rata-rata dalam waktu 2 menit

$$= \frac{A1+A2+A3}{\text{Jumlah Sampel}} \dots\dots\dots(3)$$

$$= \frac{234+207+236}{3}$$

$$= 225,7 \frac{\text{gram}}{2 \text{ menit}}$$

$$= 112,85 \frac{\text{gram}}{\text{menit}}$$

Efisiensi produksi mesin

$$= \frac{225,7}{500} \times 100\% = 45,14\% \dots\dots\dots(4)$$

Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa rata-rata massa kulit pisang halus yang dapat dihaluskan oleh mesin penghalus kulit pisang dengan massa 500 gram dalam waktu 2 menit dengan jumlah 3 sampel pengujian adalah 112,85 gram/menit kulit pisang yang halus, dan rata-rata kulit pisang yang kurang halus 129,15 gram/menit sedangkan rata-rata kulit pisang yang terbuang adalah 8 gram/menit. Untuk efisiensi pengujian dengan waktu 2 menit hanya mencapai 45,14%.

**Penghalusan kulit pisang Dengan Waktu 3 Menit**

**Tabel 3 Penghalusan kulit pisang Dengan Waktu 3 Menit**

Waktu	Massa Awal	Sampel	H	KH	T
3 Menit	500 Gram	A1	243	239	18
3 Menit	500 Gram	A2	239	245	16
3 Menit	500 Gram	A3	270	213	17
<b>Rata-rata</b>			250,7	232,3	17

Keterangan: H (Halus), KH (Kurang Halus), dan T (Terbuang)

Dari segi kapasitas *output* pada mesin penghalus kulit pisang akan dihitung rata-rata keberhasilan mesin dengan sampel kulit pisang halus sebagai berikut :

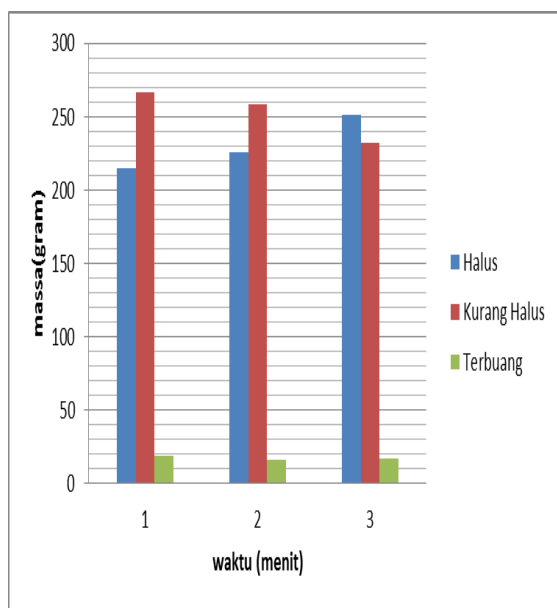
Kapasitas rata-rata dalam waktu 3 menit

$$= \frac{A1+A2+A3}{\text{Jumlah Sampel}} \dots\dots\dots(5)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{244+238+270}{3} \\
 &= 250,7 \frac{\text{gram}}{\text{menit}} \\
 &= 83,57 \frac{\text{gram}}{\text{menit}} \\
 \text{Efisiensi produksi mesin} \\
 &= \frac{250,7}{500} \times 100\% = 50,14\% \dots\dots\dots(6)
 \end{aligned}$$

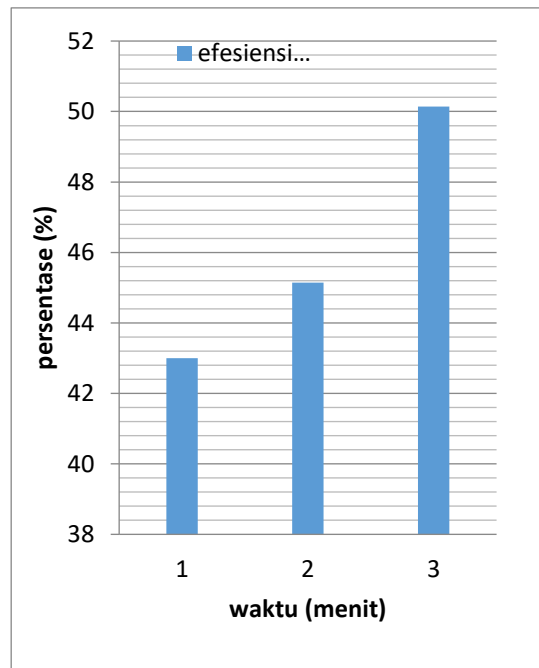
Dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa rata-rata massa kulit pisang halus yang dapat dihaluskan oleh mesin penghalus kulit pisang dengan massa 500 gram dalam waktu 3 menit dengan jumlah 3 sampel pengujian adalah 83,57 gram/menit kulit pisang yang halus, dan rata-rata kulit pisang yang kurang halus 77,43 gram/menit sedangkan rata-rata kulit pisang yang terbuang adalah 5,67 gram/menit. Untuk efisiensi pengujian dengan waktu 3 menit hanya mencapai 50,14%.

Hasil pengujian dengan 3 variasi waktu 1,2 dan 3 menit dengan massa 500 gram kulit pisang dengan standar ukuran butiran pengayakan 18 mesh dapat dilihat dalam bentuk grafik pada gambar 4.3



Gambar 5 Produksi Mesin Penghalus kulit pisang

2. Efisiensi Produksi Mesin Penghalus kulit pisang  
 Berdasarkan pengujian mesin penghalus kulit pisang dengan massa 500 gram dilakukan 3 variasi waktu yaitu 1 menit, 2 menit, dan 3 menit. Untuk pengujian 1 menit. untuk efisiensi produksi mesin semakin lama waktu proses penghalus maka akan semakin tinggi tingkat efisiensi produksi pada mesin modifikasi penghalus kulit pisang dengan hasil output melewati proses pengayakan dengan standar 18 mesh.



Gambar 6 Efisiensi Produksi Mesin

**KESIMPULAN**

Rata-rata massa kulit pisang halus yang dapat dihaluskan oleh mesin penghalus kulit pisang dengan massa 500 gram dalam waktu 1 menit adalah 215 gram, waktu 2 menit menghasilkan 225,7 gram 250, waktu 3 menit menghasilkan 250,7 gram.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak Universitas Bangka Belitung yang telah mendanai penelitian ini lewat skema Penelitian Dosen Tingkat Jurusan tahun 2020.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Badan Ekonomi Kreatif Indonesia.2019. Tonggak Baru Ekonomi Kreatif Indonesia. Badan Ekonomi Kreatif Indonesia. 2019. Infografis Sebaran Pelaku Ekonomi Kreatif.  
 [2] Imamah, Fitria Nurul. 2019. Sulap Kulit Pisang Jadi Kopi Mahasiswa Pekerjaan Tetangga. Radar madura. <https://radarmadura.jawapos.com/read/2019/09/25/157511/sulap-kulit-pisang-jadi-kopi-mahasiswi-pekerjaan-tetangga-diakses-3-maret-2020>  
 [3] Kholisoh, Siti Nur. 2019. Kopi Kulit Pisang Kaya Antioksi dan: solusi bagi penikmat kopi

- yang phobia cafein.  
(<https://warstek.com/2019/08/05/kulitpisang/dia>  
kses 3 maret 2020.
- [4] Rusiawan, Wawan. 2019. Industri Kuliner Jadi Penopang Terbesar Perekonomian Kreatif Indonesia, disampaikan dalam seminar keunggulan kuliner indonesia 2019 yang diselenggarakan oleh FTP UGM dan Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UGM bekerjasama dengan Bekraf di FTP UGM 4-5 September 2019.
- [5] Supriyanti, F.M.T., Suanda, H., Dan Rosdiana, R. 2015. Pemanfaatan Ekstrak Kulit Pisang Kepok (*Musa bluggoe*) Sebagai Sumber Antioksidan pada Produksi Tahu. Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VII. Universitas Sebelas Maret Surakarta, pp 393-400

**PENGARUH KECEPATAN PAHAT LAS (*TOOL*) TERHADAP KUALITAS HASIL  
PENGELASAN GESEK PUNTIR (*FRICTION STIR WELDING*) PADA PROSES  
PENYAMBUNGAN ALUMINIUM TIDAK SEJENIS (*DISSIMILAR*) AL1100 DAN AL5052**

Deo Renaldo Scorpion<sup>1</sup>, Irza Sukmana<sup>1,\*</sup>, A. Yudi Eka Risano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro, No.1,  
Kota Bandar Lampung

\* Email: irza.sukmana@gmail.com

**Abstrak**

Pengelasan merupakan proses penggabungan dua atau lebih logam dasar yang disatukan di permukaan kontakannya dengan atau tanpa logam pengisi (*filler metal*). Pengelasan secara umum terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu pengelasan dengan pencairan logam dasar (*liquid-state welding*) dan tanpa pencairan (*solid-state welding - SSW*). Pengelasan gesek punter (*friction stir welding - FSW*) termasuk jenis pengelasan SSW. Teknik las FSW dapat dilakukan pada dua buah benda sejenis maupun berbeda jenis (*dissimilar metal*). Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon, dan merupakan salah satu material yang sering disambungkan dengan leknik las FSW. Pengelasan Gesek Puntir (FSW) adalah proses pengelasan gesek yang memuntar pahat las (*tool*) sehingga menghasilkan energi panas akibat gesekan permukaannya dengan benda kerja. Dalam penelitian ini dilakukan pengelasan FSW dengan parameter proses laju translasi *tool* 16 mm/menit dan 22 mm/menit, dimana putaran *tool* dibuat tetap pada 2000 rpm. Jenis disain indenter yang digunakan adalah *changing spiral form*. Pengujian kualitas hasil pengelasan dilakukan dengan melakukan pengujian tarik, pengujian kekerasan dan uji komposisi kimia. Berdasarkan hasil penelitian ini, ditemukan bahwa laju translasi *tool*, perlakuan panas dan kecepatan pengelasan akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik hasil pengelasan Aluminium tidak sejenis, seri A1100 dan A15052. Laju translasi *tool* 22 mm/menit akan meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik logam las bila dibandingkan dengan laju translasi *tool* 16 mm/menit. Selain itu, perbedaan parameter translasi *tool* tidak secara signifikan mempengaruhi perubahan komposisi unsur kimiaw bahan hasil pengelasan FSW.

**Kata kunci:** Aluminium, seri 1xxx, seri 5xxx, *dissimilar metal*, *friction stir welding*

**Abstract**

*Welding is the process of joining two or more base metals that are joined at the contact surface with or without filler metal. General welding is divided into two main categories, namely welding with liquid-state welding and solid-state welding (SSW). Punter friction welding (FSW) is a SSW type. FSW welding technique can be performed on two objects of the same type or different types (dissimilar metal). Aluminum is the most abundant metal in the earth's crust, and third only to oxygen and silicon, and is one of the materials that are often joined by FSW welding techniques. Twist Friction Welding (FSW) is a friction welding process that twists the welding tool (tool) so as to produce heat energy due to the friction of its surface with the workpiece. In this study, FSW welding was carried out with the process parameters of the tool translation rate of 16 mm / minute and 22 mm / minute, where the tool rotation was fixed at 2000 rpm. The type of indenter design used is to change the spiral shape. Testing the quality of the welding results is carried out by tensile testing, hardness testing and chemical composition testing. Based on the research results, it was found that the tool translation rate, heat treatment and welding speed would affect the mechanical properties of the welding results of the aluminum, A1100 and A15052 series. The tool translation rate of 22 mm / minute will increase the value of the hardness and strength of the weld metal when compared to the tool translation rate of 16 mm / minute. In addition, differences in tool translation parameters do not affect changes in the chemical composition of the FSW welding material.*

**Keywords:** Aluminum, 1xxx series, 5xxx series, *different metals*, *friction stirring welding*

## PENDAHULUAN

Las adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair secara permanen dengan menggunakan tenaga panas, sedangkan pengelasan merupakan teknik penyambungan dua atau lebih logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu (Harsono, dkk, 1991).

Dalam perkembangannya teknik pengelasan banyak diaplikasikan pada berbagai macam material logam, salah satunya adalah aluminium. Aluminium ialah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon, aluminium disimbolkan dengan Al, dengan nomor atom 13 dalam tabel periodik unsur. Logam aluminium memiliki beberapa sifat-sifat fisik diantaranya yaitu berat jenis sekitar 2,65-2,8 kg/dm<sup>3</sup>, titik cair 658°C, kekuatan tarik sebesar 90 MPa pada aluminium murni atau sekitar 200-600 MPa. Aluminium telah menjadi logam yang luas penggunaannya setelah baja. Perkembangan ini berdasarkan pada sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, kekuatan dan *ductility* yang cukup baik (aluminium paduan), gampang diproduksi dan cukup ekonomis (aluminium daur ulang). Aluminium memiliki aplikasi luas dalam domain yang berbeda, seperti transportasi, dekorasi rumah dan *acesories*, bangunan dan konstruksi (Aalco, 2015).

Dalam bidang konstruksi dan industri penggunaan logam aluminium dari tahun ke tahun semakin meningkat, metode pengelasan aluminium mencakup berbagai inovasi teknik yang meliputi konstruksi bangunan hingga konstruksi pesawat terbang, namun karena aluminium memiliki karakter fisik yang berbeda dengan logam lainnya, proses pengelasan yang dilakukan sangat sulit dan hasil pengelasan yang didapatkan kurang baik. Salah satu metode pengelasan yang cocok untuk aluminium adalah pengelasan *Friction Stir Welding - FSW* (Deden, 2012).

Pengelasan FSW awalnya dikembangkan oleh Wayne Thomas dari *The Welding Institute* (TWI) pada tahun 1991, untuk tujuan penelitian aplikasi material aluminium paduan. FSW adalah sebuah metode pengelasan yang termasuk pengelasan gesek, yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam kerja dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (*pin*) dengan benda yang diam (benda kerja). *Pin* berputar dengan kecepatan konstan disentuhkan ke material kerja yang telah dicekam. Gesekan antara kedua benda tersebut menimbulkan

panas sampai  $\pm 80$  % dari titik cair material kerja dan selanjutnya *pin* ditekankan dan ditarik searah daerah yang akan dilas. Putaran dari *pin* bisa searah jarum jam atau sebaliknya berlawanan dengan arah jarum jam (Wijayanto, 2010).

Metode FSW menghasilkan daerah *Thermomechanic Affected Zone (TMAZ)* yang lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan metode *Shield Metal Arc Welding (SMAW)*. Metode pengelasan ini dapat menekan potensi kegagalan pengelasan akibat bahan penambah. Dalam metode pengelasan FSW ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi terhadap kualitas pengelasan diantaranya adalah kecepatan putaran tool (rpm), kecepatan translasi tool (*feeding*), kemiringan tool saat pengelasan, *down force*, *plunge depth tool* serta desain dan material tool (Deden, 2012).

Berdasarkan beberapa faktor diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang pengelasan dengan menggunakan metode *friction stir welding (FSW)* untuk menyambung (*base metal*) dua buah material non-sejenis (*dissimilar metal*) yang menggunakan bahan aluminium seri 1100 dan 5052 dengan variasi laju translasi tool. Dengan dilakukan penelitian ini diharapkan akan diketahui pengaruh laju translasi tool yang digunakan terhadap kualitas sambungan las pada aluminium 1100 dan 5052.

## METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini pengelasan aluminium seri 1100 dan 5052 dilakukan dengan metode las gesek puntir (*friction stir welding*) menggunakan parameter variasi laju translasi tool dan pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan *rockwell*, pengujian tarik dan pengujian komposisi kimia.

Pada penelitian ini pengelasan dilakukan menggunakan mesin *milling type VHF3* dengan kecepatan putaran tool 2000 rpm dan kecepatan laju pengelasan 16 dan 20mm/menit. spesimen yang digunakan adalah dua buah plat aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx.

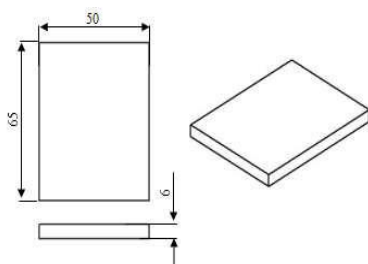
Aluminium seri 1100 adalah paduan aluminium yang dicampur dengan bahan lain, seperti: tembaga, besi, crom, mangan dan seng, dengan kandungan aluminium minimum sebesar 99.0%. Aluminium dan paduan aluminium tergolong kedalam logam yang ringan bila dibandingkan dengan besi atau baja, dengan kekuatan yang tinggi, tahan karat dan penghantar listrik yang baik. Penggunaan aluminium paduan, khususnya aluminium seri 1100 di dunia industri banyak digunakan sebagai *pressure vessels*, *heat exchanger*, pipa dan lain-lain (Sukmana dan Sustiono, 2016).



Gambar 1 Mesin *milling*

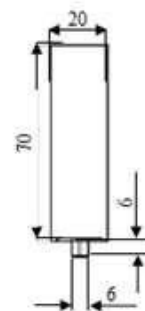
Alumunium 5052 merupakan paduan aluminium dengan magnesium (Mg), paduan ini memiliki sifat tidak dapat diperlakukan-panas, tetapi memiliki sifat baik dalam daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu las Al-Mg banyak dipakai untuk konstruksi umum termasuk konstruksi kapal. Material jenis ini banyak sekali digunakan untuk aplikasi pada temperatur rendah, peralatan kelautan, dan struktur rangka bangunan.

Untuk proses pengelasan alumunium seri 1xxx dan seri 5xxx yang dilakukan, menggunakan ukuran panjang 65 mm, lebar 50 mm dan tebal 6 mm.



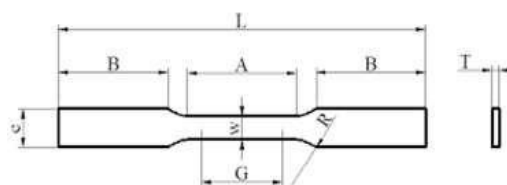
Gambar 2 Dimensi spesimen

Indentor yang digunakan dalam pengelasan ini adalah baja VCN, dengan tipe pin *changing spiral form*. Baja VCN termasuk kedalam jenis baja dengan memiliki kekuatan yang sangat tinggi (*ultrahigh strength steel*). Baja jenis ini memiliki keuletan, ketangguhan serta kekuatan yang amat tinggi. Material jenis ini banyak dipakai sebagai penahan beban impact dengan kekuatan yang tinggi. Baja VCN termasuk kedalam jenis baja paduan rendah atau *low alloy steels* dengan kandungan unsur pepadu kurang dari 5 %. Adapun komposisi kimia dari baja VCN jenis ini adalah 0,38% C, 0,20% Si, 0,70% Mn, 1,50% Cr, 96,79% Fe, 0,20% Mo dan 1,64% Ni.



Gambar 3 Pin indentor

Setelah spesimen dilas kemudian dilakukan pengujian kekerasan, pengujian tarik dan pengujian komposisi kimia. Pengujian kekerasan yang dilakukan adalah pengujian kekerasan *rockwell* dengan menggunakan standar HRb. Sedangkan pada pengujian tarik yang dilakukan pada hasil pengelasan menggunakan standart ASTM E8/E8M.



Gambar 4 Spesimen uji tarik

## DATA DAN PEMBAHASAN

### 1. Analisa Pengujian Kekerasan *Rockwell*

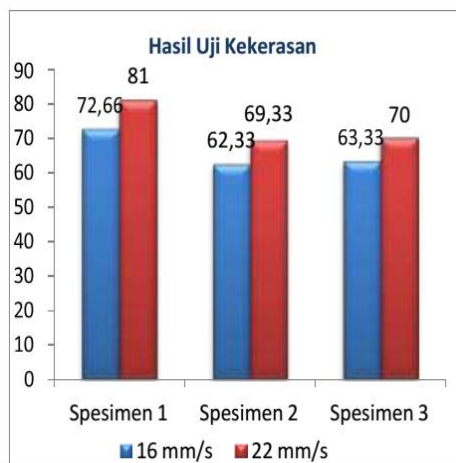
Teori dasar kekerasan secara umum didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Pada prinsipnya terdapat tiga kategori pengujian kekerasan dengan metode indentasi atau penekanan yaitu *Brinell*, *Rockwell*, dan *Vickers*, namun ketiga kategori pengujian tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mengetahui nilai kekerasan suatu logam (Ibrahim, 2018).

Pada hasil pengelasan logam non-sejenis atau *dissimilar metal* aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx dengan metode las gesek puntir (*friction stir welding*), logam dasar yang disambungkan mengalami perubahan fasa. Setelah dilakukan pengujian kekerasan dengan metode Rockwell diperoleh data nilai kekerasan pada daerah-daerah pengujian seperti HAZ (*heat affected zone*), TMAZ (*thermomechanically affected zone*), dan *stir zone*, beberapa nilai kekerasan tersebut dapat dilihat pada pada tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Uji Kekerasan Rockwell

No	Bentuk Pin Indentor	N (rpm)	v (mm/s)	Seri 1xxx					Seri 5xxx															
				Al 1100		Al 5052		SZ	Al 1100		Al 5052		SZ											
				HAE	THAE	HAE	THAE		HAE	THAE	HAE	THAE												
1	Changing Spiral Form	2000	16	70	66	54	40	73	67	59,66	67	54	44,33	72,66										
				69	66	57	47	72																
				70	69	51	46	73																
				65	69	51	45	66																
				68	70	50	49	58																
				68	70	48	49	63																
2	Changing Spiral Form	2000	22	69	69	52	48	67	69,66	69,33	49,66	44,66	63,33											
				69	69	50	47	64																
				71	70	47	47	59																
				x (rata-rata)											68,77	68,66	51,10	45,57	66,10					
				3	Changing Spiral Form	2000	22	69							67	47	41	77	69	58,33	48,66	43,33	81	
								69							69	50	44	84						
60	60	40	45					82																
70	72	46	41					69																
70	72	49	42					66																
67	70	45	45					73																
4	Changing Spiral Form	2000	22	67	72	52	40	72	68,33	71	50,66	42,33	70											
				70	71	51	43	69																
				68	70	49	44	69																
				x (rata-rata)											68,77	70,22	48,66	42,77	73,44					

Berdasarkan hasil pengujian diatas dengan menggunakan dua laju kecepatan yang berbeda pada proses penyambungan *dissimilar metal* seri 1xxx dan 5xxx, didapatkan nilai kekerasan tertinggi untuk *weld nugget* atau *stir zone* adalah 73,44 pada kecepatan translasi *tool* 22 mm/menit sedangkan nilai kekerasan terendah didapat pada laju kecepatan translasi 16 mm/menit yaitu sebesar 66,10.



Gambar 5 Grafik perubahan nilai kekerasan

Pada pengujian kekerasan diatas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bentuk pin indentor dan suhu, terutama faktor kecepatan putar (rpm) dan laju kecepatan translasi *tool* pada prosesnya. Jenis pin indentor yang digunakan adalah tipe *changing spiral form* yaitu *tool* dengan indentor permukaan rata dan memiliki ulir yang membuat proses pengadukan lebih mudah walaupun proses pengelasan dilakukan dengan kecepatan translasi *tool* atau laju kecepatan pengelasan yang bervariasi

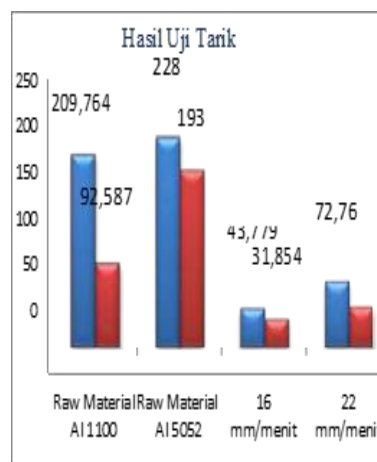
ataupun berbeda-beda. Jenis *tool* ini menghasilkan tampilan permukaan hasil pengelasan yang konsisten cukup baik di dua variasi kecepatan translasi *tool* yang berbeda yakni pada kecepatan translasi 16 mm/menit dan 22 mm/menit. Selain hasil tampilan las jenis *tool* ini juga unggul dalam proses penetrasi, salah satu faktor yang menunjang proses penetrasi yang baik adalah proses pemberian panas awal atau *holding time* yang bertujuan untuk menghantarkan panas melalui permukaan indentor yang berputar ke spesimen yang akan di las.

2. Analisa Pengujian Tarik

Tabel 2 Data Hasil Uji Tarik

Spesimen	Bentuk Pin Indentor	N (rpm)	v (mm/s)	Ultimate Stress (MPa)	Yield Strength (MPa)	Daerah Patah
1	Changing Spiral Form	2000	16	59,277	36,894	SZ
2				29,667	29,199	SZ
3				42,395	29,469	SZ
x (rata-rata)				43,779	31,854	
4	Changing Spiral Form	2000	22	90,130	56,445	SZ
5				63,970	42,694	SZ
6				64,180	36,872	SZ
x (rata-rata)				72,760	45,337	
Raw Material	Aluminium 1100			209,764	92,587	
	Aluminium 5052			228	193	

Pada pengujian tarik yang dilakukan didapat nilai raw material untuk Aluminium seri 1xxx yaitu sebesar 209,764 MPa untuk *ultimate Stress* dan sebesar 92,587 MPa untuk nilai *yield Strength*. Sedangkan untuk Aluminium seri 5xxx nilai *ultimate Stress* adalah sebesar 228 MPa dan nilai *yield strength* adalah sebesar 193 Mpa (ASM, 1990).



Gambar 6 Grafik Nilai Ultimate Stress dan Yield Strength

Pada pengujian kekerasan diatas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bentuk pin indenter dan suhu, terutama faktor kecepatan putar (rpm) dan laju kecepatan translasi tool pada prosesnya. Jenis pin indenter yang digunakan adalah tipe *changing spiral form* yaitu tool dengan indenter permukaan rata dan memiliki ulir yang membuat proses pengadukan lebih mudah walaupun proses pengelasan dilakukan dengan kecepatan translasi tool atau laju kecepatan pengelasan yang bervariasi

Nilai *ultimate stress* tertinggi yaitu 72,760 MPa diperoleh dari proses pengelasan dengan laju translasi tool 22 mm/menit, sedangkan nilai *ultimate stress* terendah diperoleh dari proses pengelasan dengan laju translasi tool 16 mm/menit yaitu 43,779 MPa. Begitu pula pada nilai *yield strength* tertinggi juga diperoleh dari proses pengelasan dengan laju translasi tool 22 mm/menit yaitu sebesar 45,337 MPa dan nilai *yield strength* terendah diperoleh dari proses pengelasan dengan laju translasi tool 16 mm/menit yaitu sebesar 31,854 MPa.

Pada gambar 5 yang menunjukkan grafik nilai tegangan maksimum dan kekuatan luluh pada hasil pengujian tarik memperlihatkan nilai tegangan tarik maksimum dan nilai kekuatan regangan yang sangat signifikan dari kekuatan raw materialnya. Hal ini dikarenakan pada daerah *weld nugget* atau daerah logam lasan mengalami perubahan struktur mikro akibat proses penempaan pada saat logam disambungkan. Perubahan struktur mikro pada daerah *weld zone* dipengaruhi oleh siklus termal yang terjadi pada daerah lasan, siklus mekanik yang terjadi akibat panas ini dipengaruhi oleh gesekan (kecepatan putar tool, kecepatan translasi tool, *pre-heating* dan *heat treatment*) yang terjadi antara pin indenter dengan dua buah sisi material yang akan dilas.

Penurunan nilai secara signifikan dibanding nilai raw material pada dua variasi kecepatan juga terjadi pada nilai regangan atau *yield strain/strength*, hal ini disebabkan perpatahan terjadi pada daerah *weld zone*, yang merupakan daerah yang paling banyak mengalami perlakuan tenik. Selain itu perbedaan nilai tegangan regangan terjadi karena pada logam hasil lasan terdapat cacat *wormholes*, seperti pada penelitian sebelumnya cacat *wormhole* pada hasil pengelasan akan menginisiasi terjadinya retak dan kegagalan pada pembebanan tarik. Hal inilah yang menyebabkan rendahnya kekuatan tarik. (Rahman dkk, 2018).

### 3. Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia bertujuan untuk melihat unsur-unsur apa saja yang terdapat pada sebuah logam, pada pengujian kali ini logam dasar yang digunakan adalah *dissimilar metal* atau dua logam non-sejenis yang disambungkan dengan

metode pengelasan *friction stir welding* (Syahputra, 2019).

Logam yang dilas adalah aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx atau Al 1100 dan Al 5052, kedua logam ini memiliki karakteristik dan kandungan unsur yang berbeda, sebut saja aluminium seri 1xxx yang masih tergolong aluminium murni dengan kadar aluminium 99% dan aluminium seri 5xxx yang sudah terkandung unsur paduan sebesar 2-4% dengan kadar Al sebesar 95,7-97,7%.

**Tabel 3 Komposisi kimia Al 1100**

No	Element	Kadar (%)
1	Al	99%
2	Cr	0,02%
3	Zn	0,04%
4	Fe	0,34%
5	Si	0,44%
6	Mg	0,62%
7	Mn	0,06%

**Tabel 4 Komposisi kimia Al 5052**

No	Element	Kadar (%)
1	Al	95,7 - 97,7%
2	Cr	0,15 - 0,35%
3	Cu	0,10%
4	Fe	0,40%
5	Si	0,25%
6	Mg	2,20 - 2,80%
7	Mn	0,10%

Al 5052 juga memiliki kadar magnesium (Mg) yang cukup tinggi yaitu 2,2-2,8% jika dibandingkan dengan Al 1100 yang hanya sebesar 0,62% saja. Berikut adalah tabel komposisi kimia Al 1100 dan Al 5052.

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan mesin spectrum komposisi kimia *Optical Emission Spectrometer* atau OES dan memberikan hasil pembacaan secara otomatis kandungan unsur-unsur yang terdapat pada logam Al 1100 dan Al 5052 yang telah disambungkan dengan metode *friction stir welding*. Pembacaan kandungan unsur-unsur kimia pada logam hasil pengelasan menggunakan sampel material berukuran 4x4 cm dengan ketebalan 6mm sesuai standar pengujian OES. Pada tabel 11 dan 12 ditunjukkan hasil dari

pengujian komposisi kimia logam sambungan dissimilar metal pada kecepatan translasi tool 16 dan 22 mm/menit.

**Tabel 5 Komposisi kimia Al 1100-5052 pada kecepatan pengelasan 16 mm/menit**

NO	Element	Kode Logam : A 16	Metode
		Kadar (%)	
1	Al	98,5	Spark- OES Spectromaxx
2	Si	0,279	Spark- OES Spectromaxx
3	Fe	0,592	Spark- OES Spectromaxx
4	Cu	0,027	Spark- OES Spectromaxx
5	Mn	0,0335	Spark- OES Spectromaxx
6	Mg	0,344	Spark- OES Spectromaxx
7	Cr	0,0299	Spark- OES Spectromaxx
8	Ni	0,0062	Spark- OES Spectromaxx
9	Zn	0,0792	Spark- OES Spectromaxx
10	Ti	0,032	Spark- OES Spectromaxx
11	Ag	0,00091	Spark- OES Spectromaxx
12	B	0,0025	Spark- OES Spectromaxx
13	Ba	0,002	Spark- OES Spectromaxx
14	Be	<0,00005	Spark- OES Spectromaxx
15	Bi	<0,001	Spark- OES Spectromaxx
16	Ca	0,0047	Spark- OES Spectromaxx
17	Cd	0,0011	Spark- OES Spectromaxx
18	Ce	0,0027	Spark- OES Spectromaxx
19	Co	0,0033	Spark- OES Spectromaxx
20	Ga	0,011	Spark- OES Spectromaxx
21	Hg	<0,001	Spark- OES Spectromaxx
22	In	0,00076	Spark- OES Spectromaxx
23	La	0,00098	Spark- OES Spectromaxx
24	Li	<0,0001	Spark- OES Spectromaxx
25	Na	0,002	Spark- OES Spectromaxx
26	P	0,0041	Spark- OES Spectromaxx
27	Pb	0,0043	Spark- OES Spectromaxx
28	Sb	0,0071	Spark- OES Spectromaxx
29	Sn	<0,001	Spark- OES Spectromaxx
30	Sr	<0,0001	Spark- OES Spectromaxx
31	V	0,0033	Spark- OES Spectromaxx
32	Zr	0,0021	Spark- OES Spectromaxx

Pada pembacaan nilai komposisi kimia pada aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx untuk variasi kecepatan translasi tool 16 mm/menit didapatkan nilai-nilai unsur kimia sebanyak 32 nilai unsur.

**Tabel 6 Komposisi kimia Al 1100-5052 pada kecepatan pengelasan 22 mm/menit**

NO	Element	Kode Logam : B 22	Metode
		Kadar (%)	
1	Al	98,6	Spark- OES Spectromaxx
2	Si	0,263	Spark- OES Spectromaxx
3	Fe	0,648	Spark- OES Spectromaxx
4	Cu	0,0279	Spark- OES Spectromaxx
5	Mn	0,0338	Spark- OES Spectromaxx
6	Mg	0,298	Spark- OES Spectromaxx
7	Cr	0,026	Spark- OES Spectromaxx
8	Ni	0,0038	Spark- OES Spectromaxx
9	Zn	0,066	Spark- OES Spectromaxx
10	Ti	0,0301	Spark- OES Spectromaxx
11	Ag	0,00061	Spark- OES Spectromaxx
12	B	0,0017	Spark- OES Spectromaxx
13	Ba	0,00092	Spark- OES Spectromaxx
14	Be	<0,00005	Spark- OES Spectromaxx
15	Bi	<0,001	Spark- OES Spectromaxx
16	Ca	0,0092	Spark- OES Spectromaxx
17	Cd	0,00096	Spark- OES Spectromaxx
18	Ce	<0,0015	Spark- OES Spectromaxx
19	Co	0,0011	Spark- OES Spectromaxx
20	Ga	0,0106	Spark- OES Spectromaxx
21	Hg	<0,001	Spark- OES Spectromaxx
22	In	<0,0003	Spark- OES Spectromaxx
23	La	<0,0003	Spark- OES Spectromaxx
24	Li	<0,0001	Spark- OES Spectromaxx
25	Na	0,0034	Spark- OES Spectromaxx
26	P	0,0023	Spark- OES Spectromaxx
27	Pb	0,00061	Spark- OES Spectromaxx
28	Sb	0,0039	Spark- OES Spectromaxx
29	Sn	<0,001	Spark- OES Spectromaxx
30	Sr	<0,0001	Spark- OES Spectromaxx
31	V	0,0031	Spark- OES Spectromaxx
32	Zr	0,001	Spark- OES Spectromaxx

Pada data hasil OES-Spark Spectromaxx diatas dapat dilihat terjadi perubahan kadar unsur-unsur kimia pada logam aluminium seri 1xxx dan seri 5xxx yang telah disambungkan dengan metode FSW. Beberapa perubahan nilai unsur kimia terjadi pada kadar Al yang memiliki nilai sebesar 98,5 – 98,6 %, lebih rendah dari Al 1100 dan lebih tinggi dari Al 5052. Perubahan yang terjadi cukup signifikan yaitu menurunnya kadar magnesium dari angka 2,6 s.d. 2,8 % untuk Al 5052 dan 0,62%

untuk Al 1100 menjadi 0,03% saja. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh rekristalisasi dan siklus termal yang terjadi pada daerah *stir zone* yang menyebabkan perubahan karakteristik pada material aluminium seri 1xxx dan 5xxx.

Pada pengujian komposisi kimia OES spesimen uji berukuran 4x4 cm dengan tebal 6mm yang terdiri dari bagian *stir zone* dan *thermomechanically affected zone* atau TMAZ. Proses pengelasan *friction stir welding* menyebabkan perubahan karakteristik pada material las, nilai kekerasan *stir zone* yang lebih tinggi dibandingkan HAZ dan TMAZ pada Al 5052 menunjukkan telah terjadinya peningkatan kadar aluminium pada Al 5052 seperti yang terlihat pada tabel hasil pengujian komposisi kimia OES.

## KESIMPULAN

Nilai kekerasan rata-rata tertinggi diperoleh pada spesimen hasil las dengan kecepatan translasi *tool* 22 mm/menit yaitu 73,44, sedangkan nilai kekerasan rata-rata terendah diperoleh pada spesimen hasil las dengan kecepatan translasi *tool* 16 mm/menit yaitu 66,10. Nilai *Ultimate Stress* tertinggi didapat pada spesimen hasil las dengan kecepatan translasi *tool* 22 mm/menit yaitu 72,760 MPa, sedangkan *Ultimate Stress* terendah pada spesimen hasil las dengan kecepatan translasi *tool* 16 mm/menit yaitu 43,779 MPa. Nilai *Yield Strength* tertinggi didapat pada spesimen hasil las dengan kecepatan translasi *tool* 22 mm/menit yaitu 45,337 MPa, sedangkan *Yield Strength* terendah didapat pada spesimen hasil las dengan kecepatan translasi *tool* 16 mm/menit yaitu 31,854 MPa. Proses pengelasan *friction stir welding* dengan kecepatan translasi *tool* yang tinggi menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi pula karena kecepatan putaran, perlakuan panas dan laju pengelasan mempengaruhi struktur termal pada logam induk, yang berarti semakin tinggi putaran *tool* dan laju kecepatan pengelasan maka akan semakin tinggi

nilai kekerasan yang dihasilkan, tidak terlalu berdampak signifikan pada komposisi unsur-unsur kimiawi yang terkandung didalamnya. Hal ini kemungkinan diakibatkan karena pada pengelasan menggunakan putaran *tool* 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 16 mm/menit proses rekristalisasi yang terjadi tingkat kerapatannya rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aalco, M., 2015. "Aluminium Alloy 5083 -'0'-H111 Sheet and Plate". Jurnal. Aalco, Ltd.
- [2] ASM Metals Handbook. 1990. "Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials". Second Edition. ASM International.
- [3] Deden, R., 2012. "Analisis Proses Friction Stir Welding (FSW) pada Plat Tipis Aluminium". Tugas akhir. Universitas Indonesia.
- [4] Harsono, dkk, 1991. "Teknik Pengelasan Logam". Pradnya Paramita. Jakarta.
- [5] Ibrahim, F., 2019. "Pengaruh Bentuk Pin Indentor Las Gesek Puntir (Friction Stir Welding) Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Magnesium AZ31". Skripsi. Universitas Lampung.
- [6] Rahman, M. B. N., Nugroho, A. W., Wardhana, B. S., 2018. "Pengaruh Feed Rate dan Kecepatan Putar Pin Tool Friction Stir Welding (FSW) terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Aluminium 5052". Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [7] Sukmana, I., Sustiono, A. 2016. "Pengaruh Kecepatan Putar Indentor Las Gesek Puntir (Friction Stir Welding) Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Aluminium 1100-H18". Skripsi. Jurnal Mechanical. Vol. 7, No. 1, Hal 15-19.
- [8] Syahputra, M. A. D., 2019. "Pembuatan dan Uji Kekerasan Serta Uji Komposisi Kimia Terhadap Cindera Mata Berlogo Solidarity M Forever Dengan Metode Pengecoran Logam Menggunakan Bahan Aluminium 5052".
- [9] Skripsi. Univertas Lampung. Wijayanto, J., Anelis, A. 2010. "Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat Mekanik pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 6110". Jurnal Kompetensi Teknik. Vol. 2, No.1, Hal. 19-28.

## MODIFIKASI PISAU MESIN PENEPUK ATC DENGAN GARIS MATA POTONG PADA SUDUT 330 ARAH RADIAL

Encu Saefudin, Marsono, Erik Puji Nugraha

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung

Jl. PHH Mustafa no.23 Bandung

encu@itenas.ac.id

### Abstrak

Karaginan jenis Kappa adalah senyawa hidrokoloid yang diambil dari rumput laut merah jenis *Eucheuma Cottonii*, yang banyak digunakan dalam industri pengolahan makanan sebagai pengental, penstabil dan pengemulsi. ATC (Alkali Treated Cottonii) kering yang merupakan produk antara untuk mendapatkan SRC (Semi-Refined Carrageenan) harus menjalani proses lanjutan, yaitu pencacahan dan penepungan. Penelitian ini adalah lanjutan dari penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan mesin penepung ATC, dimana pada tahap ini difokuskan pada modifikasi pisau penggerus untuk memperoleh hasil penepungan yang lebih halus. Pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa modifikasi pisau memberikan hasil yang lebih baik, yaitu mampu mencapai kehalusan tepung sampai 100 mesh. Tetapi kapasitas mesin penepung ini belum cukup memuaskan karena tepung jumlah yang mencapai 100 mesh hanya 9 gram dari input sebanyak 50 gram.

Kata kunci: Karaginan, ATC (Alkali Treated Cottonii), SRC (Semi-Refined Carrageenan), mesin penepung.

### Abstract

*Kappa carrageenan is a hydrocolloid compound which is extracted from the red seaweed species of Eucheuma Cottonii. Kappa Carrageenan is widely used in the food processing industry as a thickener, stabilizer and emulsifier. ATC (Alkali Treated Cottonii) which is the intermediate product to obtain SRC (Semi Refined Carrageenan) will go through further processing, such as chopping and grinding. This research is a continuation of the research undertaken to develop ATC grinding machines. This research is focused on modifying the geometry of grinding tools to obtain finer powder results than former research. The tests that have been performed shows that the modifications of tool geometry provide better results, which is able to achieve fine powder up to 100 mesh. But the capacity of this grinding machine is not quite satisfactory because the amount of flour reaches 100 mesh is only 9 grams from 50 grams input.*

Keywords: Carrageenan, ATC (Alkali Treated Cottonii), SRC (Semi-Refined Carrageenan), grinding machine

### PENDAHULUAN

Karaginan kappa adalah senyawa hidrokoloid yang diekstraksi dari rumput laut merah jenis *Eucheuma Cottonii*. Karaginan dapat digunakan untuk meningkatkan kestabilan bahan pangan yang berbentuk suspensi, emulsi. Karaginan dapat digunakan sebagai bahan penstabil karena mengandung gugus sulfat yang bermuatan negatif di sepanjang rantai polimer dan bersifat hidrofilik. Karena sifat hidrofiliknya, karaginan dapat mengikat air atau gugus hidroksil lainnya.

Proses pengolahan rumput laut menjadi karaginan dilakukan dengan serangkaian langkah, antara lain adalah proses alkalisasi, netralisasi dan

pengeringan dengan hasil yang didapat berupa ATC (Alkali Treated Cottonii) kering. Selanjutnya ATC kering akan dicacah kemudian dilakukan proses penepungan untuk mendapatkan tepung SRC (Semi-Refined Carrageenan). SRC dalam bentuk tepung akan menjadi lebih mudah untuk digunakan pada industri makanan [3]

Proses penepungan adalah tahapan terakhir dalam rangkaian proses pengolahan rumput laut *Eucheuma Cottonii* menjadi karaginan dalam bentuk tepung SRC. Untuk mendapatkan tepung SRC tentu dibutuhkan mesin penepung. Namun mesin penepung ATC ini cukup sulit untuk didapatkan di Indonesia. Di sisi lain, industri pengolahan rumput laut menjadi karaginan yang ada di Indonesia masih sangat tertutup sehingga sulit untuk meniru teknologi yang dipakai di industri tersebut.

Dalam rangka memenuhi kebutuhan alat untuk industri pengolahan rumput laut, maka dalam penelitian ini dilakukan pengembangan mesin penepung ATC. Penelitian ini juga merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya tentang mesin yang sama. Dimana mesin tersebut belum mampu memberikan hasil yang diinginkan. Mesin yang telah dibuat hanya mampu menghasilkan tepung yang sangat kasar yang berukuran 1-10 mm, [5].

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, dilakukan modifikasi pisau penepung ATC untuk diterapkan pada mesin yang sudah ada. Modifikasi dilakukan terutama dalam hal bentuk (geometri) dan dimensi mata potong pisau. Pisau mesin penepung ATC yang baru dibuat dengan garis mata potong berada pada sudut 33<sup>o</sup> dari arah radial dengan kedalaman (groove) mata potong tidak lebih dari 3mm. Pisau penggerus (penepung) tidak dibuat dengan material baja perkakas, tetapi dibuat dengan baja karbon karena penelitian ini difokuskan untuk menilai efektifitas dari bentuk dan ukuran mata potong pisau penggerus

## METODE PENELITIAN

### 1. Pengolahan Rumput Laut Eucheama Cottonii

Rumput laut Eucheama cottonii adalah jenis rumput laut yang paling banyak dibudidayakan di Indonesia. Rumput laut jenis ini memiliki kandungan karagenan jenis kappa yang sangat dibutuhkan oleh industri pengolahan makanan, sebagai agen pengental, penstabil dan pengemulsi. Karagenan Kappa juga dibutuhkan oleh industri lain, baik sebagai bahan baku utama, maupun sebagai bahan baku tambahan. Karagenan juga digunakan di industri farmasi, tekstil, dan industri lainnya

Karagenan yang diperoleh dari olahan rumput laut jenis Eucheama Cottonii dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu karagenan murni (Refined Carrageenan) dan karagenan semi-murni (Semi-Refined Carrageenan). Perbedaan keduanya terdapat pada kandungan selulosa yang masih terdapat dalam karagenan tersebut. Karagenan dikatakan murni jika didalamnya sudah tidak lagi terdapat selulosa, sedangkan karagenan yang masih mengandung selulosa disebut sebagai karagenan semi-murni

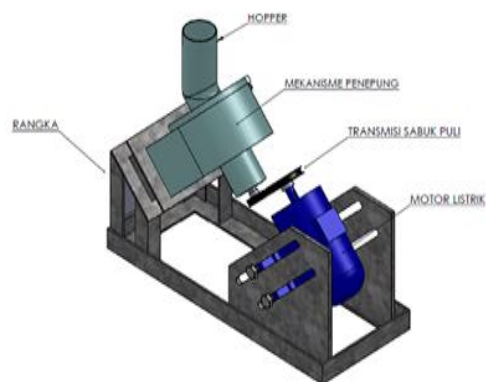
Metode pembuatan SRC (Semi-refined Carrageenan) berbeda dengan pembuatan RC (Refined Carrageenan). SRC dibuat dengan metoda yang lebih sederhana, dimana karagenan tidak dikeluarkan dari selulosa (jaringan kulit) rumput laut, sehingga selulosanya tetap terbawa dalam produk SRC.

Pengolahan rumput laut Eucheama Cottonii menjadi tepung karagenan dilakukan dalam beberapa

tahap, yaitu proses alkalisasi, netralisasi, pengeringan, pencacahan dan penepungan. ATC (Alkali Treated Cottonii) kering merupakan produk-antara yang diperoleh setelah rumput laut Eucheama Cottonii melalui proses alkalisasi, netralisasi dan pengeringan. ATC yang telah kering akan dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil dan kemudian digerus sampai mendapatkan tepung karagenan (tepung SRC).

### 2. Mekanisme Mesin Penepung

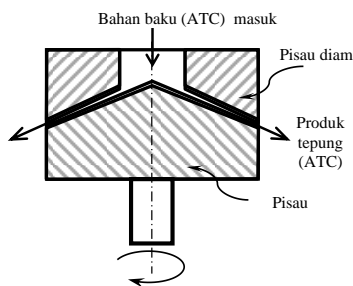
Mesin penepung ATC yang digunakan adalah mesin penepung hasil penelitian sebelumnya. Mesin penepung ini bekerja dengan prinsip discmill atau attrition mill. Skema mesin penepung ATC yang telah dibuat terlihat pada gambar 1



Gambar 1 Skema mesin penepung ATC [1]

Mesin penepung jenis ini mereduksi ukuran partikel padat secara mekanis melalui tumbukan ataupun gesekan antara bahan yang digiling dengan media penggilingan yang kasar. Mekanisme penggilingan pada mesin dihasilkan dari piringan (disc) tunggal yang berputar secara relatif terhadap bidang yang diam ataupun dihasilkan dari piringan ganda yang berputar dengan arah berlawanan.

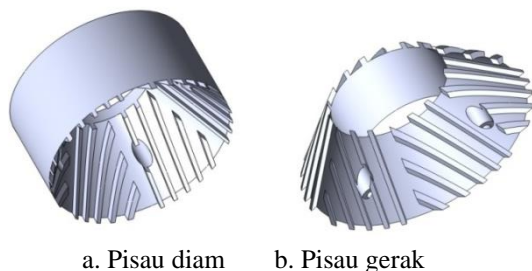
Pada mesin penepung jenis discmill yang telah dibuat, bahan baku (ATC) masuk dari bagian atas melalui pisau diam dan keluar melalui bagian samping, yaitu melalui celah di antara pisau diam dan pisau gerak setelah mengalami penggerusan, seperti yang terlihat pada gambar 2. Bahan baku ATC yang telah tergerus akan terdorong ke arah luar karena adanya gaya berat dan gaya sentrifugal.



**Gambar 2** Aliran masuk bahan baku (ATC) dan keluar produk (tepung) pada mesin penepung

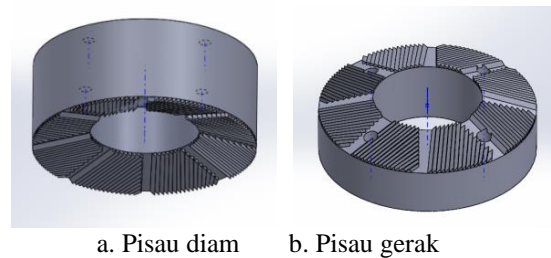
3. Rancangan Pisau Penggerus

Rancangan pisau gerak dan pisau diam pada mesin penepung generasi pertama memiliki mata potong yang besar dan jarang. Ketinggian mata potong pisau (kedalaman serasi) lebih dari 3mm. Rancangan pisau diam dan pisau gerak mesin generasi pertama terlihat pada gambar 3a dan gambar 3b. Permukaan kerucut pada kedua pisau dibagi menjadi delapan segmen dengan adanya alur pada arah radial. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses pembuatan mata potong [1].



**Gambar 3** Pisau gerak dan pisau diam pada mesin penepung ATC generasi pertama [1]

Pada penelitaian lanjutannya, pisau gerak dan pisau diam memiliki mata potong yang lebih kecil dan lebih rapat. Ketinggian mata potong (kedalaman serasi) lebih besar dari 3mm. Permukaan kerucut pada kedua pisau ini juga dibagi menjadi delapan segmen dengan membuat alur pada arah radial untuk memudahkan proses pembuatan mata potong [3]. Rancangan pisau diam dan pisau gerak mesin generasi kedua terlibat pada gambar 4a dan 4b



**Gambar 4** Pisau gerak dan pisau diam pada mesin penepung ATC generasi kedua [3]

Rancangan pisau pada mesin generasi pertama dan kedua masih jauh dari harapan. Rancangan pisau yang telah dibuat hanya dapat menghasilkan tepung yang sangat kasar, yaitu berukuran 1-10 mm [2], [5]. Hasil penepungan dari pisau pada penelitian pertama dan kedua terlihat pada gambar 5.



Hasil penggerusan pada mesin generasi pertama [2]      Hasil penggerusan mesin generasi kedua [5]

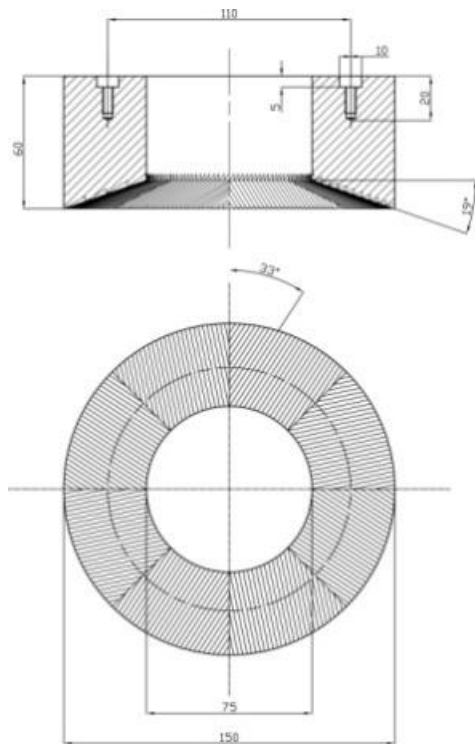
**Gambar 5** Hasil pengujian pada penelitian terdahulu

Berdasarkan hasil dari kedua penelitan itu, pada penelitan ini pisau diam dan pisau putar dibuat dengan mata potong yang lebih kecil dan rapat. Disamping itu, ketinggian mata potong pisau sisi masuk (diameter dalam) dibuat lebih tinggi daripada ketinggian mata potong pisau dibagian keluar produk (diameter luar). Ketinggain mata potong pada sisi masuk pisau dibuat 3mm sedangkan pada sisi keluar pisau dibuat 2mm. Garis mata potong berada pada sudut 33o terhadap arah radial. Rancangan pisau diam dan pisau gerak terlihat pada gambar 6 dan gambar 7.

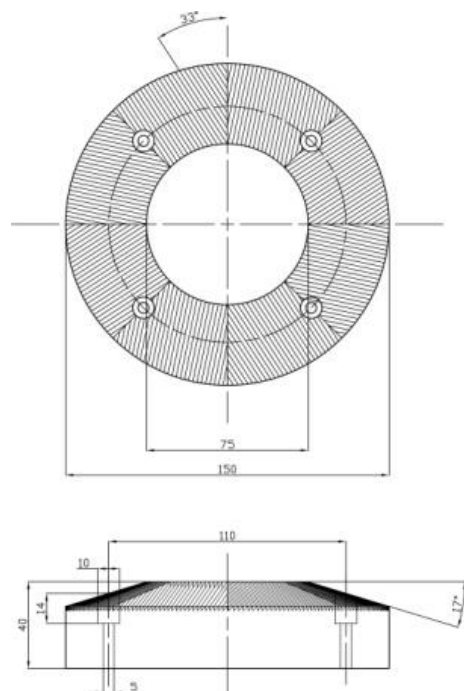
4. Pembuatan dan perakitan mata pisau diam dan gerak

Pembuatan pisau gerak dan pisau diam dilakukan dengan proses pemesinan dengan menggunakan mesin bubut, frais, dan gurdi. Pisau diam dan pisau gerak yang telah selesai terlihat pada gambar 8(a) dan 8(b)

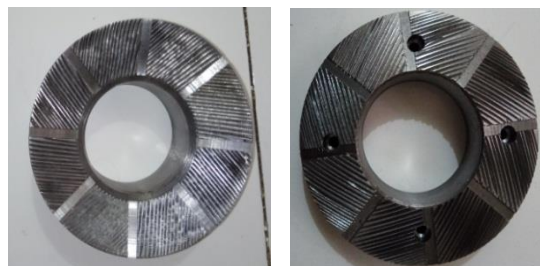




Gambar 6 Rancangan Pisau Diam



Gambar 7 Rancangan Pisau gerak



(a) pisau diam (b) pisau gerak

Gambar 8 Pisau yang telah selesai dibuat

Setelah selesai dibuat, pisau diam dipasang pada casing yang terhubung dengan hopper dan pisau gerak dipasang pada poros utama yang terhubung dengan motor melalui puli dan sabuk. Proses perakitan pisau pada mesin penepung ATC terlihat pada gambar 9(a) dan 9(b)



(a) pemasangan pisau gerak pada poros utama mesin penepung (b) pemasangan pisau diam pada casing mesin penepung

Gambar 9 Pemasangan pisau gerak dan pisau diam pada mesin penepung

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja mesin penepung ATC, khususnya dengan modifikasi pisau dengan geometri mata potong yang lebih kecil dan rapat. Parameter kinerja yang ingin diketahui adalah kehalusan tepung yang dihasilkan dan kecepatan penggerusan. Pengujian dilakukan beberapa kali dengan variasi masukan awal, yaitu 20gram dan 50gram. Pengujian dilakukan dengan putaran mesin maksimal, yaitu 2445 rpm.

Berdasarkan kondisi proses penggerusan yang ditemui pada saat pengujian, dilakukan sedikit perubahan pada prosedur pengujian, yaitu proses pemasukan ATC kering ke dalam mesin dilakukan berulang. Keluaran dari mesin penepung ATC yang

masih kasar dimasukkan kembali ke dalam mesin penepung untuk digerus kembali.

**Tabel 1 Hasil pengujian dengan berat masukan awal ATC 20 gram**

No	Berat Awal (gr)	ATC	Keluaran (ATC tergerus) (gr)	Waktu (menit)
1	20		20	6,00
2	19		1	5,00
3	19		1	5,00
4	19		2	4,00
5	18		2	3,30
6	16		4	6,19
7	14		6	5,47
8	13		7	5,12
9	13		7	4,40
10	11		9	4,10
11	11		9	4,00
12	10		10	3,40
13	10		10	3,00
14	9		11	3,00
15	9		11	3,00
Total waktu: 66 menit 18 detik				

**Tabel 2 Hasil pengujian dengan berat masukan awal ATC 50 gram**

No	Berat Awal (gr)	ATC	Keluaran (ATC tergerus) (gr)	Waktu (menit)
1	50		7	10,00
2	43		7	7,45
3	43		7	5,00
4	41		9	5,00
5	41		9	3,35
6	41		9	3,40
7	38		12	2,30
8	38		12	2,30
9	38		12	5,30
10	36		14	5,00
11	36		14	5,30
12	36		14	5,00
13	33		17	5,30
14	33		17	4,48
15	33		17	2,00

Total waktu: 73 menit 18 detik

Pada kedua pengujian, yaitu dengan pemasukan awal 20gram dan 50gram, penggerusan dihentikan setelah melewati (pengulangan) sebanyak 15 kali, karena ATC yang tergerus tidak bertambah. Keluaran hasil penggerusan dan waktu penggerusan

pada pengujian dengan masukan awal 20gram dan 50gram dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Hasil penggerusan ini kemudian diayak dengan untuk mengetahui kehalusan tepung dan berat dari masing-masing tepung dengan kehalusan yang berbeda. Hasil dari proses pengayakan untuk masukan awal 20 gram dan 50 gram dapat dilihat pada tabel 3

**Tabel 3 Hasil pengayakan keluaran ATC dari mesin penepung**

Mesh	ATC yang diperoleh (gr)	
	Masukan awal 20gram	Masukan awal 50gram
8	1	1
16	5	21
30	7	10
50	3	5
100	2	6
200	2	3
	20	45

Pengujian yang dilakukan pada mesin penepung ATC yang telah dimodifikasi memperlihatkan hasil penggerusan yang lebih baik daripada hasil penggerusan dari mesin penepung ATC generasi pertama dan kedua. Perbandingan ketiga mesin tersebut terlihat dengan jelas pada gambar 5, gambar 10 dan gambar 11



a. 100 mesh (2gram)      b. 200 mesh (2gram)

**Gambar 10 Hasil pengujian dengan berat awal 20 gr.**



a. 100 mesh (6gram)      b. 200 mesh (3gram)

**Gambar 11 Hasil pengujian dengan berat awal 50 gr.**

Pada penelitian sebelumnya, yaitu pada mesin generasi pertama dan kedua didapat hasil yang sangat kasar. Dari mesin generasi pertama didapat

hasil potongan ATC berukuran  $\pm 1-1,5$  cm [2], sama sekali tidak didapatkan tepung. Dari mesin generasi kedua didapatkan tepung sangat kasar dengan ukuran  $\pm 1-10$  mm, [5]. Pada penelitian terakhir ini didapatkan hasil yang lebih baik, yaitu pada pengujian dengan berat awal 20gram dan 50 gram didapat hasil gerusan ATC mencapai 100 mesh dan 200 mesh, walaupun belum semua masuk dalam kategori 100 mesh dan 200 mesh.

Target yang ingin dicapai dari penggerusan mesin penepung ATC ini adalah tepung dengan kehalusan maksimum 100mesh, yaitu sesuai dengan kebutuhan umum di pasaran karajinan. Oleh karena itu, hasil yang dianggap memenuhi target adalah tepung dengan kehalusan maksimum 100mesh.

Hasil yang ada pada tabel 3 menunjukkan bahwa penyaringan dengan menggunakan sieve shaker, didapatkan hasil 2gram ATC dengan kehalusan 100mesh dan 2gram ATC dengan kehalusan 200mesh untuk masukan awal 20gram. Sedangkan untuk masukan awal 50 gram didapatkan hasil 6gram ATC dengan kehalusan 100 mesh dan 3gram ATC dengan kehalusan 200 mesh.

Kapasitas produksi pada kondisi pengujian ini dapat dihitung dengan membagi berat hasil produk yang memenuhi syarat dengan waktu yang diperlukan untuk mendapatkan hasil tersebut. Maka pada pengujian mesin dengan masukan awal sebesar 20gram diperoleh kapasitas produksi mesin sebesar 0,060gram/menit atau 0,0036kg/jam. Untuk pengujian mesin dengan masukan awal sebesar 50gram, didapatkan kapasitas produksi mesin sebesar 0,123gram/menit atau 0,0074kg/jam.

Modifikasi pisau pada mesin penepung ATC ini memberikan hasil yang cukup memuaskan dalam hal pencapaian kehalusan tepung, namun masih jauh dari memuaskan jika dilihat dari sisi kapasitas produksinya. Jika dilihat dari sisi efisiensi mesin pun mesin ini masih jauh dari harapan. Efisiensi mesin rata-rata, yaitu penghasilan tepung yang mencapai 100mesh hanya 20% saja, sedangkan sisanya sebanyak 80% ATC masih belum tergerus dan menjadi tepung.

Hasil yang belum memuaskan ini tidak bisa terlepas dari dua hal penting, yaitu kesempurnaan atau ketelitian bentuk geometri pisau dan dimensi mata potongnya. Geometri dan dimensi mata potong pisau ini sangat sulit dicapai dengan proses pemesinan konvensional yang dilakukan dengan mesin bubut dan mesin freis. Tidak mudah membentuk geometri pisau dengan garis mata potong membentuk sudut tertentu terhadap arah radial pada bidang selubung kerucut. Garis mata potong pisau seperti ini bukanlah garis lurus melainkan garis yang melengkung. Kesulitan pembuatan pisau ini menjadikan geometri mata potong pisau diam dan

pisau gerak tidak terbentuk dengan sempurna, yang tentunya berdampak kepada penurunan efektifitas penggerusan (penepungan).

Di sisi lain, kesalahan atau ketidak-sempurnaan geometri dan dimensi mata potong pisau juga ikut menentukan ketelitian celah yang terbentuk di antara pisau diam dan pisau gerak. Geometri pisau yang tidak sempurna akan mengubah ketelitian permukaan selubung kerucut pada kedua pisau dan hal ini akan berdampak kepada ketidakseragaman lebar celah di antara pasangan pisau diam dan pisau gerak pada jarak radius yang sama. Di satu bagian mungkin terbentuk celah yang lebih sempit, sementara di bagian lain pada radius yang sama mungkin terbentuk celah yang lebih lebar.

Konsentrisitas dari kedua pisau juga menjadi masalah tersendiri. Jika pisau diam tidak berada pada sumbu yang sama dengan sumbu pisau gerak maka celah yang terbentuk di antara pisau diam dan pisau gerak tidak akan seragam pada jarak radius yang sama. Hal ni juga akan berdampak kepada penurunan efektifitas penepungan.

Dalam penelitian ini, faktor-faktor seperti akurasi bentuk geometri, dimensi mata potong serta konsentrisitas pisau diam dan pisau gerak membuat celah di antara pisau diam dan pisau gerak tidak bisa lebih sempit dari 1,8mm. jadi sangat mungkin jika faktor-faktor tersebut menjadi penyebab mengapa sebagian besar ATC kering keluar dari celah penggerusan tanpa tergerus seluruhnya dan tidak dapat mencapai efisiensi penggerusan yang baik.

## KESIMPULAN

Mesin penepung ATC harus dibuat dengan tingkat ketelitian yang cukup tinggi. Kesalahan atau ketidaksempurnaan pada pembuatan pisau diam dan pisau gerak akan berdampak kepada lebar celah di antara pisau diam dan pisau gerak menjadi terlalu besar dan tidak seragam. Celah yang terlalu lebar di antara pasangan pisau diam dan pisau gerak akan berakibat pada rendahnya efektifitas dan efisiensi proses penepungan.

Kesalahan geometri dan dimensi pada pisau diam dan pisau gerak juga bisa berdampak kepada kesulitan penyetingan celah di antara kedua pisau dan kesalahan kesesumbuan pada kedua pisau. Hal ini juga akan berakibat kepada rendahnya efektifitas dan efisiensi penepungan

Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui bahwa modifikasi pisau pada mesin penepung ATC ini sudah berhasil mencapai target kehalusan 100 mesh, walaupun hanya 20% yang berhasil mencapai kehalusan maksimum 100mesh. Kapasitas penepungan dari mesin dengan modifikasi

pisau ini mencapai 0,0036kg/jam untuk pemasukan 20gram dan 0,0074kg/jam untuk pemasukan 50gram.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Encu Saefudin, Marsono, Wahyu (2016) "Perancangan Mesin Penepung Rumput Laut Skala Laboratorium", Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST), Yogyakarta, 26 November 2016, ISSN: 1979 – 911X / eISSN: 2541 – 528X, hal 477-484
- [2] Haefi. (2016). "Pembuatan dan Pengujian Mesin Penepung Rumput Laut". Institut Teknologi Nasional, Bandung. Tugas Akhir Program Strata 1 Teknik Mesin.
- [3] Ryan Panji Pratama. (2017). "Perancangan dan Analisis Kekuatan pada Modifikasi Pisau Mesin Penepung Rumput Laut". Institut Teknologi Nasional, Bandung. Tugas Akhir Program Strata 1
- [4] Zakka Qays Haniff. (2017). "Pembuatan Modifikasi Mata Pisau Mesin Penepung Rumput Laut" Institut Teknologi Nasional, Bandung. Tugas Akhir Program Strata 1
- [5] Dimas Herlambang. (2017) "Pengujian Mesin Penepung Rumput Laut". Institut Teknologi Nasional, Bandung. Tugas Akhir Program Strata 1.

## Petunjuk Umum

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

## Petunjuk Penulisan

Petunjuk penulisan antara lain sebagai berikut:

### 1. Judul Jurnal Ilmiah

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

### 2. Nama penulis

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

### 3. Abstrak

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

### 4. Pendahuluan

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

### 5. Metode penelitian

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

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

### 6. Hasil dan Pembahasan

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

### 7. Penutup

Bagian ini memuat kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran dapat dibuat dalam sub bagian terpisah. Kesimpulan menjawab tujuan, bukan mengulang teori, berarti menyatakan hasil penelitian secara ringkas. Saran merupakan penelitian lanjutan yang dirasa masih diperlukan untuk penyempurnaan hasil penelitian

supaya berdaya guna. Penelitian tentunya tidak selalu berdaya guna bagi masyarakat dalam satu kali penelitian, tapi merupakan rangkaian penelitian yang berkelanjutan.

**8. Daftar Pustaka**

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

**9. Penulisan persamaan**

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

**10. Penyajian Gambar dan Tabel**

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

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

Template Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung

**JUDUL (Style JUDUL :Times New Roman, 11 pt, Bold, huruf kapital, Maks 15 Kata, Line Spacing Single, Spacing After 6 point )**

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

Nama penulis <sup>1</sup>, nama penulis<sup>2</sup> (Style Penulis :11 pt, Bold, Line Spacing Single, Spacing After 6 point)

<sup>1</sup> Program Studi, Fakultas, Universitas (Style Keterangan :11 pt, Line Spacing Single, Spacing After 6 point)

Alamat Universitas

<sup>2</sup> Program Studi, Fakultas, Universitas

Alamat Universitas

Email penulis <sup>1</sup>

<Style normal>

**Abstrak (Style Absrak: 10 pt, Bold)**

<Style normal>

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

<Style normal>

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

<Style normal>

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

<Style normal>

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

<Style normal>

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

<Style normal>

**PENDAHULUAN (SEMUA JUDUL BAB MENGGUNAKAN (STYLE JUDUL BAB: 10 PT, BOLD, LINE SPACING SINGLE, SPACING BEFORE 24 POINT, SPACING AFTER 12 POINT))**

Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, dan tujuan. Dukungan teori tidak perlu dimasukkan pada bagian ini, tetapi penelitian sejenis yang sudah dilakukan dapat dinyatakan. (Isi jurnal menggunakan (Style Isi Jurnal: 10 pt, Line Spacing Single))

**METODE PENELITIAN**

Metode penelitian merupakan prosedur dan teknik penelitian. Antara satu penelitian dengan penelitian yang lain, prosedur dan tekniknya akan berbeda. Kalau tidak berbeda, berarti penelitian itu hanya mengulang penelitian yang sudah ada sebelumnya. Tapi bukan berarti harus berbeda semuanya. Untuk penelitian sosial misalnya, populasi

penelitian mungkin saja sama, tapi teknik samplingnya berbeda, teknik pengumpulan datanya berbeda, analisis datanya berbeda, dan lain.lain. Mohon diuraikan dengan jelas, bukan hanya mengopi dari penelitian lain. Kalau mau disertakan penelitian yang dilakukan termasuk ke dalam kategori penelitian yang mana, mohon diperhatikan dengan baik, jangan asal mengopi. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, tetapi tidak perlu mencantumkan penomorannya.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

Jika menggunakan tabel, maka penulisannya seperti pada tabel 1.

**Tabel 1 Nama Tabel (Style Captiom: 10 pt, Bold, Line Spacing Single, Aligment center, Spacing Before 6 point, Spacing after 6 point)**

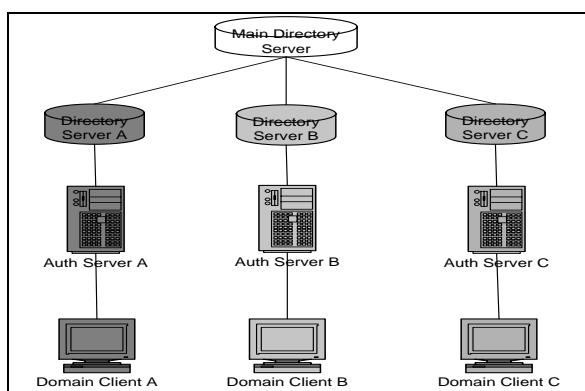
| Kolom 1 | Kolom 2 | Kolom 3 | Kolom 4 |
|---------|---------|---------|---------|
|         |         |         |         |
|         |         |         |         |
|         |         |         |         |

Sumber : xxxxxxxx

<Style normal>

Jika menggunakan gambar, maka penggambarannya dibuat sebagai berikut:

<Style normal>



(Style Posisi Gambar: Line Spacing Single, Aligment center, Spacing Before 12 point)

**Gambar 1 Nama Gambar (Style Caption: 10 pt, Bold, Aligment center, Line Spacing Single, Spacing Before 6 point, Spacing after 6 point)**

Rumus menggunakan (style Rumus: 10 pt, Indentation left 0,63, Line Spacing Single, Spacing after 6 point, Tab stops 7,5 cm Right leader) dengan bentuk sebagai berikut:

$$Y=ax+bx \dots\dots\dots(1)$$

**Citation And Reference List**

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

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

**KESIMPULAN**

Berisikan kesimpulan hasil dari pembahasan.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

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

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Moghal A. A. B., Dafalla M. A., Elkady T. Y., and Al-Shamrani M.A., Lime Leachability Studies on Stabilized Expansive Semi-Arid Soil. International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 18, 2015, pp.1467-1471.
- [2] Awal A.S.M.A, Hosseini H. and Hossain M.Z., Strength, Modulus of Elasticity and Shrinkage Behaviour of Concrete Containing Waste Carpet Fiber, International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 17, 2015, pp. 1441-1446.
- [3] Hossain M.Z., For Chapter in a Book, Soil Mechics, 4th ed. Vol. 2, Sakai, Ed. Sankeisha Publisher's Name, Year, pp. 11-60.
- [4] Author H., A Book New York Publisher, Year, pp.1-200.
- [5] Annnn B., Unpublished Work but Accepted, Vol., Issue, Year.
- [6] Kimura S., Journal Paper Title, J. of Computer Science, Vol. 1, Issue 2, 1987, pp. 23-49.
- [7] Islam M.R., Conference proceedings, in Proc. 2nd Int. Conf. on GEOMATE, 2011, pp. 8-13.
- [8] Hossain M.Z. and Awal A.S.M.A., Experimental Validation of a Theoretical Model for Flexural Modulus of Elasticity of Thin Cement Composite, Const. Build. Mat., Vol.25, No.3, 2011, pp.1460-1465.