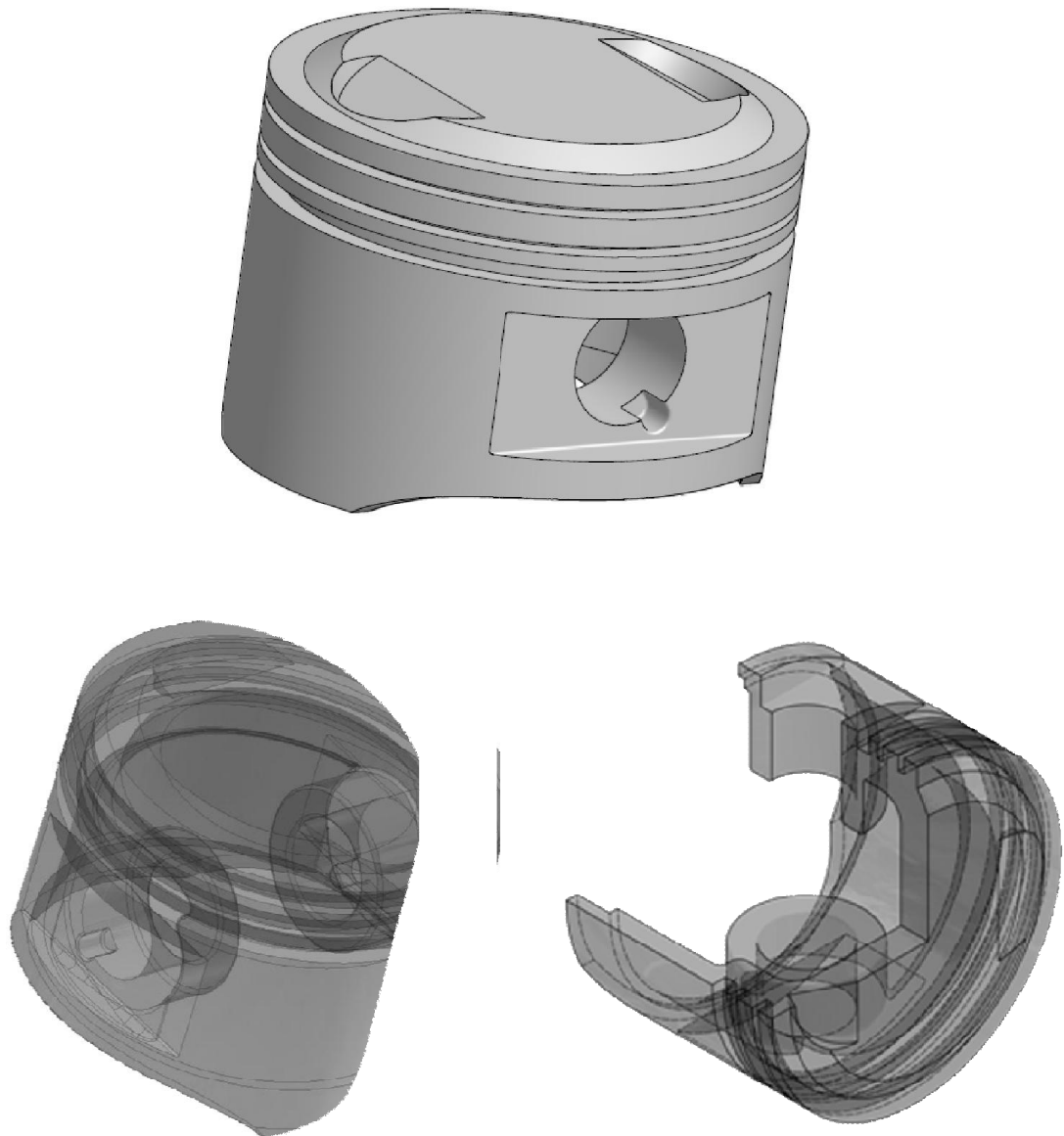


JURNAL ENERGI DAN MANUFAKTUR



JURNAL ENERGI DAN MANUFAKTUR

DEWAN REDAKSI

Ketua Penyunting : Prof. Dr. Tjokorda Gde Tirta Nindhia, ST, MT.

Penyunting Ahli :

Prof. Dr. Ir. I GB Wijaya K.	(Unud)
Prof. Dr. Ir. I NG Antara, MEng.	(Unud)
Prof. Dr. TG Tirta N, ST, MT.	(Unud)
I N Suprpta Winaya, ST, MASc, PhD.	(Unud)
Dr.Eng. Made Sucipta,ST.,MT	(Unud)
I Made Widiyarta,ST.,MEng.Sc.Phd	(Unud)
Ir. Ngakan Putu Gede Suardana,MT.,PhD	(Unud)
Dr. Ir. I Wayan Surata, M Erg	(Unud)
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, MEng.	(ITS)
Prof. Ir. I N Sutantra, MSc, PhD.	(ITS)
Prof. Dr. Ir. I NG.Wardana, MEng.	(UB)
Dr. Ir. Suhanan, DEA.	(UGM)
Dr. Ir. Yanuar, MEng, MSc.	(UI)
Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyudi S, DEA.	(UI)
Ir. I GN Wiratmaja Puja, MSME, PhD.	(ITB)
Dr. Ir. Dipl.Ing. Berkah Fajar TK.	(Undip)
Prof. Dr. Ing. Ir. Harwin Saptoadi, MSE.	(UGM)

Penyunting Pelaksana :

I Ketut Adi Atmika, ST., MT.
I Made Astika, ST., MErg, MT.
DNK. Putra Negara, ST, MSc.
IGK. Sukadana, ST., MT.
AAIA. Sri Komala Dewi, ST., MT.
Dr. Wayan Nata Septiadi, ST., MT.
I Gede Teddy Prananda Surya, ST.,MT

Alamat Redaksi : Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung – Bali. 80362
Telp./ Fax. : 0361 703321
e-mail : jem.jurnal@yahoo.com
jem.jurnal@gmail.com

Kata Pengantar

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Energi dan Manufaktur Volume 8 Nomor 1 pada bulan April 2015 ini, yang merupakan kelanjutan Jurnal Ilmiah Teknik Mesin *CakraM*, Fakultas Teknik Universitas Udayana. Penerbitan jurnal ini bertujuan menyediakan media publikasi untuk hasil-hasil penelitian maupun kajian aplikasi dibidang Teknik Mesin, baik untuk penelitian kalangan internal maupun eksternal kampus Universitas Udayana. Kami harap dapat lebih memperluas pengenalan dan interaksi dengan para peneliti dari institusi pendidikan maupun peneliti dan mengundang partisipasi penulis laporan/makalah penelitian dari luar Universitas Udayana lebih banyak lagi.

Dewan redaksi mengucapkan terima kasih atas dukungan dan motivasi dari rekan-rekan di kampus serta pimpinan jurusan dalam merealisasikan terbitnya jurnal ini. Dewan redaksi juga menyampaikan terima kasih atas partisipasi rekan-rekan peneliti, terlebih untuk partisipan dari luar Universitas Udayana yang telah mengirimkan naskahnya untuk dipublikasikan melalui Jurnal Energi dan Manufaktur Teknik Mesin Universitas Udayana. Dalam Volume 8, Nomor 1, April 2015 ini disajikan enam belas artikel.

Akhirnya dewan redaksi berharap semoga artikel-artikel dalam jurnal ini bermanfaat bagi pembaca dan memperkuat semangat untuk ikut dalam mengembangkan ilmu dan teknologi terutama dibidang Teknik Mesin. Kami tunggu naskah-naskah untuk penerbitan berikutnya.

Dewan Redaksi

Daftar Isi

Optimasi Kondisi Pemesinan untuk Kekasaran Permukaan pada proses <i>Slot Milling</i> Baja Tahan Karat AISI 304 (Amrifan Saladin Mohruni, Erna Yuliwati, Redy Kholif Muhrobin)	1
Pendekatan Baru Penentuan Kemudahan Proses μ -EDM dengan menggunakan analisis dimensional teorema buckingham π (Nidia Lestari, Muslim Mahardika)	9
Aspek Keselamatan Kerja pada Proses Pembentukan Batu Permata menggunakan Mesin Gerinda (Anom Santiana, M. Yusuf)	15
Meningkatkan Pendapatan Masyarakat dengan Mesin Pencacah Sampah Plastik (I Gede Putu Agus Suryawan, Cok Istri P. Kusuma Kencanawati, I Made Widiyarta)	21
Kajian Esperimental Parameter Modal Massa Raket Tennis dengan Tumpuan Bebas-bebas (Deli Usman, Mulyadi Bur, Meifal Rusli)	27
Reduksi Suara Lengkingan pada Struktur Cakram dengan Beban Gesek melalui penambahan Massa (Muchlisinalahuddin, Meifal Rusli, Mulyadi Bur)	35
<i>Drag Reduction</i> Suspensi Bakteri Selulosa pada Aliran <i>Crude Oil</i> dalam Pipa Spiral (Yanuar, Kurniawan, Rendi, Habib, Edwin, Vaul)	45
Distribusi Kekerasan dan <i>Total Case Depth</i> Baja Karbon Rendah setelah proses <i>Pack Carburizing</i> (Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Ketut Gede Sugita, IGN Arimbawa)	53
Mekanisme Aus Baja Karbon AISI 1065 pada permukaan Kontak Basah akibat Beban Kontak Gelinding-Luncur (I Made Widiyarta, I Made Parwata, I Made Gatot Karohika, I Putu Lokantara, Made Arie Satryawan)	57
Karakteristik Traksi Sepeda Motor dengan <i>Continuouse Variabel Transmission System</i> (I Ketut Adi Atmika, I Dewa Gede Ary Subagia)	63
Kekuatan Lentur Komposit Polyester berpenguat Serat Tapis Kelapa (I Made Astika, I Gusti Komang Dwijana)	71
Studi Kemampuan Tanaman Rumah dalam Penyerapan Panas Matahari untuk mengatasi Panas Lokal (Ahmad Syuhada, Dharma Dawood)	79
Kaji Eksperimental Penurunan Tekanan Air dalam Liter Pasir Aktif (Toto Supriyono, Herry Sonawan, Rizal A. P)	87
Analisis Performa Refrigeran R 290 pada Sistem AC yang menggunakan <i>Accumulator Heat Exchanger</i> (Ega Taqwali Berman, Syamsuri Hasan)	95
Optimasi Derajat kebebasan <i>Redundant</i> mekanisme Pararel <i>Spherical</i> 3-URU untuk Optimalisasi Kekakuan Kinematik (Sepriyanto, Syamsul Huda, Lovely Son, Mulyadi Bur)	99
Potensi Biogas dari Substrat Bio-Limbah Perhotelan (I Nyoman Suprpta Winaya, I Gusti Ngurah Putu Tenaya, I Made Agus Putrawan)	107

Optimasi Kondisi Pemessinan untuk Kekasaran Permukaan pada Proses *Slot Milling* Baja Tahan Karat AISI 304

Amrifan Saladin Mohruni^{1)*}, Erna Yuliwati²⁾, Redy Kholif Muhrobin¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan-Indonesia.

²⁾Jurusan Teknik Industri, Universitas Bina Darma, Sumatera Selatan-Indonesia.

Email: mohrunias@yahoo.com, mohrunias@unsri.ac.id

Abstrak

Dalam *slot milling* beberapa parameter berkontribusi penting untuk mencapai kekasaran permukaan benda kerja yang sesuai dengan kebutuhan. Diantara parameter-parameter tersebut adalah kecepatan potong dan laju pemakanan, yang untuk pencarian parameter kondisi pemessinan yang optimum sangat diperlukan. Dalam rangka pencarian kondisi pemessinan yang optimum perlu dibuat model matematis empirik yang dapat menggambarkan hubungan antara parameter-parameter tersebut. Pada penelitian ini pembuatan model matematik empirik dilakukan menggunakan metodologi permukaan respon (*Response Surface Methodology*) pada sebuah plat *stainless steel* AISI 304 dengan dimensi adalah 150 mm x 100 mm x 10 mm. Dari hasil optimasi diperoleh bahwa kecepatan potong dan laju pemakanan yang menghasilkan respon $R_a 0,510 \mu\text{m}$ yang optimal berturut-turut adalah 30 m/min dan 0,15 mm/tooth. Sementara itu, nilai R_a yang terbesar yang diperoleh dalam pengujian ini adalah 4,783 μm .

Kata kunci: optimasi, *slot milling*, *stainless steel* AISI 304, response surface methodology

Abstract

In slot milling, some parameters give important contribution to achieve required surface roughness of work pieces. These parameters are cutting speed and feed rate, which are required for finding of the optimum cutting conditions. In order to find this optimum cutting condition, it is necessity to generate the empirical mathematical model, which figured out the relationship among the involved parameters. In this study, the response surface methodology (RSM) was used in constructing of empirical mathematical models on stainless steels AISI 304 (150 mm x 100 mm x 10 mm). The optimized surface roughness $R_a 0,510 \mu\text{m}$ was resulted using cutting speed and feed rate 30 mm/min and 0,15 mm/tooth respectively. In contrary, the maximum surface roughness R_a achieved is 4,783 μm .

Keywords: optimization, slot milling, stainless steel AISI 304, response surface methodology

1. PENDAHULUAN

Mesin perkakas adalah suatu alat atau mesin dimana energi yang diberikan dipergunakan untuk mendeformasikan dan selanjutnya memotong material kedalam bentuk dan ukuran produk sesuai dengan yang dikehendaki. Dalam proses pemotongan ini mesin diberi alat bantu potong yang dinamakan "pahat potong". Berdasarkan sistem kerja dan cara pengoperasiannya mesin perkakas dapat dibedakan menjadi tiga yaitu : (1) mesin perkakas konvensional; (2) mesin perkakas non konvensional; (3) mesin perkakas NC (numerical control). Berdasarkan penelitian sebelumnya banyaknya parameter dan hubungan antar parameter terkait proses milling yang telah diteliti. A.M Ramos, et.al. melakukan studi dan analisa kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan tiga macam strategi milling yang berbeda yaitu tipe radial, raster dan 3D offset untuk komponen yang mengandung geometri kompleks seperti bentuk cembung dan cekung [1]. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa ketiga strategi pemessinan menghasilkan kekasaran yang berbeda dan tipe 3D offset adalah yang paling cocok untuk pemessinan yang mengandung geometri kompleks.

Wang M.Y., et.al. menyimpulkan hasil penelitian bahwa untuk kondisi tanpa cairan pendingin, kekasaran permukaan sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong, kecepatan makan dan geometri pahat [2]. Sedangkan untuk kondisi dengan cairan pendingin factor yang sangat berpengaruh

* Penulis korespondensi, HP: 0711515583
Email: mohrunias@yahoo.com

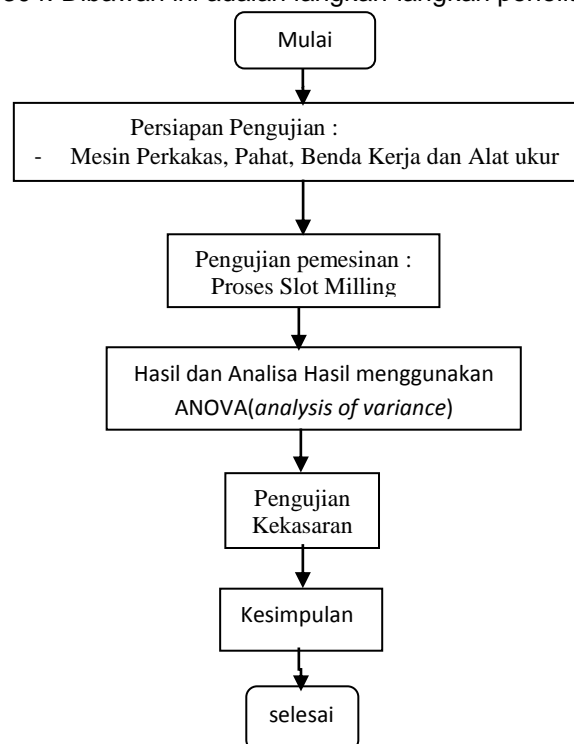
terhadap kekasaran permukaan adalah kecepatan makan dan geometri pahat. Proses dengan cairan pendingin juga menghasilkan permukaan lebih halus dibandingkan tanpa menggunakannya. Bernardos P.G. et.al. berdasarkan *Taguchi Design Of Experiments* dan *Artificial Neural Networks* didapatkan bahwa factor yang sangat berpengaruh adalah kecepatan makan, gaya potong, kedalaman potong dan penggunaan cairan pendingin [3]. Sementara itu, Chang C.K., et.al. dengan menggunakan *different polynomial networks*, menyimpulkan bahwa parameter yang paling mempengaruhi kekasaran permukaan adalah kecepatan potong, kecepatan makan tiap gigi dan keausan pahat [4].

Göloğlu C., et.al. menggunakan *Genetic Programming* untuk memprediksi pengaruh dari beberapa parameter pemesinan menyatakan bahwa selain parameter pemesinan, pergeseran pahat juga mempengaruhi kekasaran permukaan dari pemesinan milling [5]. Dari hasil studi literatur yang sudah ada, pada penelitian iniditeliti beberapa parameter proses penting yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Parameter proses yang divariasikan pada penelitian ini adalah kecepatan pemotongan (V_c) dan gerak makan pergigi (f_z). Kedalaman potong yang digunakan seragam yaitu 1 mm. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan model matematis yang dapat menggambarkan hubungan antara cutting speed dan feed per tooth dengan kekasaran permukaan. Selanjutnya, tujuan berikutnya adalah mencari kombinasi pengaturan cutting speed dan feed per tooth yang menghasilkan kekasaran permukaan yang terbaik melalui optimasi.

Proses optimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Response Surface Model (RSM)* melalui *Analysis of Variance (ANOVA)* dengan menggunakan software *Design Expert Versi 8.07* untuk mencari hubungan antara parameter pemotongan dengan kekasaran permukaan.

2. PROSEDUR EKSPERIMEN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pemesinan (*cutting speed* dan *feed per tooth*) terhadap kekasaran permukaan pada proses *slot milling* pada material *stainless steel* AISI 304. Dibawah ini adalah langkah-langkah penelitian yang dilakukan.



Gambar 1 Langkah – langkah pelaksanaan pengujian yang dilakukan.

Guna meningkatkan akurasi hasil penelitian pengujian *slot milling*, pengujian menggunakan Mesin Freis Vertikal Chevalier Falcon 2552 VMC dengan Control Fanuc Series 18-MC yang bertempat di PT. Pupuk Sriwidjaja. Sedangkan untuk pengujian kekasaran permukaan hasil pengujian *slot milling* tersebut dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya.

Material yang digunakan untuk pengujian *slot milling* adalah plat *Stainless Steel AISI 304* dengan komposisi: (C=0,02%, Si=0,32%, Mn=1,31%, P=0,30% , Mo=2,03%, S=0,20%, Ni=12,17%, Cr=16,38%). Sedangkan *mechanical* propertinya adalah: (*yield strength* = 206 N/mm², *tensile strength*= 520 N/mm², *Hardenes*; 187 HB). Dimensi benda kerja 10 mm x 100 mm x 150 mm.

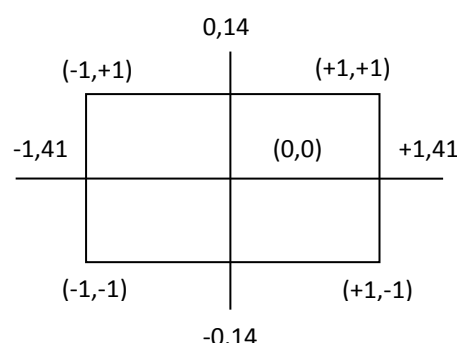
Untuk alat uji kekasaran permukaan menggunakan *Surftest* dengan kecermatan 0,1 μm . Pengujian kekasaran dilakukan pada setiap permukaan *slot* diukur pada bagian *entry* dan *Exit*-nya.

Pahat yang digunakan dalam pengujian ini adalah pahat HSS *End Mill 2 flutes* produk EDS 12 buah dengan diameter 10 mm. komposisi kimia dari pahat tersebut adalah: (V=1.51%, Cr=3.87%, Mn=0.52%, Fe=74.8%, Co=6.87, Ni=0.96, Mo=6.08%, W=4.72%). Dalam pengujian ini dilakukan proses *slot milling* sebanyak 12 kali pengujian. Masing-masing pengujian menggunakan satu pahat diameter 10 mm yang baru.. Sisi atas dan bawah benda kerja masing-masing mendapat 6 pengujian *slot milling* dengan kedalaman potong 1 mm. *Cutting condition* yang digunakan adalah sebagai berikut:

STD	Vc	fz	N (rpm)	Vf (mm/min)
1	10	0.05	318	31
2	30	0.05	955	95
3	10	0.15	318	95
4	30	0.15	955	286
5	5.86	0.1	187	37
6	34.14	0.1	1087	217
7	20	0.03	637	38
8	20	0.17	637	216
9	20	0.1	637	127
10	20	0.1	637	127
11	20	0.1	637	127
12	20	0.1	637	127

Untuk pemilihan *cutting speed* dan *feed per tooth* menggunakan nilai yang memiliki batasan tertentu. Dalam hal ini nilai minimum (diberi tanda -1) yang dipilih untuk *cutting speed* adalah 10 dan nilai maksimumnya (diberi tanda +1) adalah 30. Sedangkan untuk pemilihan *feed per tooth* nilai minimumnya adalah 0,05 dan nilai maksimumnya adalah 0,15. Nilai dalam batasan tersebut digunakan sebagai parameter pemotongan (*cutting condition*) untuk pengujian nomer 1 – 4.

Untuk pemilihan *cutting condition* nomer 5 - 8 dipilih nilai-nilai diluar batasan yang ada dengan *range* tertentu, yaitu untuk *cutting speed* sebesar 4,14 (5,86 dan 34,14), sedangkan *range* untuk *feed per tooth* sebesar 0,02 (0,03 dan 0,17). Untuk pemilihan *cutting condition* nomer 9 – 12 dipilih nilai tengah dari batasan sebanyak 4 kali guna mendapatkan nilai *error* dari hasil pengujian.



Gambar 2 Batasan-batasan dalam pemilihan *cutting condition* pengujian.

Langkah optimasi dilakukan dengan menggunakan ANOVA (*analysis of variance*) dengan metode *Response Surface Quadratic Model (RSQM)* berbantuan *software Design Expert Versi 8.07* untuk menemukan harga *Ra* yang minimum dan pemodelan matematika. Persamaan matematika dan simbol harus terketik. Harus dapat dibedakan antara angka satu (1) dan huruf l serta antara angka nol (0) dan huruf O. Persamaan harus diberi nomor urut dalam tanda kurung yang diletakkan di sisi kanan dari persamaan tersebut. Satuan yang digunakan dalam naskah adalah Sistem Satuan Internasional (SI). Jika satuan lain harus digunakan, maka satuan SI juga harus dicantumkan dalam tanda kurung. Tidak ada aturan khusus dalam penggunaan simbol-simbol yang sudah umum digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *slot milling* diukur kekasarannya menggunakan alat TR 200 Qualitest dengan standar pengujian ISO sepanjang 3,2 mm pengujian. Dari hasil pengujian kekasaran didapat nilai kekasaran permukaan masing-masing *slot* pada bagian *Entry* dan *Exit* seperti tabel 2.

Metode analisa menggunakan ANOVA. ANOVA (*analysis of variance*) adalah analisa berbasis statistik, dengan tujuan pengambilan keputusan parameter pemotongan untuk mendeteksi setiap perbedaan dalam rata-rata performa parameter pengujian dan juga meringkas hasil pengujian. Hasil dari ANOVA dan statistik kasus adalah pembelajaran kedepan untuk analisis dan interpretasi. ANOVA untuk analisa kekasaran permukaan (*Ra*) *Entry* dan *Exit* dari proses *slot milling* pada material *stainless steel* setelah ditranformasikan kedalam *Box-Cox Plot* (State-Ease, Inc, 2000) untuk analisa *Response Surface Quadratic Model (RSQM)*.

Tabel 2 Hasil Pengujian

STD	Parameter Kekasaran							
	Ra Entry (µm)				Ra Exit (µm)			
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
1	0.641	0.703	0.521	0.622	0.623	0.614	0.585	0.607
2	1.759	2.099	2.634	2.164	0.503	0.631	0.396	0.51
3	4.183	5.637	4.531	4.783	3.332	4.175	3.125	3.544
4	1.171	1.351	1.2	1.241	1.282	1.309	1.043	1.211
5	1.794	2.125	1.933	2.951	3.599	3.872	3.632	3.701
6	1.375	1.304	1.302	1.327	1.386	1.379	1.393	1.386
7	0.904	1.321	1.389	1.205	0.579	0.545	0.548	0.557
8	1.39	1.604	1.611	1.535	1.512	1.536	1.654	1.567
9	0.849	1.802	1.268	1.306	0.777	0.973	0.836	0.862
10	4.114	4.877	4.21	4.4	3.098	3.404	2.589	3.03
11	3.16	3.726	2.986	3.291	2.527	2.812	2.39	2.576
12	2.621	2.831	2.586	2.646	2.085	2.22	1.945	2.083

Tabel 3 ANOVA untuk Ra Entry (*response 1*)

Source	Sum Of Squares	df	Mean square	F Value	p-value Prob > F
Model	10.49	3	3.50	3.01	0.0945 <i>not significant</i>
A-Speed V	2.31	1	2.31	1.99	0.1963
B-Feed	1.72	1	1.72	1.48	0.2588
AB	6.46	1	6.46	5.57	0.0460
Residual	9.29	8	1.16		
Lack of Fit	4.28	5	0.86	0.51	0.7600 <i>not significant</i>
Pure Error	5.01	3	1.67		
Cor Total	19.77	11			
Std. Dev.	1.08		R-Squared		0.5302
Mean	2.29		Adj R-Squared		0.3541
C.V. %	47.07		Pred R-Squared		0.2028
PRESS	15.76		Adeq Precision		5.813

Tabel 4 ANOVA untuk Ra Exit quadratic model (response 2)

Source	Sum Of Squares	df	Mean square	F Value	p-value Prob > F
Model	11.39	5	2.28	3.86	0.0653 not significant
A-Speed V	4.07	1	4.07	6.89	0.0393
B-Feed	3.21	1	3.21	5.43	0.0585
AB	1.25	1	1.25	2.12	0.1959
A ²	0.091	1	0.091	0.15	0.7083
B ²	2.47	1	2.47	4.19	0.0867
Residual	3.54	6	0.59		
Lack of Fit	0.92	3	0.31	0.35	0.7926 not significant
Pure Error	2.62	3	0.87		
Cor Total	14.94	11			
Std. Dev.		0.77		R-Squared	0.7628
Mean		1.80		Adj R-Squared	0.5652
C.V. %		42.62		Pred R-Squared	0.2486
PRESS		11.22		Adeq Precision	6.519

Untuk ANOVA Ra Entry, Model F-value bernilai 3,01 menyatakan bahwa 9,45% kesempatan yang ada pada sebuah "Model F-Value", nilai sebesar ini dapat terjadi akibat dari noise. Nilai dari "Prob > F" kurang dari 0,0500 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah signifikan. Dalam kasus AB terminologi model adalah signifikan. Nilai lebih dari 0,1000 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah tidak signifikan. Jika banyak terjadi model yang tidak signifikan (tidak perlu menghitung dengan support hierarchy), pengurangan model mungkin akan memperbaiki model tersebut.

Sebuah "Lack of Fit F-value" pada 0,51 menyatakan sebuah Lack of Fit adalah relatif tidak signifikan untuk sebuah kesalahan murni. Disana terdapat 76.00% kesempatan bahwa sebuah "Lack of Fit F-value" dapat menjadi sebesar itu akibat dari noise. Tidak signifikan lack of fit adalah baik (hasil model yang seharusnya)

Sebuah "Pred R-Squared" pada 0.2028 adalah sesuai dengan "Adj R-Squared" pada 0.3541. "Adeq Precision" adalah ukuran untuk rasio kekeliruan. Sebuah rasio lebih dari 4 adalah dibutuhkan. Rasio yang terjadi adalah 5,813, ini mengindikasikan rasio telah cukup memadai. Model ini dapat digunakan untuk mengatur design space.

Sedangkan untuk ANOVA Ra Exit, Model F-value bernilai 3,86 menyatakan 6,53% kesempatan yang ada pada sebuah "Model F-Value", nilai sebesar ini dapat terjadi akibat dari noise. Nilai dari "Prob > F" kurang dari 0,0500 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah signifikan. Dalam kasus A, terminologi model adalah signifikan. Nilai lebih dari 0,1000 mengindikasikan bahwa terminologi model adalah tidak signifikan.

Jika terdapat banyak terminologi model yang tidak signifikan, maka tidak membutuhkan perhitungan support hierarchy, mungkin pengurangan model dapat memperbaiki model tersebut.

Pada "Lack of Fit F-value" adalah 0,35 menyatakan bahwa Lack of Fit adalah relatif tidak signifikan dalam kesalahan murni. Disana terdapat 79,26% peluang pada "Lack of Fit F-value", besarnya ini dapat terjadi akibat noise. Tidak signifikan pada lack of fit adalah baik untuk memperbaiki model.

Pada "Pred R-Squared" yaitu 0,2486 adalah tidak menutup kemungkinan untuk sebuah "Adj R-Squared" pada 0,5652 sebagai sebuah hasil normal yang diharapkan. Berbagai hal yang dipertimbangkan diantaranya pengurangan model, transformasi hasil, outliers, dan sebagainya.

"Adeq Precision" mengukur sebuah signal untuk rasio noise. Sebuah rasio yang lebih dari 4 adalah diharapkan. Dalam model ini rasionya adalah 6,519, ini mengindikasikan bahwa rasio noise telah memadai. Model ini dapat digunakan untuk mengarahkan design space.

Tabel 5 Faktor dan level dari design of experiment untuk Ra Entry

Coefficient Factor	Standard Estimate	95% CI df	95% CI Error	Low	High	VIF
Intercept	2.29	1	0.31	1.57	3.01	
A-Speed V	-0.54	1	0.38	-1.42	0.34	1.00
B-Feed	0.46	1	0.38	-0.42	1.34	1.00
AB	-1.27	1	0.54	-2.51	-0.029	1.00

Tabel 6 Faktor dan level dari *design of experiment* untuk Ra Exit

Coefficient Factor	Standard Estimate	95% CI df	95% CI Error	Low	High	VIF
Intercept	2.14	1	0.38	1.20	3.08	
A-Speed V	-0.71	1	0.27	-1.38	-0.048	1.00
B-Feed	0.63	1	0.27	-0.031	1.30	1.00
AB	-0.56	1	0.38	-1.50	0.38	1.00
A ²	0.12	1	0.30	-0.62	0.86	1.04
B ²	-0.62	1	0.30	-1.36	0.12	1.04

Dari tabel diatas didapat persamaan akhir dari kekasaran permukaan hasil pengujian. Persamaan untuk kekasaran permukaan (Ra) Entry adalah :

$$y_1 = -0,54 x_1 + 0,46 x_2 - 1,27 x_1 x_2 + 2,29$$

Persamaan untuk kekasaran permukaan (Ra) Exit adalah :

$$y_2 = 0,12 x_1^2 - 0,62 x_2^2 - 0,71 x_1 + 0,63 x_2 - 0,56 x_1 x_2 + 2,14$$

Dimana : y_1 = Ra Entry; y_2 = Ra Exit; x_1 = Speed V; x_2 = Feed

Tabel dibawah ini menjelaskan batasan maksimum dan minimum dari parameter yang digunakan dalam pengujian ini yang masing-masing memiliki bobot yang sama (1). Nilai kekasaran maksimum dan minimum yang didapat dari pengujian juga dimuat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 7 Constraints Ra Entry

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Goal Importance
A:SpeedV	is in range	10	30	1	1	3
B:Feed	is in range	0.05	0.15	1	1	3
Ra Entry	Minimize	0.622	4.783	1	1	3

Tabel 8 Constraints Ra Exit

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Speed V	is in range	10	30	1	1	3
B:Feed	is in range	0.05	0.15	1	1	3
Ra Entry	Minimize	0.622	4.783	1	1	3
Ra Exit	minimize	0.51	3.701	1	1	3

Tabel 9 Solusi kondisi pemotongan yang ditemukan untuk Ra Entry

Number	Speed V	Feed	Ra Entry	Desirability
1	30.00	0.15	0.944251	0.923 Selected
2	10.00	0.05	1.09225	0.887
3	10.25	0.05	1.11058	0.883

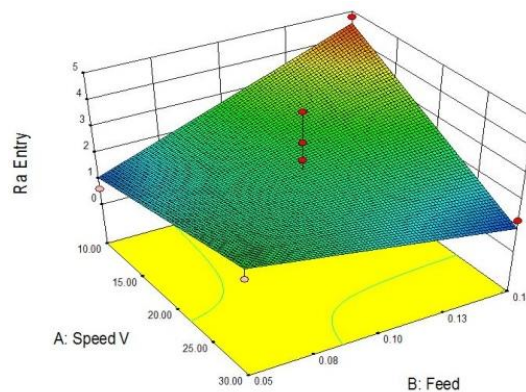
Tabel 10 Solusi kondisi pemotongan yang ditemukan untuk Ra Exit

Number	Speed V	Feed	Ra Entry	Ra Exit	Desirability
1	30.00	0.15	0.944251	0.996681	0.884 Selected
2	10.00	0.05	1.09225	1.15607	0.841
3	30.00	0.13	1.20401	1.30823	0.803
4	22.48	0.05	2.0079	0.852079	0.772

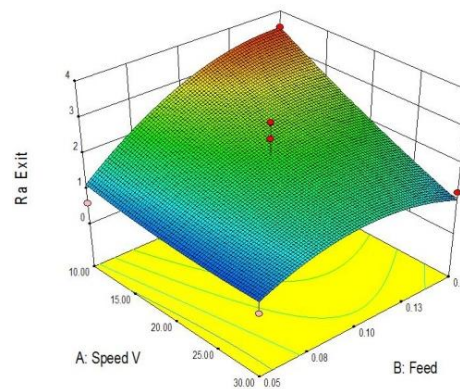
Dari hasil *analysis of variance* (ANOVA) untuk kekasaran permukaan (R_a) Entry dengan menggunakan *software Design Expert* Versi 8.07 menghasilkan tiga solusi kondisi pemotongan. Dari ketiga kondisi pemotongan tersebut terpilih satu kondisi pemotongan yang disarankan, yaitu pada kondisi pemotongan dengan *cutting speed* (V_c) = 30 m/min dan *feed per tooth* (f_z) = 0,15 mm/tooth.

Dari hasil *analysis of variance* (ANOVA) untuk kekasaran permukaan (R_a) Exit dengan menggunakan *software Design Expert* Versi 8.07 menghasilkan empat solusi kondisi pemotongan (Tabel 10). Dari keempat kondisi pemotongan tersebut terpilih satu kondisi pemotongan yang disarankan untuk mendapatkan kualitas kekasaran permukaan terbaik, yaitu pada kondisi pemotongan dengan *cutting speed* (V_c) = 30 m/min dan *feed per tooth* (f_z) = 0,15 mm/tooth. Ini berarti untuk mendapatkan kekasaran permukaan terbaik pada keseluruhan bagian hasil pengujian *slot milling* disarankan untuk menggunakan kondisi pemotongan terpilih, yaitu yaitu pada kondisi pemotongan dengan *cutting speed* (V_c) = 30 m/min dan *feed per tooth* (f_z) = 0,15 mm/tooth.

Analisa melalui gambar 3 dimensi didapat dari *software* ini. Gambar grafik analisa 3 dimensi hasil pengujian kekasaran permukaan Entry dan Exit seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3 Tiga dimensi *surface roughness* Entry terhadap *feed per tooth* dan *cutting speed*.



Gambar 4 Tiga dimensi *surface roughness* Exit terhadap *feed per tooth* dan *cutting speed*

Dari gambar grafik tiga dimensi diatas dapat diketahui seberapa besar pengaruh kondisi pemotongan dengan perpaduan antara *cutting speed* dan *feed per tooth* dalam menghasilkan kekasaran hasil pengujian. Untuk *cutting condition* tertentu juga dapat diprediksi hasil kekasaran permukaannya. Warna dari biru hingga merah *menjelaskan* tingkat kekasaran permukaan yang didapat dari rendah ke tinggi. Grafik tersebut juga menjelaskan dimana kondisi pemotongan yang terbaik untuk mendapatkan kualitas kekasaran permukaan terbaik pada bagian Entry dan Exit permukaan hasil pengujian.

Untuk hasil eksperimen, faktor signifikan yang mempengaruhi kualitas kekasaran permukaan dibahas untuk menentukan hasil terbaik dengan menggunakan parameter pengaturan. Kualitas permukaan hasil proses *slot milling* tergantung pada kecepatan potong, laju pemakanan dan kedalaman potong dalam percobaan ini.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian kekasaran, kinerja mesin optimal untuk nilai kekasaran permukaan diperoleh dengan kecepatan pemotongan (V_c) = 30 m/min, dan gerak makan per gigi (f_z) = 0,15 mm/tooth. Angka-angka persen menggambarkan bahwa kecepatan potong

memiliki efek yang paling signifikan diikuti oleh gerak makan per gigi. Faktor tingkat interaksi antara kecepatan potong dan gerak makan per gigi berkontribusi terhadap nilai-nilai kekasaran permukaan. Ini menandakan bahwa untuk nilai kekasaran permukaan yang baik, tingkat gerak makan per gigi juga harus diperhatikan dalam rangka untuk mencapai kinerja pemrosesan yang terbaik.

Kekasaran permukaan yang buruk biasanya juga disebabkan oleh adanya getaran pada saat proses pemotongan sedang berjalan. Ini biasanya disebabkan oleh pencekam benda kerja yang tidak mencekam dengan baik, atau terlalu jauh dari permukaan yang dimesin yang mengakibatkan material dapat begetar. Kualitas material pahat juga berpengaruh terhadap ketahanan aus pahat pada suhu yang tinggi.

4. SIMPULAN

Penelitian ini telah membuktikan dan mendiskusikan aplikasi dari metode *Design of Experiment* untuk menyelidiki efek dari parameter pemotongan pada kekasaran permukaan dalam proses *slot milling* pada material *stainless steel* AISI 304. Dalam proses *milling*, parameter dipilih dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya. Selain itu, model empiris dari respon pemrosesan seperti kekasaran permukaan akan memberikan kontribusi untuk penelitian selanjutnya. Penelitian ini dapat membantu peneliti lain atau industri di bidang manufaktur. Dari analisis dalam proses *slot milling* menggunakan pendekatan eksperimental desain, dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

- a. Percobaan statistik dirancang berdasarkan *Design of Experiment* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Design Expert* Versi 8.07 untuk menganalisa pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan dalam proses *slot milling stainless steel* AISI 304. Pendekatan ANOVA digunakan untuk analisis data dan menarik beberapa kesimpulan.
- b. Dari penelitian ini dibuktikan bahwa semakin tinggi kecepatan pemotongan (V_c) diiringi dengan semakin rendahnya kecepatan pemakanan (f_z), semakin halus kekasaran permukaan yang dihasilkan. Demikian juga sebaliknya, semakin rendah kecepatan pemotongan (V_c) diiringi dengan semakin tingginya kecepatan pemakanan (f_z), akan semakin kasar permukaan hasil pemrosesan.
- c. Karakteristik kinerja pemrosesan optimal didapat pada kondisi pemrosesan dengan kecepatan potong 30 m/min dan gerak makan per gigi sebesar 0,15 mm/tooth.
- d. Karakteristik kinerja terbaik kualitas kekasaran permukaan diperoleh dengan kecepatan potong tinggi, tingkat pemakanan rendah dan kedalaman potong yang rendah.
- e. Dengan beberapa parameter pemotongan yang dilakukan dalam pengujian ini, kekasaran permukaan berkualitas terbaik yang dapat dicapai adalah sekitar 0,510 μm dan yang paling kasar yang dapat dicapai adalah 4,783 μm .
- f. Kemungkinan faktor penyebab terjadinya kesalahan dalam pengujian ini adalah pada faktor pemrosesan dan kesalahan operator (Kesalahan *Jig* dan *Fixture* dan *set-up* pengujian)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramos A.M., Relvas C., Simoes J.A., "The influence of finishing milling strategies on texture, roughness, and dimensional deviations on the machining of complex surfaces", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 136, No.1-3, pp. 209-216, 2003.
- [2] Wang M.Y., Chang H.Y., "Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 44, No. 1, pp. 51-57, 2004.
- [3] Benardos P.G., Vosniakos G.C., "Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi's design of experiments", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, No.5-6, pp. 343-354, 2002.
- [4] Chang C.K., Lu H.S., "Study on the prediction model of surface roughness for side milling operations", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 29, No. 9-10, pp. 867-878, 2006.
- [5] Göloğlu C., Arslan Y., "Zig-zag Machining Surface Roughness Modelling Using Evolutionary Approach", *IMS'2006: 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Agents and Virtual Worlds*, pp. 734-742, 2006.
- [6] Rochim, T., "Teori dan Teknologi Proses Pemrosesan", Higher Education Development support Project, Jakarta, 1993.
- [7] Suteja, J., Susila Ca, Yudistira A., "Optimasi Proses Pemrosesan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology", *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 10, No. 1, pp.1-7 April 2008.

Pendekatan Baru Penentuan Kemudahan Proses M-EDM dengan Menggunakan Analisis Dimensional Teorema Buckingham π

Nidia Lestari* dan Muslim Mahardika

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
Jalan Grafika No.2 55281, Yogyakarta, Indonesia
Email: nidialestari@gmail.com

Abstrak

Baru-baru ini, kemudahan permesinan benda kerja menggunakan proses Electrical Discharge Machine (EDM) telah ditentukan oleh teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$. Berdasarkan teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ kemudahan proses EDM ditentukan oleh konduktivitas termal (λ), temperatur titik leleh (θ), dan tahanan listrik sebuah material (ρ). Keuntungan menggunakan permesinan EDM adalah ketidakbergantungannya kekerasan sebuah material benda kerja untuk diproses. Namun dari teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ dibutuhkan energy yang berbeda untuk memproses 12 jenis material benda kerja. Studi kasus dari penelitian ini adalah menganalisa secara dimensional Teorema Buckingham π hubungan antara teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ dengan sifat fisik kekerasan sebuah material. Proses EDM tidak terlepas dari efek akibat adanya pemberian tegangan dan kapasitansi yang akibat proses ini terjadinya ionisasi yang menimbulkan stokastik termal. Performa sebuah material dikaitkan dengan titik leleh material tersebut. Pada saat titik leleh sebuah material tercapai maka akan ada gerakan atom, dimana akan menimbulkan dislokasi dan tegangan sisa pada material tersebut. Hasil menunjukkan bahwa ada koefisien korelasi positif antara kekerasan dengan teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ dalam menentukan kemudahan proses EDM dan dengan menggunakan Teorema Buckingham π didapat formula matematika hubungan kekerasan dengan teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$.

Kata kunci: electrical discharge machining; Buckingham π ; teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$, kekerasan

Abstract

More recently, the easy of machining the work piece using the Electrical Discharge Machine (EDM) has been determined by the theory of $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$. Based on the theory of $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ EDM process is determined by the thermal conductivity (λ), melting point temperature (θ), and a material electrical resistivity (ρ). The advantage of using EDM machining is not dependency violence a workpiece material to be processed. But from theory $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ different energy needed to process 12 different types of material objects. Studi case of this study is to analyze Buckingham π Theorem dimensional relationship between theory $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ with the physical properties of a material hardness. EDM process can't be separated from the effects of the provision of the voltage and capacitance as a result of this process that raises the stochastic thermal ionization. The performance of a material associated with the melting point of the material. By the time the material's melting point is reached there will be a movement of atoms, which would lead to dislocation and residual stresses in the material. Results showed that there is a positif coefficient corelation between violence with the theory of $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ in determine the EDM process and Buckingham π theorem by using a mathematical formula derived violent relationship with the theory of $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$.

Keywords: electrical discharge machining; Buckingham π ; teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$, violence

1. PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi terhadap industri menuntut para ilmuwan mencari karakteristik material baru yang sesuai dengan kebutuhan. Dengan ditemukan material baru, secara bersamaan perlu dikembangkan teknologi dalam pengerjaan (machining procces) sebuah raw material menjadi sebuah bentuk yang diinginkan.

Electrical Discharge Machining (EDM) telah berkembang pada tahun 1943. EDM terkenal dalam hal kemampuannya untuk membuat bentuk kompleks pada logam-logam yang sangat keras. Penggunaan yang umum untuk Mesin EDM adalah dalam pembuatan dies perkakas potong dan cetakan (molds) yang terbuat dari baja yang telah dikeraskan, tungsten carbide, high speed steel, dan material lain. Mesin EDM juga dapat memproses ukuran produk yang sangat kecil (micro machining)

* Penulis korespondensi, Hp: +62274521673
Email: nidialestari@gmail.com

yang tidak mungkin dikerjakan dengan metode konvensional. Removal material benda kerja dilakukan oleh loncatan bunga api (spark). Material removal rate-nya sekitar 0.3 cm³/min dengan overcut 0,020 mm sampai 0,63 mm. Proses permesinan non-konvensional ini tidak ada kontak langsung antara pahat dengan benda kerja, sehingga keausan pahat jadi sangat kecil.

EDM merupakan suatu proses permesinan non-konvensional di mana pelepasan material terjadi karena adanya loncatan listrik yang melalui tool electrode ke benda kerja melalui cairan dielektrik. Keuntungan dari EDM adalah ketidakbergantungnya kekerasan sebuah material benda kerja untuk diproses. Semua material dapat di machining selama material tersebut bersifat konduktor, seperti: baja, baja paduan, grafit, material keramik [1,2]. Berdasarkan teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ kemudahan proses EDM ditentukan oleh konduktivitas termal (λ), temperatur titik leleh (θ), dan tahanan listrik sebuah material (ρ) [2]. Teori ini lebih baik daripada teori sebelumnya yaitu teori $\lambda \cdot \theta$ [3-6].

Studi kasus dari penelitian ini adalah menganalisa secara dimensional hubungan antara teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ dengan sifat fisik kekerasan sebuah material. Relaxation circuit dari proses EDM tidak terlepas dari efek akibat adanya pemberian tegangan dan kapasitansi yang akibat proses ini terjadinya ionisasi yang menimbulkan stokastik termal. Performa sebuah material dikaitkan dengan titik leleh material tersebut. Pada saat titik leleh sebuah material tercapai maka akan ada gerakan atom, di mana akan menimbulkan dislokasi dan tegangan sisa pada material tersebut [7]. Ini akan mengarah pada keterkaitan kekerasan dalam menentukan kemudahan proses EDM.

2. METODE

Dalam penelitian yang dilakukan oleh M. Mahardika, T. Tsujimoto, K. Mitsui [2], ada 12 jenis material yang digunakan: aluminium (AL), brass (Br), cooper (Cu), steel (Fe), molybdenum (Mo), nickel (Ni), platinum (Pt), silver (Ag), stainless steel (SS), tantalum (Ta), Titanium (Ti), tungsten (W). Diameter benda kerja 300 μ m. Tungsten-silver (Ag-W) dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 1,2 mm sebagai tool electrode nya. Ag-W digunakan karena ketahanan dan banyak digunakan di industri. Melting point nya 3683 K, thermal conductivity 160 W/m.K dan electrical resistivity 3.52×10^{-6} ohm.cm. Kedalaman potong permesinan 100 μ m, dengan tegangan 110 V, kapasitansi 3300 pf dan feed rate 5 μ m/s.

Teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ digunakan dalam menentukan sulit atau mudahnya suatu material diproses dengan EDM dan energy yang digunakan dalam memproses benda kerja dinyatakan dalam hubungan:

$$E \approx \lambda \cdot \theta \cdot \rho \quad (1)$$

semakin kecil hasil nilai $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ suatu material maka semakin kecil energy yang dibutuhkan untuk memproses material tersebut.

Tabel 1 Kemudahan permesinan dari 12 material berbeda berdasarkan teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$

No	Material	λ (W/mK)	θ (K)	ρ (Ω cm)	$\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ (W Ω)
1	Al (aluminum)	210	934	2.30E-06	4.51E-03
2	Ag (silver)	419	1235	1.55E-06	8.02E-03
3	Br (brass)	109	1173	7.00E-06	8.95E-03
4	Cu (copper)	401	1356	1.70E-06	9.24E-03
5	Ni (nickel)	60.7	1728	1.10E-05	1.15E-02
6	Fe (steel)	76.2	1808	9.70E-06	1.34E-02
7	Pt (platinum)	69.1	2042	1.06E-05	1.50E-02
8	Ti (titanium)	17	1943	5.54E-05	1.83E-02
9	SS (stainless steel)	16	1694	7.20E-05	1.95E-02
10	Ta (tantalum)	54.4	3269	1.25E-05	2.22E-02
11	Mo (molybdenum)	138	2890	5.70E-06	2.27E-02
12	W (tungsten)	163.3	3643	5.65E-06	3.36E-02

Teorema Buckingham π merupakan salah satu cara menghasilkan parameter berdimensi. Dengan melakukan analisis dimensional. Sebuah basis untuk ruang vektor yang diberikan simbol dimensi disebut satu set unit fundamental atau dimensi mendasar. Dimensi mendasar seperti M, L, dan T.

$$M^i L^j T^k \quad (2)$$

Persamaan (2) merupakan contoh dimensi sesuai dengan vektor (i, j, k). Ketika dijumlah, dikalikan atau dibagi dengan yang lain, unit dimensi mereka juga dikalikan atau dibagi, hal ini sesuai dengan penambahan atau pengurangan dalam ruang vektor.

Masing-masing parameter $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ didefinisikan terlebih dahulu dalam bentuk dimensi dasar. Perhitungan λ ditentukan oleh

$$\lambda = \alpha \cdot C_p \cdot d \quad (3)$$

dimana α merupakan thermal diffusion coefficient, c_p merupakan heat capacity, dan d merupakan density. Dimensi dasar masing-masing variabel pada parameter λ adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{L^2}{T} \quad (4)$$

$$c_p = \frac{L^2}{T^2 \theta} \quad (5)$$

$$d = \frac{M}{L^3} \quad (6)$$

Sedangkan dimensi dasar θ dan ρ adalah

$$\theta = T \quad (7)$$

$$\rho = \frac{ML^3}{T^3 I^2} \quad (8)$$

Untuk melihat keterkaitan kekerasan dengan teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$, kekerasan (H_v) pun harus didefinisikan dimensi dasarnya.

$$H_v = \frac{M}{LT^2} \quad (9)$$

Selanjutnya dimensional dasar dari variabel-variabel di atas dimasukkan dalam matriks dimensional dengan ketentuan variabel fisik sebagai kolom, dan dimensi dasar sebagai baris, seperti terlihat pada persamaan (9)

$$M = \begin{bmatrix} +1 & 0 & 0 & +1 & +2 & 0 \\ -1 & +2 & +2 & -3 & +2 & 0 \\ -2 & -1 & -2 & 0 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Sehingga, konstanta dimensional dari teorema Burckingham π nantinya didapat dalam bentuk

$$\pi = H_v^{a_1} \alpha^{a_2} c_p^{a_3} d^{a_4} \rho^{a_5} \theta^{a_6} \quad (11)$$

Untuk mendapatkan vector

$$a = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6] \quad (12)$$

dibutuhkan produk matrik M atas hasil vektor nol. Dalam aljabar linear, vektor ini dikenal sebagai Kernel dari matriks dimensi. Matrik Kernel berupa $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6) \in R^6$ di mana:

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Matrik M dieliminasi dengan metoda Gauss-Jordan sehingga didapat matrik *reduced row echelon form*:

$$\left[\begin{array}{cccccc|c} +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & +1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 \end{array} \right] = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Dari persamaan (14) nilai vektor a adalah

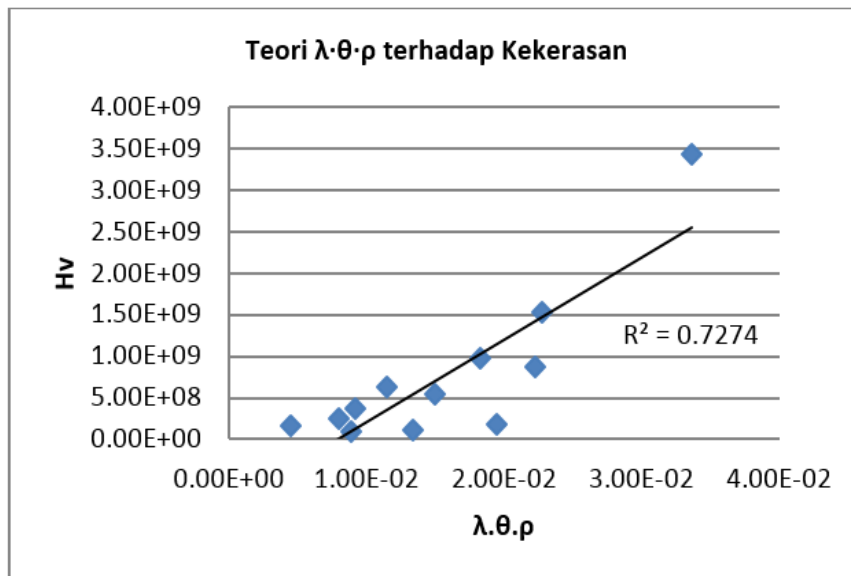
$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Sehingga persamaan (11) menjadi

$$\pi = H\nu^{-1} \alpha^0 c_p^{-1} d^1 \rho^0 \theta^1 \quad (16)$$

Tabel 2 Data kekerasan 12 material berdasarkan urutan

No	Material	$\lambda.\theta.p$ (W Ω)	Hv (pa)
1	Al (aluminum)	4.51E-03	1.67E+08
2	Ag (silver)	8.02E-03	2.51E+08
3	Br (brass)	8.95E-03	9.10E+07
4	Cu (copper)	9.24E-03	3.69E+08
5	Ni (nickel)	1.15E-02	6.38E+08
6	Fe (steel)	1.34E-02	1.20E+08
7	Pt (platinum)	1.50E-02	5.49E+08
8	Ti (titanium)	1.83E-02	9.70E+08
9	SS (stainless steel)	1.95E-02	1.80E+08
10	Ta (tantalum)	2.22E-02	8.73E+08
11	Mo (molybdenum)	2.27E-02	1.53E+09
12	W (tungsten)	3.36E-02	3.43E+09



Gambar 1 Kekerasan dari material benda kerja yang berbeda berdasarkan teori

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari analisa dimensional yang telah dilakukan, diketahui bahwa ada beberapa variabel yang menghubungkan antara Teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ dengan kekerasan, yaitu heat capacity, density, dan melting point dari sebuah material. Logam yang memiliki titik leleh tinggi, kekuatan ikatan logamnya lebih kuat dan laju keausannya pun rendah [7] dan tentunya berkaitan erat dengan metallic bonding sebagai bentuk pengaruh dari density sebuah material.

Jika salah satu dari 12 material tersebut dijadikan sebagai tool electrode-nya, maka dengan mengetahui nilai koefisien korelasi antara kekerasan dengan teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$, efisiensi permesinan dengan EDM dapat tercapai. Seperti dalam menentukan kedalaman potong pada saat permesinan. Menggunakan Cu sebagai tool electrode-nya tidak akan jauh meleset dari pengaturan awal kedalaman potong dibandingkan jika menggunakan Al. Hal ini disebabkan karena Cu lebih keras dari pada Al. Dengan kata lain laju keausan Al lebih tinggi dibandingkan Cu.

4. SIMPULAN

Perlu adanya tambahan variabel lain dalam menganalisa hubungan kekerasan dengan Teori $\lambda \cdot \theta \cdot \rho$ agar diperoleh formula matematika yang lebih tepat. Sehingga dapat memberikan sumbangan ilmu kepada industri yang menggunakan EDM. Dengan mengetahui nilai kekerasan material baik itu sebagai benda kerja maupun tool electrode, laju keausan material tersebut dapat diprediksi yang akan berdampak pada keefisienan waktu dalam memasukan nilai parameter pemotongan..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ho KH, Newman ST, International Journal of Machine Tools and Manufacture 43:1287-1300, 2003.
- [2] Mahardika M, Tsujimoto T, Mitsui K, *A new approach on the determination of ease of machining by EDM processes*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 48:746–760, 2008.
- [3] Mohri N, Fukusima Y, Fukuzawa Y, Tani T, Saito N, *Layer generation process on work-piece in electrical discharge machining*, Annals of the CIRP 52(1):157–160, 2003.
- [4] Mohri N, Fukuzawa Y, Tani T, Sata T, *Some considerations to machining characteristics of insulating ceramics*, Annals of the CIRP 51(1):161–164, 2002.
- [5] Mohri N, Suzuki M, Furuya M, Saito N, *Electrode wear process in electrical discharge machining*, Annals of the CIRP 44(1):165–168, 1995.

- [6] Berghausen PE, Brettschneider HD, Davis MF, *Electrodischarge Machining Program*, The Cincinnati milling machine Co., Document AD0423199 for the US Department of Commerce, 1963.
- [7] Kapoor S, Liu R, Wu XJ, Yao MX, *Temperature-Dependence of Hardness and Wear Resistance of Stellite Alloys*, World Academy of Science, Engineering and Technology 67, 2012.

Aspek Keselamatan Kerja Pada Proses Pembentukan Batu Permata Menggunakan Mesin Gerinda

Anom Santiana^{1)*}, M. Yusuf²⁾

^{1,2)} Staf Pengajar Politeknik Negeri Bali

²⁾ Mahasiswa Program Pasca Sarjana Ergonomi – Fisiologi Kerja Univ. Udayana

Email: yusuf@pnb.ac.id; yusuf752000@yahoo.com

Abstrak

Proses pengerjaan batu permata ini ada tiga tahapan yaitu proses pemotongan, proses pembentukan dan proses penghalusan. Pada proses pemotongan, bahan baku yang semula masih berbentuk bongkahan batu baik batu pirus, batu akik, batu kecubung, dan semacamnya dipotong-potong menjadi bagian kecil dengan teknik tertentu dengan menggunakan gerinda potong. Selanjutnya adalah proses pembentukan, potongan batu yang sudah kecil dibentuk dengan menggunakan gerinda asah. Bentuk batu permata disesuaikan dengan pesanan konsumen atau sesuai keinginan perajin sendiri. Sedangkan proses akhir pada pengerjaan batu permata ini adalah menggosok atau mengasah batu permata tersebut biar licin dan mengkilap. Dalam setiap proses ini tentunya mempunyai resiko terhadap kecelakaan kerja. Bahaya-Bahaya dari Mesin gerinda ini antara lain adalah putaran grinda yang sangat cepat, terbentur oleh barang-barang yang terlempar keluar dari mata asah mesin gerinda, Percikan api yang keluar, jari tangan terpotong, debu yang keluar, dan sebagainya. Untuk itu dilakukan observasi terhadap 12 orang pekerja perajin batu permata di Karangasem Bali. Gerinda yang digunakan adalah gerinda tangan, beban kerja dihitung berdasarkan denyut nadi, keluhan otot diprediksi dengan menggunakan nordic body map. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aspek keselamatan yang harus diperhatikan oleh perajin adalah penggunaan APD (alat pelindung diri) seperti sarung tangan, masker, dan kaca mata), perubahan Sikap Kerja agar lebih alamiah, dan pengaturan waktu kerja. Untuk itu diperlukan pemahaman prosedur kerja sebelum menggunakan gerinda tangan dalam pembentukan batu permata pada perajin sebelum menggunakan mesin gerinda.

Kata Kunci : Aspek Keselamatan, Mesin Gerinda, perajin batu permata.

Abstract

There are three stages in gemstones processing namely the cutting, forming and polishing processes. In the cutting process, the raw materials are initially still a good chunk of stone of turquoise, agate, amethyst, and the like is cut into small pieces with a particular technique by using a grinding cut. Next process is shaping. Small pieces of rock that has been formed by using a grindstone shapes adapted to suit customer orders or crafters own. While the end of the construction process of this gemstone is rubbed or hone gemstone so that smooth and shine. In each of these processes would have a risk of occupational accidents. The dangers of this grinding machine include, among others, is a very fast grinding rounds, hit by items thrown out of the eye sharpening grinding machine, sparks coming out, fingers cut off, the dust out, and so on. For that reasons was conducted observation of 12 workers gemstone craftsmen in Karangasem Bali. Grinding burrs used are the hands, the workload is calculated based on the pulse, muscle complaints nordic predicted using body map. The results showed that the safety aspect that must be considered by the craftsmen is the use of PPE (personal protective equipment) such as gloves, masks, and goggles), change in work attitude to be more natural, and working time arrangements. It is necessary for understanding the work procedures in the formation of gemstones before using the grinding machine.

Keywords: safety, grinding machines, gemstone craftsmen.

1. PENDAHULUAN

Mesin gerinda merupakan proses menghaluskan permukaan yang digunakan pada tahap finishing dengan daerah toleransi yang sangat kecil sehingga mesin ini harus memiliki konstruksi yang sangat kokoh. Pada proses pembentukan batu permata perlu menggunakan mesin gerinda untuk membentuk dan mengasah batu permata sesuai dengan keinginan.

Di desa subagan Karangasem Bali terdapat beberapa kelompok perajin batu permata yang menggunakan gerinda tangan untuk membentuk dan menghaluskan batu permata. Bahan batu permata yang digunakan seperti batu akik, batu pirus, batu kecubung, dan sebagainya. Tekstur dan kekerasan

*Penulis korespondensi, 0361-701981
Email: yusuf752000@yahoo.com

batu ini berbeda-beda, sehingga perlu pola dan teknik tertentu dalam pemotongan dan pembentukan batu ini agar sesuai dengan keindahan bentuk yang ingin diciptakan pada batu tersebut.

Proses pengerjaan batu permata tersebut secara umum ada tiga tahapan yaitu proses pemotongan, proses pembentukan dan proses penghalusan. Pada proses pemotongan, bahan baku yang semula masih berbentuk bongkahan batu baik batu pirus, batu akik, batu kecubung, dan semacamnya dipotong-potong menjadi bagian kecil dengan teknik tertentu dengan menggunakan gerinda potong. Selanjutnya adalah proses pembentukan, potongan batu yang sudah kecil dibentuk dengan menggunakan gerinda asah. Bentuk batu permata disesuaikan dengan pesanan konsumen atau sesuai keinginan perajin sendiri. Sedangkan proses akhir pada pengerjaan batu permata ini adalah menggosok atau mengasah batu permata tersebut biar licin dan mengkilap.

Dalam setiap proses ini tentunya mempunyai resiko terhadap kecelakaan kerja. Bahaya-Bahaya dari Mesin gerinda ini antara lain adalah putaran grinda yang sangat cepat, terbentur oleh barang-barang yang terlempar keluar dari mata asah mesin gerinda, Percikan api yang keluar, jari tangan terpotong, debu yang keluar, dan sebagainya. Sikap kerja para perajin pada proses pembuatan batu permata ini adalah duduk jongkok dan terkadang bersila. Dalam waktu lama hal ini akan menimbulkan keluhan subjektif seperti keluhan otot dan kelelahan. Adanya faktor resiko, keluhan otot, dan kelelahan akan mengganggu proses kerja perajin. Kelelahan juga masalah yang dapat mengancam kualitas hidup, karena kelelahan dapat menyebabkan konsentrasi menurun pada saat bekerja yang nantinya akan mengakibatkan kecelakaan kerja terjadi (Aisbett and Nichols, 2007).

Umumnya resiko tersebut kurang dimengerti dan sering diabaikan oleh perajin. Untuk itu sebagai penelitian pendahuluan untuk melakukan intervensi ergonomi pada para perajin pada proses pembuatan batu permata ini perlu dilakukan analisis terhadap aspek resiko dan keselamatan kerjanya.

2. MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan secara observasional terhadap 12 perajin batu permata di desa Subagan Karangasem. Gerinda yang digunakan dalam membentuk batu permata adalah jenis gerinda tangan. Evaluasi terhadap keselamatan kerja pada proses pembentukan batu permata menggunakan mesin gerinda dilihat dari tiga aspek yaitu aspek task, organization, dan environment. Disamping itu dihitung pula Beban kerja yang ditentukan dari denyut nadi kerja para perajin, kondisi mikro klimat, Keluhan subjektif yang diprediksi dari kuesioner 30 item kelelahan empat skala Likert, dan keluhan otot skeletal yang diprediksi dengan kuesioner Nordic Body Map. Analisa data statistik dilakukan secara deskriptif terhadap beban kerja, keluhan subjektif, dan keluhan otot skeletal dari para perajin. Sedangkan aspek keselamatan dianalisis secara deskriptif kualitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Subjek Penelitian

Karakteristik perajin permata yang menjadi subjek penelitian adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Karakteristik subjek penelitian

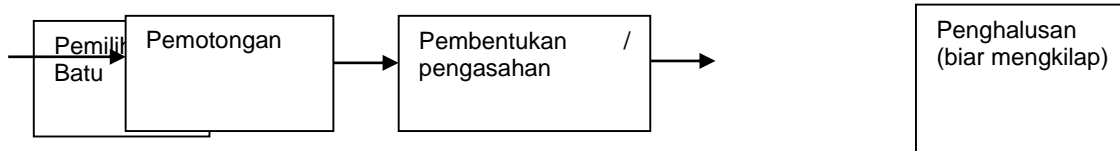
No	Variabel	Rerata	Simpang Baku	Rentangan
1	Umur (th)	36,63	4,16	31-52
2	Berat badan (kg)	65,28	7,40	58-84
3	Tinggi badan (cm)	166,59	3,73	161,5-170,5
4	Pengalaman kerja (th)	6,50	3,65	3-10

Berdasarkan karakteristik subjek, seperti yang tertera pada Tabel 1, rentang umur perajin adalah antara 31 hingga 52 tahun. Usia ini masih usia produktif untuk bekerja. Berat badan berada pada rentang 58-84 kg dan pengalaman kerja membentuk dan mengasah batu permata menggunakan gerinda antara 3 hingga 10 tahun, ini menunjukkan bahwa kondisi fisik subjek berada pada kondisi produktif dengan pengalaman kerja yang cukup. Pengalaman kerja merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap tingkat ketrampilan pekerja, keluhan-keluhan yang terjadi pada sistem muskuloskeletal maupun terhadap produktivitas kerja (Subrata, 2003). Pada umur 25–30 adalah umur seseorang yang mempunyai kemampuan maksimal dalam melakukan pekerjaannya, hal tersebut dikarenakan daya ingat, daya pendengaran, daya penglihatan kemampuan otot dan kemampuan sensoris masih dalam keadaan baik sehingga perajin dapat melakukan pekerjaannya dengan maksimal. Kemampuan-kemampuan tersebut akan menurun pada umur di atas 60 tahun dan hanya tersisa 50% dari orang yang berumur 25 tahun, hal ini sesuai dengan pernyataan Tarwaka (2011).

3.2 Aspek Task

Analisis keselamatan kerja dari aspek *task* (tugas melakukan pekerjaan) dilakukan pada aspek peralatan yang dipakai, proses kerja, dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Disamping itu dianalisis pula aspek beban kerja yang terjadi pada para perajin batu permata.

Peralatan kerja yang digunakan adalah gerinda tangan untuk memotong dan gerinda asah untuk membentuk. Proses kerjanya adalah sebagai berikut.



Gambar 1. proses kerja pembuatan batu permata

Pada saat pemotongan dan pembentukan, perajin tidak menggunakan alat pelindung diri seperti sarung tangan, masker penutup hidung, dan kaca mata. Potensi hazard pada mesin gerinda ini antara lain adalah :

- Putaran grinda yang sangat cepat
- Terbentur oleh barang-barang yang terlempar keluar dari mesin.
- Percikan api yang keluar pada saat penggerindaan.
- Debu yang keluar dari proses pemotongan
- Tersangkutnya bagian tubuh pada bagian mesin yang bergerak.
- Posisi memegang yang tidak kuat akan menyebabkan lepasnya gerinda tangan.
- Getaran mesin gerinda tangan bisa menyebabkan kondisi yang kurang stabil saat memotong atau mengasah.

Dari hasil penelitian selama satu bulan terahir bekerja diperoleh data kecelakaan kerja pada perajin sebagai berikut:

Tabel 2 Kecelakaan kerja yang terjadi pada perajin

Jenis	Frekuensi (kejadian)	keterangan
Luka pada jari	5	Tersentuh mata asah seperti sedikit terkelupas, luka gores, dan memar
Mata kelilipan	3	Mata terkena percikan debu
Luka pada kaki	1	Melakukan pemotongan dengan duduk jongkok, gerinda dekat dengan kaki
Percikan api	Hampir pada setiap pemotongan	Percikan api ini kecil terkadang kena pergelangan tangan, hal ini dianggap biasa oleh perajin karena tidak merasakan efek apa-apa

Sedangkan beban kerja pada saat menggunakan gerinda tersebut dihitung berdasarkan denyut nadi kerja pada perajin. Beban kerja ini ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3 Hasil penghitungan denyut nadi perajin

Variabel	Mean (dpm)	SD	t	p
Denyut Nadi Istirahat	72,15	4,21	-18,246	0,000
Denyut Nadi Kerja	120,36	2,24		

Diperoleh denyut nadi saat bekerja adalah 120,36 denyut per menit. Denyut nadi ini termasuk beban kerja sedang yaitu berada diantara 100 – 125 denyut/menit (Granjean, 1993), dan denyut nadi bisa digunakan untuk memprediksi beban kerja para pekerja (Adiputra, 2002).

Sedangkan hasil perhitungan keluhan otot skeletal yang didata dengan kuesioner Nordic Body Map dan pengukuran kelelahan secara umum menggunakan 30 item kuesioner, disajikan pada tabel 6 berikut :

Tabel 4 Hasil Analisis Keluhan Otot Skeletal dan kelelahan secara umum

		Rerata skor	SD	t	P
Keluhan Otot	Sebelum kerja	37,52	1,47	-37,438	0,000
	Setelah kerja	78,65	3,50		
Kelelahan Secara Umum	Sebelum kerja	32,15	0,49	-26,602	0,000
	Setelah kerja	52,22	2,55		

Keluhan otot skeletal dan kelelahan secara umum seperti terlihat pada Tabel 4, terjadi peningkatan yang signifikan antara pengukuran sebelum kerja dan setelah kerja. Setelah kerja keluhan otot skeletal yang terjadi pada perajin terjadi sakit di bahu, di pinggang, di kaki (100% pekerja), dan sakit di leher, lengan atas kiri dan kanan, sakit di punggung, dan tangan kanan (80% dari pekerja). Sedangkan keluhan subyektif yang terjadi yaitu lelah pada seluruh badan, nyeri di punggung dan merasa haus (100% dari pekerja), kemudian juga merasa berat di kepala, kaki terasa berat, kaku atau canggung dalam bergerak, kaku dibagian bahu, dan badan terasa gemetar diperoleh 80% dari perajin. Apabila hal keluhan-keluhan ini tidak diberikan solusi dengan baik dan pekerja terus menerus mendapatkan keluhan tersebut, maka akan berakibat buruk dari sisi kesehatan pekerja dalam jangka waktu panjang.

Untuk memberikan solusi pada permasalahan *task* ini perlu adanya pemahaman tentang prosedur kerja dan langkah keselamatan dalam menggunakan mesin gerinda. Beberapa langkah keselamatan kerja penggunaan gerinda antara lain:

- Gunakan kacamata kerja setiap saat, meskipun sudah tersedia penutup kaca pada roda gerindanya.
- Selalu periksa kondisi roda gerinda dari keretakan. Ketuk roda gerinda dengan tangkai obeng, bila suaranya nyaring berarti baik, dan sember berarti ada keretakan
- Jaga kecepatan roda gerinda sesuai ketentuan tabel kecepatan pada mesin tersebut
- Pastikan benda kerja, kepala lepas, pencekam dan peralatan yang lain sudah pada posisi yang benar
- Gunakan roda gerinda sesuai dengan jenis kerja dan benda kerjanya
- Jangan memakamkan (to feed) terlalu cepat, benda kerja antara dua senter kemungkinan akan tertekan dan dapat merusakkan benda kerja dan roda gerindanya
- Stop seluruh motor penggerak sebelum mengatur atau menyetel mesin gerinda
- Ketika mengasah roda gerinda (dressing / truing) pastikan intan pengasah terletak pada posisi yang kuat dan benar
- Jangan memeriksa dimensi (pengukuran) selama benda kerja sedang digerinda
- Ketika memasang atau menempatkan benda kerja, pastikan roda gerinda diundurkan atau dijauhkan agar tidak mengganggu pemasangan.
- Jangan gunakan pakaian kerja yang panjang dan terjurai, kalung, dan perhiasan lainnya yang memungkinkan jatuh atau tersangkut selama kerja gerinda
- Jangan tinggalkan mesin gerinda dalam keadaan hidup, pastikan mesin mati pada saat meninggalkan.
- Sikap kerja dilakukan secara alamiah, misalkan duduk di kursi dan menggunakan meja kerja
- Penggunaan alat pelindung diri yaitu sarung tangan, masker penutup hidung, dan kaca mata

3.3 Aspek Organization

Yang dimaksud aspek organisasi disini adalah organisasi kerja pada para perajin. Organisasi kerja ini terdiri dari jam kerja, istirahat kerja, sistem kerja, dan pemberian upah kerja. Tidak semua perajin menjadi pemilik dari usaha batu permata ini. Perajin yang disini adalah para pekerja yang di upah untuk melakukan pekerjaan membuat batu permata.

Hari kerja biasanya dilakukan setiap hari kecuali hari libur (Minggu atau hari besar), biasanya dimulai dari jam 8.00 – 16. Wita. Sedangkan sistem kerja adalah dengan kerja harian dan borongan. Jika tidak ada pesanan secara masal/banyak maka sistem kerja secara normal adalah harian, jika ada pesanan maka biasanya dilakukan secara borongan atau dengan cara lembur. Sehingga sistem pengupahan disini adalah dengan upah harian, jika ada lembur maka akan diberikan upah lemburnya, jika ada ada borongan untuk pembuatan batu permata maka dilakukan diberikan upah borongan.

Permasalahan yang terjadi pada aspek organisasi disini adalah pada jam kerja dan istirahat kerja. Biasanya pekerjaan dilakukan sambil duduk jongkok atau duduk bersila ketika pemotongan atau pembentukan. Sedangkan istirahat kerja hanya dilakukan satu kali yaitu pada jam 12.00 hingga jam 13.00. sikap kerja jongkok dan bersila jika dilakukan dalam durasi waktu yang lama dan sehari-hari maka akan banyak terjadi keluhan subyektif pada perajin/pekerja, seperti keluhan otot dan kelelahan. Pada jangka waktu lama bisa jadi akan terjadi perubahan postur tubuh.

Aspek kesehatan perajin untuk keselamatan kerja jangka waktu panjang pada permasalahan ini adalah dengan mengubah sikap kerja. Perlu dilakukan intervensi ergonomi dengan cara mendesain stasiun kerja sehingga pekerja bisa duduk di kursi dan pemotongan bisa dilakukan diatas meja kerja. Dengan menggunakan kursi ergonomis bisa mengurangi kelelahan pekerja (Gempur S, 2013). Pada saat kerja digunakan alat pelindung diri yaitu sarung tangan, masker kain untuk menghindari debu terhirup, dan kaca mata sebagai pelindung mata. Waktu kerja juga bisa diatur dengan cara membagi waktu kerja dengan tidak mengurangi jam kerja. Di sela-sela kerja ada istirahat pendek sambil minum air putih atau air teh. Dengan istirahat aktif yang disertai minum air akan mengurangi kelelahan dan keluhan subjektif dari para pekerja.

3.4 aspek *Environment*

Aspek environment (lingkungan) adalah lingkungan dimana para pekerja melakukan aktivitas pekerjaan atau yang sering disebut sebagai lingkungan kerja. Lingkungan kerja merupakan kondisi mikroklimat disekitar tempat kerja perajin. Mikroklimat yang diukur dalam penelitian ini adalah suhu basah, suhu kering, kelembaban, intensitas cahaya, kebisingan, dan kecepatan angin. Hasil pengukuran mikroklimat di tempat kerja para perajin adalah sebagai berikut :

Tabel 5 Kondisi lingkungan kerja

No	Variabel	Rerata	Simpang Baku	Rentangan
1	Suhu basah (°C)	28,23	1,45	27,82 – 30,12
2	Suhu kering (°C)	31,26	1,61	30,10-33,21
3	Kelembaban relatif (%)	75,18	3,35	72-81
4	Suhu bola (°C)	30,34	2,32	29,74-33,31
5	WBGT (°C)	20,18	1,21	29,56-30,41
6	Intensitas cahaya (lux)	317,12	10,23	291,22-342,54
7	Kebisingan (dB)	77,22	4,27	72,11-82,64
8	Kecepatan angin (m/s)	0,93	0,03	0,89-0,95

Kondisi lingkungan kerja para perajin seperti tertera pada Tabel 5, suhu basah berada pada 27,82 hingga 30,12°C, sedangkan suhu keringnya adalah 30,10 hingga 33,21°C dan kelembaban relatif berada pada 72-81%. Hal ini merupakan kondisi yang masih tergolong nyaman bagi pekerja. Manuaba (1998) menyatakan bahwa nilai ambang batas dari suhu udara untuk pekerja adalah 33° C dan kelembaban relatif pekerja orang Indonesia yang masih tergolong nyaman adalah antara 70% - 80%. Sedangkan batas ambang kebisingan adalah 85 dB (BSN, 2004).

Kondisi lingkungan bisa mempengaruhi beban kerja. Lingkungan yang tidak nyaman seperti panas tinggi, kebisingan diatas ambang batas, getaran yang memapar pada tubuh pekerja akan memberikan beban kerja tambahan (Granjean, 1993; Suma'mur, 1995). Dari hasil pengukuran lingkungan kerja pada perajin permata ini, tidak perlu diadakan intervensi karena kondisi lingkungan kerja berada pada kondisi yang masih nyaman untuk bekerja.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- aspek keselamatan yang harus diperhatikan oleh perajin batu permata yang menggunakan gerinda adalah penggunaan APD (alat pelindung diri) yaitu sarung tangan, masker, dan kaca mata), perubahan Sikap Kerja agar lebih alamiah, dan pengaturan waktu kerja.
- Diperlukan pemahaman prosedur kerja sebelum menggunakan gerinda tangan dalam pembentukan batu permata pada perajin sebelum menggunakan mesin gerinda untuk mencegah atau menghindari kecelakaan kerja.
- Perlu adanya intervensi ergonomi untuk memberikan solusi terhadap permasalahan yang terjadi pada proses pembuatan batu permata ini baik dari segi *task* dan organisasi nya.

4.2 Saran

- Bagi pemegang kebijakan dibidang industri kecil agar memperhatikan aspek kesehatan dan keselamatan kerja dalam memberikan regulasi terhadap industri termasuk industri kecil.
- Di Indonesia Aspek keselamatan kerja belum optimal dilaksanakan oleh industri kecil, oleh karena itu perajin/pekerja/pengelola perlu memahami dan secara sadar agar memperhatikan kesehatan dan keselamatan dalam melakukan pekerjaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adiputra, N. 2002. Denyut Nadi dan Kegunaannya dalam Ergonomi. Jurnal Ergonomi Indonesia, Vol. 3, No. 1, Juni 2002: 22-26.
- [2] Aisbett & Nichols. 2007. Fighting Fatigue whilst Fighting Bushfire: an overview of Factors Contributing to Firefighter Fatigue During Bushfire Suppression. The Australian Journal of Emergency Management, Vol. 22 No. 3. (Sitasi 1 Februari 2013).
- [3] BSN. 2004. Nilai Ambang Batas iklim kerja (panas), kebisingan, getaran tangan-lengan dan radiasi sinar ultra ungu di tempat kerja. Badan Standarisasi Nasional. SNI 16-7063-2004.
- [4] Gempur Santoso. 2013. Kursi Ergonomis Untuk Menurunkan Kelelahan Tenaga Kerja SPBU Berdasarkan Fluktuasi Asam Laktat dan Glukosa Dalam Darah. Jurnal Teknik WAKTU Volume 11 Nomor 01 – Januari 2013 – ISSN : 1412-1867.
- [5] Grandjean. 1993. Fitting the Task To the Man. 4th Edition. London: Taylor & Francis.
- [6] Manuaba, A.1998. Bunga Rampai Ergonomi vol.1. Program Studi Ergonomi-Fisiologi Kerja Universitas Udayana Denpasar.
- [7] Subrata, M. 2003. Pemakaian Alat Pelindung Pada Jari Telunjuk Tangan Dan Pemakaian Tempat Duduk Pada Pekerja Pemotong Gigi Taring Anak Babi Mengurangi Cedera Dan Menurunkan Keluhan Subjektif Serta Meningkatkan Produktivitas Kerja. Tesis Magister Program Studi Ergonomi-Fisiologi Kerja. Universitas Udayana. Denpasar.
- [8] Suma'mur PK, 1995. Higene Perusahaan Dan Kesehatan Kerja. Jakarta: PT Toko Gunung Agung.
- [9] Tarwaka. 2011. Ergonomi untuk Keselamatan Kesehatan Kerja dan Produktivitas. Surakarta: Universitas Islam Batik.

Meningkatkan Pendapatan Masyarakat dengan Mesin Pencacah Sampah Plastik

I Gede Putu Agus Suryawan^{1)*} Cok. Istri P. Kusuma Kencanawati¹⁾, I Made Widiyarta¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran Bali 80362
E-mail: agus88@me.unud.ac.id

Abstrak

Bali merupakan pintu gerbang pariwisata Indonesia, menjadi sorotan dunia bagaimana mengelola sampah. Reduce, Reuse dan Recycle disingkat 3R atau Mengurangi, Memakai Ulang dan Mendaur Ulang adalah prinsip utama mengelola sampah mulai dari sumbernya, melalui tiga langkah ini akan mampu mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke TPA (Tempat Pengolahan Akhir). Pengelolaan sampah yang kurang baik dapat memberikan pengaruh negatif bagi kesehatan, lingkungan, maupun bagi kehidupan sosial ekonomi dan budaya masyarakat. Produksi sampah di TPA Linggasana Karangasem perhari adalah 120 m³/hari atau sekitar 18,26 ton/hari, sampah plastik mencapai 22,6 %, yang bisa didaur ulang sekitar 17%. Jadi sampah plastik yang bisa didaur ulang adalah 3,1 ton/hari, ini merupakan potensi bisnis yang sangat potensial. Masyarakat malas dalam memilah sampah organik dan anorganik karena tidak memberikan nilai tambah kepada masyarakat, dilakukan pelatihan dan pengenalan mesin pencacah sampah plastik sehingga masyarakat berminat dalam memilah sampah-sampah itu. Sampah plastik itu dijual ke pada kelompok Asri Linggasana atau kelompok Lestari Buana Giri.

Kata kunci: sampah plastik, mesin pencacah

Abstract

Bali is Indonesian tourism gateway and become world attention on how to manage waste. Reduce, Reuse and Recycle abbreviated 3R is a major principle of managing the waste from the source. Through these three steps will be able to reduce the amount of waste disposed of to landfill. Poor waste management can have a negative effect on health, the environment, and for social, economic and cultural life of the community. Production of waste in the landfill Linggasana Karangasem per day is 120 m³ / day or approximately 18.26 tons / day, reaching 22.6% of plastic waste, which can be recycled approximately 17%. So, the plastic waste that can be recycled is 3.1 tons / day, this is a highly potential business potential. The society is not interest in sorting organic and inorganic waste because it does not add value to the community. Training and introduction of plastic waste thrasher is conducted so that people interested in sorting out the rubbish. Plastic waste was sold to the group Linggasana Asri or group Buana Lestari Giri.

Keywords: plastic waste, thrasher

1. PENDAHULUAN

Sampah adalah semua material yang dibuang dari kegiatan rumah tangga, perdagangan, industri, perkebunan, kegiatan adat dan kegiatan pertanian. Sampah adalah bagian dari sesuatu yang tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang harus dibuang, yang umumnya berasal dari kegiatan yang dilakukan manusia.

Sampah anorganik, yaitu sampah yang membutuhkan waktu lama membusuk, seperti plastik wadah pembungkus makanan, kertas mika, plastik mainan, botol dan gelas minuman, kaleng dan sebagainya. Sampah ini dapat dijadikan sampah komersil atau sampah yang laku dijual untuk dijadikan produk lainnya.

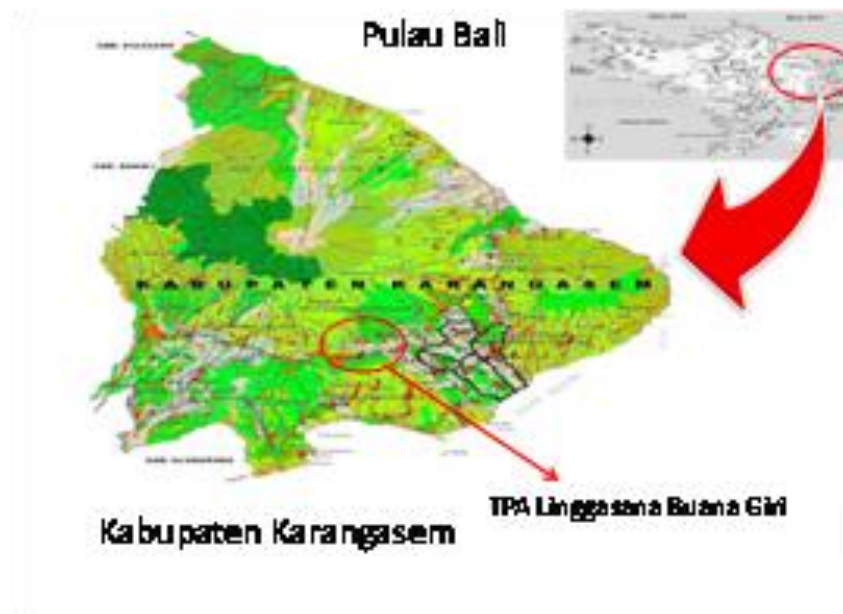
1.1. Latar belakang

Penduduk desa Buana Giri sebagian besar bekerja sebagai petani, perkebunan, tukang bangunan, pedagang, pengerajin dan peternak. Disamping itu desa Buana Giri merupakan salah satu desa yang kaya akan hasil tambang dan memiliki galian C serta hasil perkebunan berupa buah salak, singkong, buah manggis, kacang-kacangan dan lainnya.

*Penulis korespondensi, HP: 62361703321,
Email: agus88@me.unud.ac.id



Gambar 1 Tempat pencacah plastik



Gambar 2 Peta lokasi kegiatan

Desa Buana Giri merupakan salah satu dari desa yang terletak di Kecamatan Bebandem Kabupaten Karangasem dengan luas wilayah 1.473.486 Ha sebagian besar merupakan lahan kering atau tegalan seluas 1.231.256 Ha.

Dengan konsep yang sudah dijalankan oleh Kabupaten Karangasem selama ini dalam program **"Green and Clean"**, maka Kabupaten Karangasem sangat fokus untuk memerangi sampah plastik. Dalam banyak kegiatan yang telah berjalan maupun yang menjadi agenda tetap yang didukung oleh faktor kearifan lokal ingin menjadikan Kabupaten Karangasem bebas sampah plastik.

1.2. Rumusan masalah

Jumlah penduduk Kabupaten Karangasem pada pertengahan tahun 2010 berdasarkan hasil registrasi penduduk adalah 434.563 jiwa, terdiri dari 217.327 jiwa laki-laki dan 217.209 jiwa perempuan. Dengan jumlah rumah tangga 114.919. Kepadatan penduduk untuk Kabupaten Karangasem adalah sebesar 518 jiwa per km².

No	KOMPONEN	Th. 90/91	Th. 91/92	No	KOMPONEN	Th. 2010
1	Organik	73.35	73.35	1	Organik	70
2	Kertas	9.7	9.7	2	Kertas	5
3	Plastik	8.5	8.58	3	Plastik	22.6
4	Logam	0.5	0.5	4	Logam	0.3
5	Karet	-	0.4	5	Karet	0.2
6	Kayu	-	3.6	6	Kayu	1
7	Tekstil	1.32	0.9	7	Tekstil	0.3
8	Kaca	0.43	0.43	8	Kaca	0.1
9	Lain-lain	7.46	2.64	9	Lain-lain	0.5

Sumber: Data Statistik Lingkungan Hidup (1992) **Sumber :** TPA Linggasana

Sampah yang di buang di TPA Linggasana adalah sampah perkotaan, sampah yang berasal dari perumahan, perkantoran, sekolah, gedung umum, pasar, pertokoan restoran, taman kota, dll. Komposisi sampah plastik di TPA Linggasana adalah 22,26%, mempunyai potensi yang besar untuk diolah lebih lanjut.

1.3. Target dan luaran

Target dari pengabdian ini adalah masyarakat di lingkungan Linggasana dan di desa Buana Giri, mendapatkan manfaat terciptanya industri mikro yang mengolah sampah plastik yang tidak berguna menjadi sesuatu yang laku di jual. Masyarakat yang mengumpulkan sampah plastik di rumah, setiap minggu di jual kepada kelompok Asri Linggasana untuk dicacah menjadi serpihan kecil agar mudah pengangkutannya di bawa ke pabrik atau pengepul. Masyarakat diberikan pelatihan tentang manajemen pemasaran yang baik, memperoleh informasi tempat penjualan sampah plastik.

Kegiatan pengabdian pada masyarakat ini ini diharapkan memberikan manfaat kepada masyarakat terutama keluarga miskin/pra sejahtera mendapat pengetahuan dan pengalaman untuk memperoleh bantuan pikiran dan teknologi untuk meningkatkan perekonomian keluarga dengan ikut mengumpulkan sampah plastik. Masyarakat memperoleh masukan guna meningkatkan kualitas dapat menularkan pengetahuan dan pengalaman tersebut kepada lingkungan sekitarnya sehingga dapat merintis ketahanan ekonomi keluarga terutama keluarga miskin / pra sejahtera.

Memberikan sosialisasi dan memberikan memotivasi kepada masyarakat sekitar untuk Meningkatkan kepedulian masyarakat akan pentingnya memilah sampah organik dan anorganik. Sampah plastik di bawa ke TPA Linggasana untuk di jual dan dicacah, untuk di daur ulang.

Luaran pengabdian ini adalah berupa produk serpihan plastik berdimensi kecil yang mudah dalam pengangkutan dan tumbuhnya kesadaran masyarakat akan motto "**Clear and Green**" dengan memilah sampah organik dan anorganik.

2. METODE

2.1. Pengenalan jenis plastik

Untuk sampah plastik yang dapat di daur ulang terdiri dari plastik PET, LDPE, HDPE, PVC, PP, PS dan Multilayer. Membedakan jenisplastik secara fisik banyak sekali kemiripan untuk kemasan produk yang dapat didaur ulang terdapat tanda tiga anak panah melingkar dan didalamnya memiliki nomor tertentu dari angka 1 sampai 7, sesuai dengan jenis masing-masing plastik. Identifikasi berdasarkan jenis polimer pembentuknya adalah:

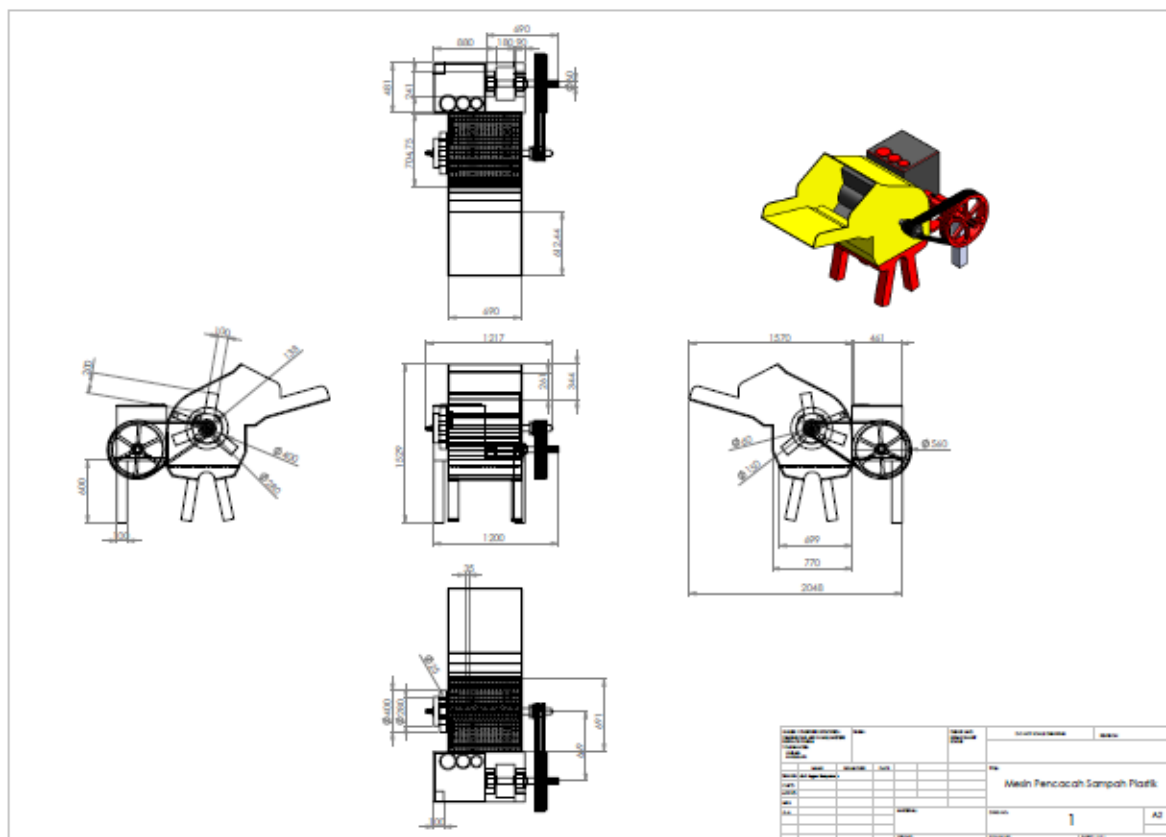
- PET (Polyethylene Terephtalate), dengan tanda angka 1.
- HDPE (High Density Polyethylene), dengan tanda angka 2, seperti ember dan mainan anak-anak.
- LDPE (Low Density Polyethylene), dengan tanda angka 3, seperti botol aqua dan accu yang sangat laku di jual.
- PVC (Polyvinyl Chloride), dengan tanda angka 4.
- PP (Polypropylene), dengan tanda angka 5.
- PS (Polystyrene), dengan tanda angka 6.
- Multilayer, dengan tanda angka 7

1	Plastik putih/bening	5	Plastik bak
2	Plastik botol	6	Plastik atom
3	Plastik gelas	7	Plastik campur
4	Plastik PE-putih	8	Plastik tas kresek

2.2. Metode penyelesaian masalah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan yang telah dilakukan dengan membuat gambar desain alat pencacah sampah plastik seperti gambar 3 dan telah dibuat tetapi masih perlu penyempurnaan.



Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 8, No. 1 April 2015:1-110 24

Hasil rancang bangun mesin pencacah sampah plastik terdiri dari 5 bagian utama yaitu rangka, unit masukan material, unit pencacah, unit penyaluran hasil cacahan, dan sistem penerusan daya. Sedangkan kebutuhan daya dihitung sesuai dengan beban yang ditimbulkan dari unit pencacah. Rangka utama terbuat dari besi siku dan besi plat sebagai landasan. Unit masukan material terbuat dari besi plat tebal 2 mm yang disatukan dengan penutup unit pencacah dengan pengikatan yang dapat dilepas pasang agar proses bongkar pasang dapat dilakukan dengan mudah.

3.2 Kelayakan bisnis plastik daur ulang

Total biaya pembangunan usaha Daur Ulang Plastik, pengadaan mesin pencacah plastik di sumbangkan dari hasil Perencanaan Elemen Mesin dan Pengabdian Masyarakat, Teknik Mesin Unud.

Perhitungan rugi laba untuk 24 hari kerja setiap bulan:

1. Biaya mengasah pisau potong	Rp 200.000,-/bulan	Rp 200.000
2. Motor penggerak 10 Hp = 7,30 KW kapasitas 500 kg/hari, listrik 1kwh = Rp 250, maka biaya listrik adalah		Rp 350.000
3. Biaya angkut ke pengepul per bulan		Rp 300.000
4. Beli bahan baku Rp 1000/kg (beli 500kg x 24 hari)		Rp 12.000.000
5. Maintenance mesin		Rp 2.000.000
6. Biaya tenaga kerja		<u>Rp 1.500.000</u>
Total Biaya		Rp 16.050.000

Sampah plastik yang bisa didaur ulang adalah 17% dari 22,6% sampah plastik atau sekitar 3,1 ton/hari. Kapasitas mesin pencacah plastik adalah 500kg/hari dengan harga Rp 2.000

Hasil penjualan ke pengepul (500 x 2.000 x 24 hari)	<u>Rp 24.000.000</u>
Keuntungan per bulan	Rp 7.950.000

4. SIMPULAN

Kegiatan Pengabdian Desa Buana Giri Karangasem sedang berlangsung, hasil rancangan alat dan perbaikan didapat data; diameter poros 60 mm, dimensi alat adalah 2048 mm x 1529 mm x 1200 mm, daya penggerak mula 6,5 Hp, 3 V Belt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada LPPM Universitas Udayana atas dukungan dananya melalui Hibah Pengabdian Masyarakat dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Hibah Pengabdian Kepada Masyarakat Mono Tahun Universitas Udayana Tahun Anggaran 2014 Nomor : 221.22/UN.14.2/PKM.08.00/2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Antun Hidayat, *Pedoman Teknis Pengelolaan Persampahan*, Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Lembaga Penelitian Universitas Indonesia, Jakarta, 2006.
- [2]. Biro Pusat Statistik, *Statistik Industri Besar dan Sedang*, Bagian III, B Jakarta, 1995.
- [3]. Djuarnani, Nan, *Cara Cepat Membuat Kompos*, PT. Agromedia Pustaka, Jakarta, 2005.
- [4]. Edi Hartono, *Peningkatan Pelayanan Pengelolaan Sampah di Kota Brebes Melalui Peningkatan Kemampuan Pembiayaan*, Tesis, Universitas Diponogoro, Semarang, 2006.
- [5]. Firman L Sahwan, dkk, *Sistem Pengolahan Limbah Plastik di Indonesia*, J. Tek. Ling. P3TL-BPPT. 6. (1): 311-318, 2005.
- [6]. Made Gunamantha, dkk, *Life Cycle Assesment pada Sistem Pengolahan Sampah di Wilayah Sargagita, Bali*, Jurnal Purifikasi, Vol. 11, No. 1, 41-52, Juli 2010.
- [7]. Kementrian Pendidikan Nasional, *Manajemen Usaha Kecil*, Modul 3, Buku 4, Direktorat Pembinaan Khursus dan Kelembagaan, Direktorat Jenderal Pendidikan non Formal dan Informal, 2010.
- [8]. Robert Napitupulu, dkk, *Rancang Bangun Mesin Pencacah Sampah Plastik*, Jurnal Monotech, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung 2005.

- [9]. Sri Wahyono&Tri Bangun L. Sony, Pedoman *Umum Pembuatan Kompos Untuk Skala Kecil, Menengah, dan Besar*, Kementerian Lingkungan Hidup, 2005.

Kajian Eksperimental Parameter Modal Massa Raket Tennis dengan Tumpuan Bebas-Bebas

Deli Usman^{*)}, Mulyadi Bur²⁾, Meifal Rusli²⁾

¹⁾Mahasiswa S2 Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas Kampus Limau Manis, Padang-25163
Email : deli_usman@yahoo.com

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas Kampus Limau Manis, Padang-25163
Email : mulyadibur@ft.unand.ac.id
Email : meifal@ft.unand.ac.id

Abstrak

Olahraga tenis merupakan olahraga yang menggunakan raket sebagai alat untuk memukul bola. Dalam permainan, raket akan mendapatkan gaya gangguan berupa gaya impak dari bola yang akan menimbulkan getaran dan menghasilkan frekuensi pribadi. Jika hal ini terjadi terus menerus sehingga raket bekerja pada frekuensi pribadinya, maka akan menyebabkan terjadinya kegagalan pada struktur raket. Untuk itu dilakukan penelitian agar dapat mengetahui karakteristik dan frekuensi pribadi pada struktur raket tenis. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap raket tenis merk Wilson dengan berat 320 gram dan panjang 697 mm yang digantung vertikal dengan kondisi tumpuan bebas-bebas. Accelerometer ditempatkan pada 8 titik berbeda dengan satu titik eksitasi. Kemudian dilakukan pengukuran respon dengan mencatat grafik FRF yang disimpan dalam format *.txt. Secara umum diperoleh harga frekuensi pribadi terendah struktur untuk modulus pertama, kedua, ketiga dan keempat berturut-turut : 174.3 Hz, 498 Hz, 1014 Hz, 1448 Hz, dengan masing – masing rasio redaman struktur berturut-turut: 0,759%, 0,543% , 0,785% dan 2,65%. Untuk setiap titik pengujian mempunyai rasio redaman yang berbeda. Kemudian juga diperoleh modulus getar dari sistem tergantung bebas yaitu, modulus pertama berupa grafik setengah gelombang, modulus kedua, ketiga dan keempat berupa grafik satu gelombang membentuk satu puncak satu dan lembah, namun tinggi masing – masingnya berbeda.

Kata kunci: raket tenis, frekuensi pribadi, rasio redaman

Abstract

Tennis is sport that uses a racquet as a tool to hit the ball. During the game, the racquet will get a stylish disruption of the impact force of a ball that would cause vibration and produce natural frequency. If this happens continuously so that the racquet works on his natural frequency, it will cause failure of the structure of the racket. It is conducted the study in order to investigate the characteristics and structure of the natural frequency of tennis racquet. In this study, testing of brands Wilson tennis racquet was conducted with a weight of 320 grams and a length of 697 mm which are suspended vertically with the support of the free-free condition. The accelerometer is placed at 8 points with one point of excitation. The response was measured by recording in a FRF chart and saved in txt format. In general, the value obtained for the structure of the lowest natural frequency mode of the first, second, third and fourth respectively: 174.3 Hz, 498 Hz, 1014 Hz, 1448 Hz, with individual structural damping ratio, respectively: 0759%, 0543%, 0785% and 2.65%. Each test point has a different damping ratios. Then vibration mode also obtained from a system that hang freely, namely: the first mode half-wave form chart, the second mode, third and fourth in the form of a graph of the wave form of the peaks and valleys one, however each value have different height.

Keywords: tennis racquet, a private frequency, damping ratio

1. PENDAHULUAN

Resonansi pada struktur terjadi diakibatkan oleh adanya getaran yang berasal dari luar. Resonansi yang bekerja pada frekuensi pribadi dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada struktur tersebut. Fenomena ini dapat dilihat pada raket tenis.

Raket tenis yang beresonansi akan memberi pengaruh pada pengguna saat memukul bola. Agar fenomena ini dapat dihindari maka karakteristik dinamik dari struktur seperti frekuensi pribadi (ω_n), rasio redaman (ξ) dan modulus getar (ψ) perlu diketahui [1] .

* Penulis korespondensi, HP: +62 751 72586
Email: deli_usman@yahoo.com

Secara umum, harga karakteristik dinamik suatu struktur dapat diukur dengan eksperimen. Makalah ini menyajikan eksperimen karakteristik dinamik struktur raket tenis dengan kondisi tumpuan bebas-bebas.

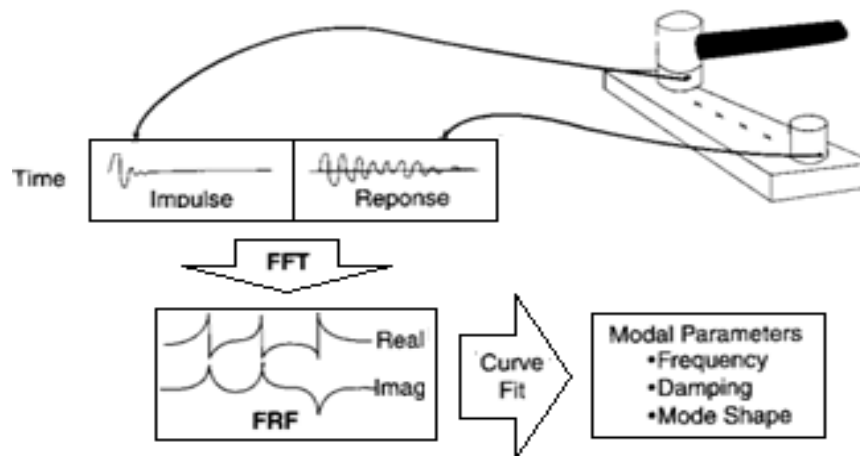
2.

ANALISIS

MODAL SECARA EKSPERIMEN

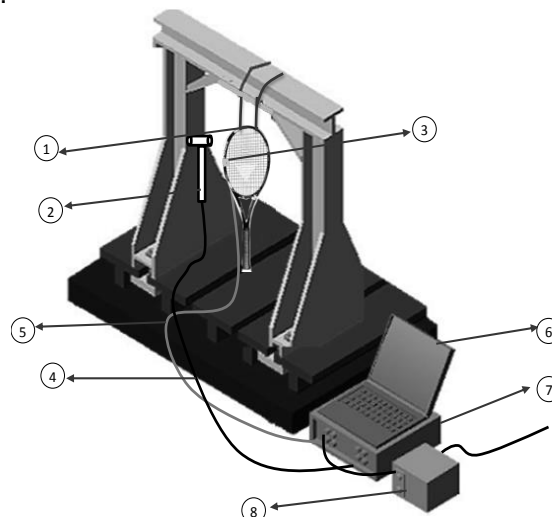
Analisa modal secara eksperimen adalah suatu proses yang ditujukan untuk menentukan karakteristik dinamik suatu struktur melalui kaji eksperimental. Salah satu teknik yang banyak digunakan untuk mendapatkan karakteristik dinamik struktur adalah menggunakan pengujian kejut. Pengujian kejut ini dilakukan dengan cara pemberian eksitasi kejut pada struktur menggunakan *impact hammer*. Dalam hal ini struktur dipukul dengan *impact hammer* dan responnya kemudian diukur pada beberapa titik pengujian menggunakan sensor *accelerometer*. Gaya kejut diukur menggunakan sensor *load cell* yang terletak di ujung *impact hammer*.

Hasil pengujian selanjutnya dicuplik oleh *FFT Analyzer*. *FFT Analyzer* ini akan menghitung respon frekuensi dari sinyal yang terukur. Dengan menggunakan data respon frekuensi ini dapat dihitung fungsi respon frekuensi dari struktur (*FRF*) yaitu perbandingan sinyal respon dan sinyal gaya eksitasi dalam ranah frekuensi. Pada Gambar 1 diperlihatkan skema prosedur penentuan karakteristik dinamik struktur secara eksperimen. Selanjut karakteristik dinamik ini diperoleh melalui pengukuran.



Gambar 1 Pengujian beban impact [2]

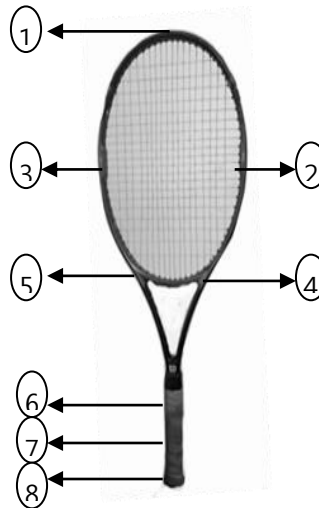
Pada penelitian ini, struktur bebas-bebas dibuat dengan cara menggantung Raket tenis dengan tali yang diikatkan pada tiang dan pengujian ini dilakukan tanpa redaman pada delapan titik, dengan titik eksitasi tetap yaitu, di posisi satu. Raket uji yang digunakan adalah Raket tenis merek *Wilson* yang memiliki berat sebesar 320, gram panjang 670 mm dan lebar pada bagian yang terpasang senar sebesar 270 mm. Skema alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan titik pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Skema Alat Pengujian

Keterangan:

1. Raket.
2. Force Amplifier (Impact Hammer) Brüel & Kjær type 8203.
3. Accelerometer Brüel & Kjær type 4507.
4. Impact Hammer's cable.
5. Cable of Accelerometer Brüel & Kjær.
6. PC.
7. DSA Bruel & Kjaer type 2827.
8. Condition Amplifier Nexus Brüel & Kjær.

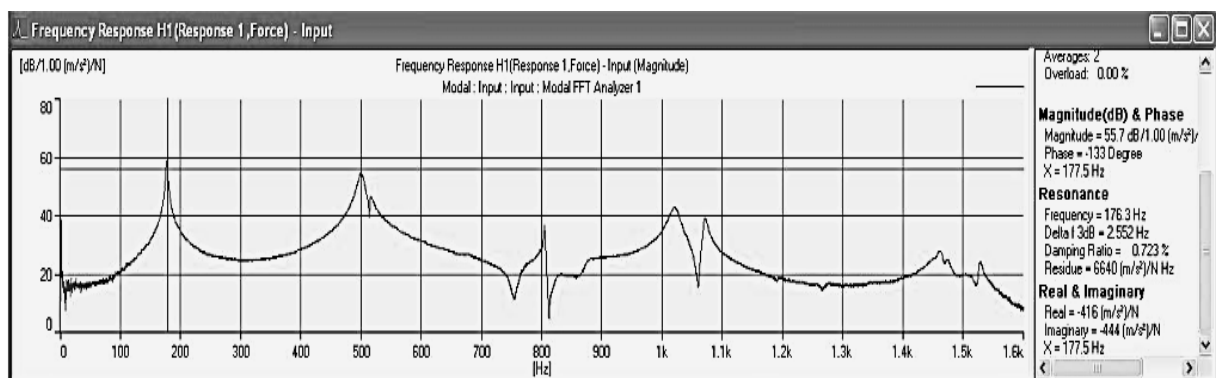


Gambar 3 Skema Titik Pengujian

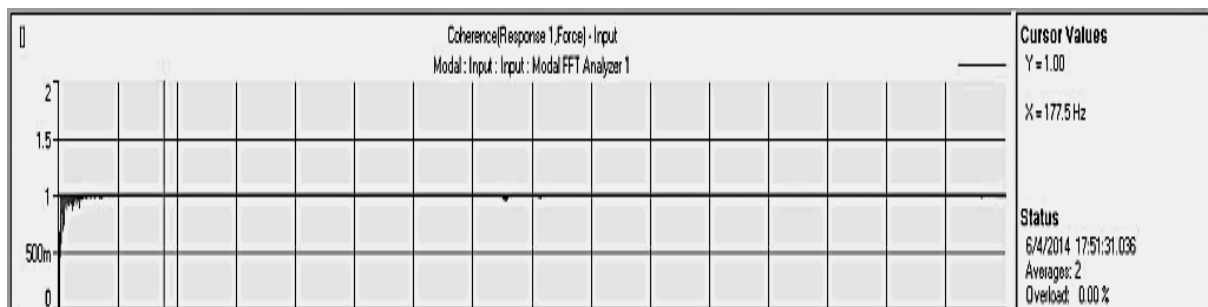
Prosedur Pengujian [3]

1. Raket tenis digantung pada balok, selanjutnya ditempelkan *accelerometer*.
2. Perangkat lunak dijalankan untuk pencuplikan data.
3. Pemberian gaya eksitasi pada posisi yang telah ditentukan dengan cara memukulnya dengan impact hammer.
4. Pengukuran respon dilakukan terhadap setiap titik dengan mencatat data getaran dalam grafik FRF (*frequency domain*).
5. Data hasil pencuplikan disimpan dalam file berekstensi *.txt dan diolah dengan micosoft excel.
6. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan posisi accelerometer pada delapan titik.

Pada Gambar 4 diperlihatkan grafik hasil pengujian. Gambar 4(a) menunjukkan FRF salah satu hasil pengukuran sedangkan Gambar 4(b) menunjukkan koherensi data yang bersesuaian. Koherensi yang bernilai satu menunjukkan hasil yang cukup baik [4].



a



b

Gambar 4 Hasil Pengujian

- a. Grafik FRF
- b. Grafik Koherensi

Dari grafik FRF hasil pengujian selanjutnya diperoleh frekuensi pribadi struktur uji. Modus getar dihitung dengan menghubungkan komponen imajiner dari frekuensi pribadi yang bersesuaian pada beberapa titik pengukuran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh frekuensi pribadi dan rasio redaman dari raket tenis, seperti yang tersaji dalam Tabel 1.

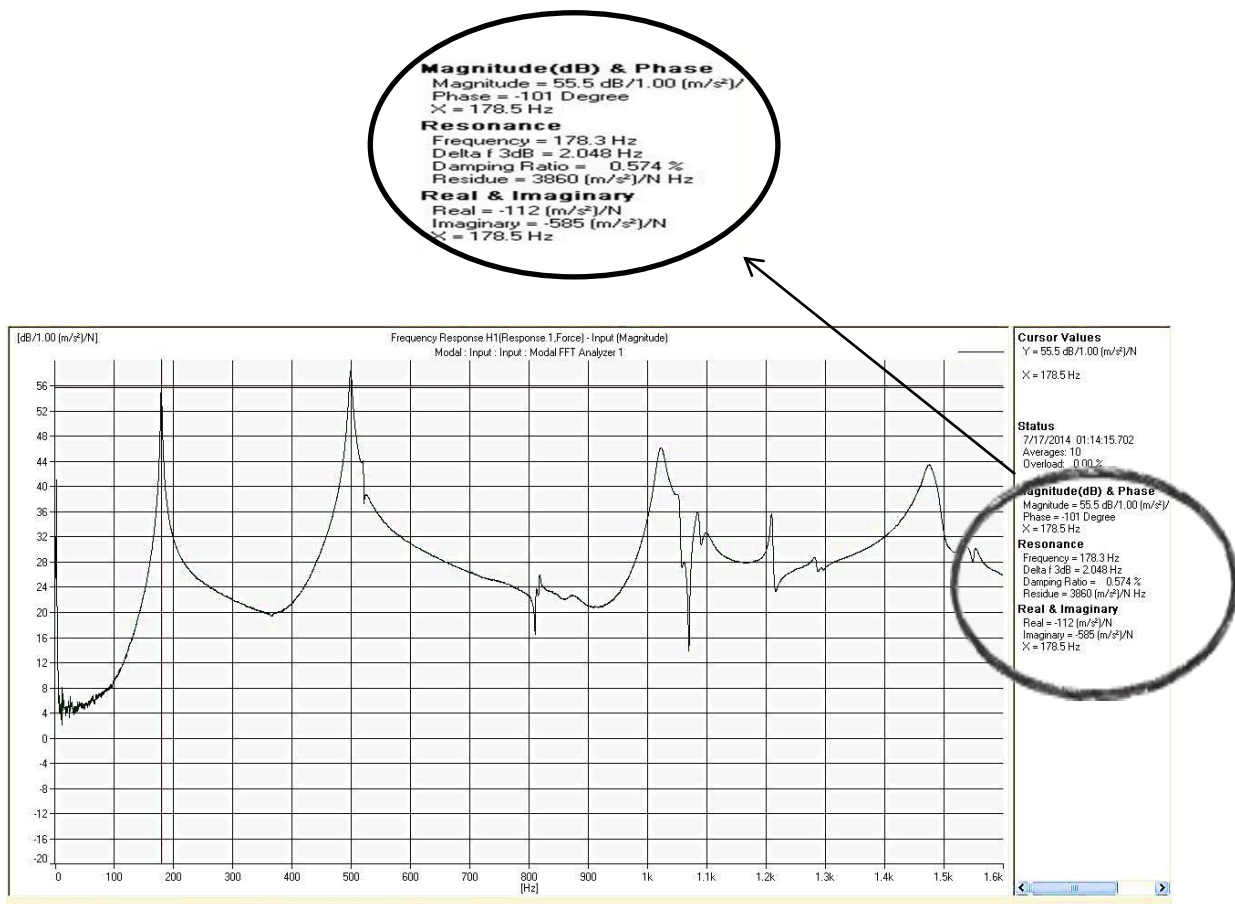
Tabel 1 Frekuensi Pribadi dan Rasio Redaman

Posisi pengukuran	Frekuensi pribadi ω (Hz) dan rasio redaman ξ (%)							
	ω_1 (Hz)	ξ_1 (%)	ω_2 (Hz)	ξ_2 (%)	ω_3 (Hz)	ξ_3 (%)	ω_4 (Hz)	ξ_4 (%)
1	174.3	0.759	499	0.553	1014	0.785	1448	2.65
2	178.5	0.561	498.5	0.575	1025	0.749	1459	0.979
3	178.3	0.574	498	0.543	1022	0.791	1475	0.857
4	177.8	0.566	504.8	0.495	1023	0.777	1467	1.2
5	178	0.551	505.3	0.511	1022	0.714	1463	1.59
6	179.5	0.666	503.3	0.875	1036	1.17	1471	1.01
7	178	0.891	507	0.463	1030	0.868	1471	0.819
8	177.3	1.07	502.3	0.812	1026	0.963	1469	1.14

Nilai frekuensi pribadi terendah terdapat pada posisi pengukuran pertama yang terletak di modus pertama, ketiga dan keempat berturut – turut, 74.3 Hz, 1014 Hz, dan 1448 Hz dan posisi pengukuran ketiga yaitu, 498 Hz. Sedangkan rasio redaman berturut – turut, 0,759%, 0,543%, 0,785%, dan 2,65%. Dari Tabel 1 juga terlihat bahwa rasio redaman selalu berbeda di setiap titik walaupun frekuensi pribadinya sama.

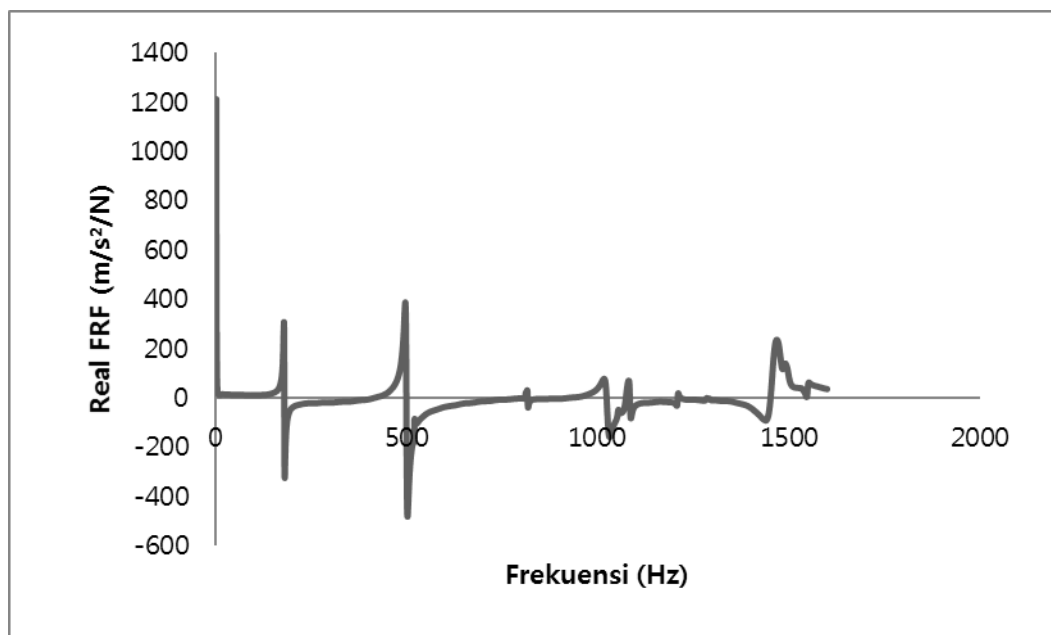
Posisi pengukuran 2 dengan 3 dan 4 dengan 5 merupakan posisi berseberangan yang simetris. Pada posisi ini diperoleh nilai frekuensi pribadi yang hampir sama, yang secara teoritik seharusnya sama. Penyimpangan ini terjadi karena tidak sempurnanya kesimetrisan struktur raket tenis.

Nilai frekuensi pribadi dan rasio redaman pada Tabel 1 diperoleh dari perekaman data yang terlihat pada Gambar 5.

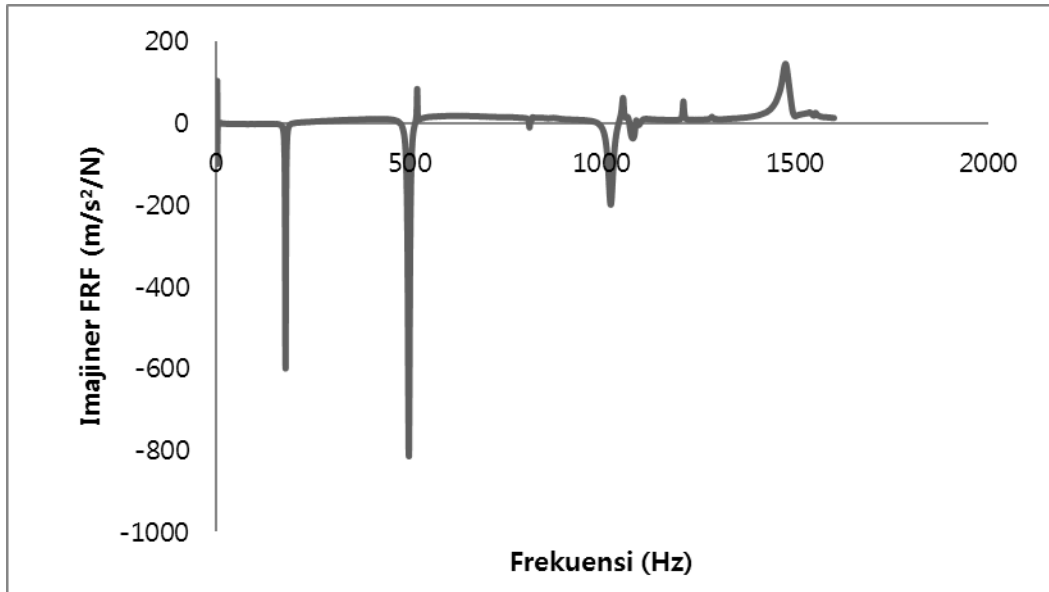


Gambar 5 Grafik FRF yang menunjukkan frekuensi pribadi

Selain frekuensi pribadi dan rasio redaman dari hasil pengujian juga diperoleh nilai real dan imajiner FRF yang disimpan dalam bentuk format *.txt. Nilai real dan imajiner ini diplot dalam bentuk grafik dengan frekuensi pribadi, seperti Gambar 6 dan Gambar 7.



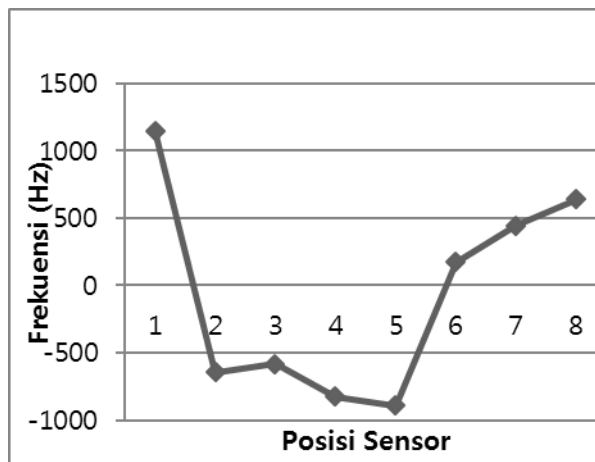
Gambar 6 Grafik bagian real FRF vs frekuensi



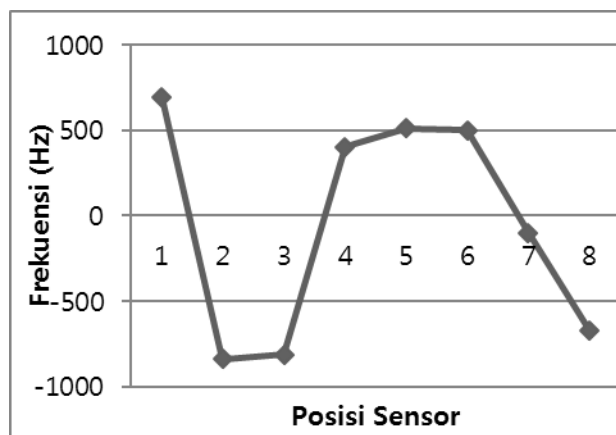
Gambar 7 Grafik bagian imajiner FRF vs frekuensi

Apabila FRF pada frekuensi pribadi yang sama dihubungkan satu sama lain untuk posisi 1 sampai 8 maka akan diperoleh grafik modulus getar [5].

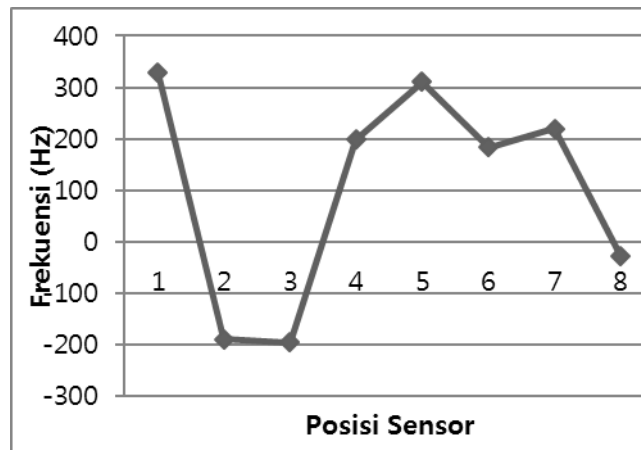
Modus getar adalah pola getar benda uji ketika bergetar pada salah satu frekuensi pribadinya. Pada percobaan ini didapatkan empat modulus getar terendah dari struktur pipa. Adapun empat modulus getar yang didapatkan dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



a



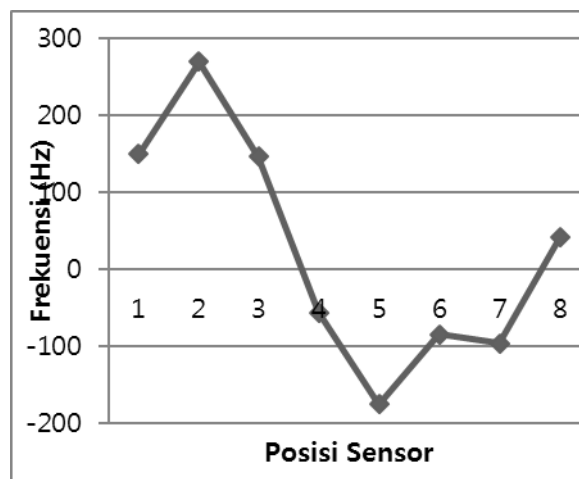
b



c

Gambar 8 Modus Getar Raket Tennis

- Modus getar pertama
- Modus getar kedua
- Modus getar ketiga
- Modus getar keempat



d

Gambar 8 Modus Getar Raket Tennis (lanjutan)

- Modus getar pertama
- Modus getar kedua
- Modus getar ketiga
- Modus getar keempat

4. SIMPULAN

Frekuensi pribadi terendah yang diperoleh dari pengujian raket tennis tanpa redaman yang dilakukan dalam rentang frekuensi 0-1600 Hz, masing-masing adalah 174.3 Hz, 498 Hz, 1014 Hz, 1448 Hz dengan rasio redaman berturut-turut 0,759%, 0,543% , 0,785% dan 2,65%. Rasio redaman berbeda untuk setiap titik pengujian walaupun frekuensi pribadinya sama. Frekuensi pribadi pada posisi berseberangan yang simetris memiliki besar hampir sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] He, J. & Fu, Z.-F., *Modal Analysis*, Butterworth - Heinemann. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 2001.
- [2] Schwarz, B. J. & Richardson, M. H., *Experimental Modal Analysis*, Vibrant Technology, Inc Jamestown, California, 1999.

- [3] Syafri, *Penentuan Parameter Modal untuk Struktur dengan Kondisi Bebas-Bebas*, Proceeding SNTTM XI & Thermofluid IV, UGM, Yogyakarta, 2012.
- [4] Bruel & Kjaer, *Structural Testing Part 2. Modal analysis and Simulation*, DK 2850 Naerum Denmark, 2009.
- [5] Ewins, D.J., *Modal Testing Theory, Praction and Application*, Second Edition, Research Studies Press LTD. Baldock, Hertfordshire, England, 2000.

Reduksi Suara Lengkingan pada Struktur Cakram dengan Beban Gesek melalui Penambahan Massa

Muchlisinalahuddin^{1*)}, Meifal Rusli²⁾, Mulyadi Bur²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Magister Teknik Mesin, Universitas Andalas

²⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang-25163

Email : muchlisinalahuddin.ppsunand2011@gmail.com; meifal@ft.unand.ac.id; Mulyadibur@ft.unand.ac.id

Abstrak

Suara lengkingan (*squeal noise*) sering terjadi jika salah satu permukaan kontak logam bergesekan dengan permukaan logam lainnya pada kondisi tertentu. Dalam banyak pengamatan, spektrum frekuensi yang dihasilkan didominasi oleh sejumlah puncak yang sangat tajam biasanya dalam rentang frekuensi 1-20 kHz, sering berupa bentuk frekuensi tunggal. Tulisan ini difokuskan pada modifikasi struktur untuk mengurangi suara lengkingan yaitu dengan menambahkan massa pada struktur berbentuk cakram sebagai pemodelan dari bentuk sederhana dari roda kereta api. Beberapa massa ditambahkan pada struktur cakram untuk mencegah getaran yang tidak stabil akibat gesekan dan untuk mengurangi suara lengkingan. Dalam penelitian sebelumnya ditemukan bahwa penambahan massa untuk struktur dengan gesekan yang menyebabkan suara lengkingan dapat diterapkan untuk menggeser atau mengurangi wilayah yang tidak stabil dari modus terkopel. dengan cara menghilangkan daerah tak stabil dari kondisi kerja. Pada penelitian ini, penambahan dua, empat dan delapan massa tambahan dengan berbagai ukuran ditambahkan di tepi cakram, dimana amplitudo getarannya lebih tinggi dibandingkan diposisi lainnya. Sehingga didapatkan bahwa dengan menambahkan delapan massa tambahan ditepi cakram suara lengkingan dapat dihilangkan, terutama dengan penambahan massa 50 gram dapat menghilangkan suara lengkingan dan dapat menggeser frekuensi pribadi menjadi 2114 Hz.

Kata Kunci : suara lengkingan, modus terkopel, peredam dinamik, penambahan massa

Abstract

Squeal noise often occurs when a contact surfaces of metal rubbing against another metal surface under certain conditions. In many observations, the frequency spectrum is dominated by a number of very sharp peaks typically in the frequency range 1-20 kHz, often in single frequency form. This paper is focused on structural modifications to reduce the squeal noise by adding a mass in a simple thin disc as a simple model of train wheel where squeal noise is frequently found when the train moves at curve track. Some masses are added to the disc to prevent unstable vibration caused friction and reduce the squeal noise. In previous study it is found that the addition of mass to the structure with friction that causes the squeal noise can be applied to shift or reduce unstable region of coupled mode. It works by removing the unstable region of the operating conditions. In this case two, four and eight lump masses with various mass is added to the edge of the disc where the vibration amplitude relatively higher than other position. It is found that by adding eight-lump masses to thin disc the squeal noise can be eliminated, especially by the addition 50 grams of the mass can eliminate the squeal noise, and shift the natural frequency to 2114 Hz.

Keywords: squeal noise, coupled mode, additional mass

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini polusi suara menjadi perhatian di negara-negara maju dan berkembang, terutama polusi suara yang ditimbulkan di jalan raya disekitar perkantoran dan daerah pemukiman. *Suaralengkingan (squeal noise) sebagai bentuk polusi suara yang terjadi jika salah satu permukaan kontak logam bergesekan dengan permukaan kontak logam lainnya pada kondisi tertentu. Dalam pengamatannya, jenis kebisingan seperti ini dihasilkan dalam spektrum frekuensi yang didominasi oleh sejumlah puncak yang sangat tajam biasanya dalam kisaran frekuensi 1-20 kHz dan sering berupa bentuk frekuensi tunggal. Frekuensi-frekuensi tersebut ditemukan terkait erat dengan frekuensi pribadi struktur.*

* Penulis korespondensi, HP: +62 751 72586

Email: muchlisinalahuddin.ppsunand2011@gmail.com

Beberapa teori yang menjelaskan mekanisme munculnya suara lengkingan akibat gesekan telah banyak dikembangkan. Akan tetapi belum ditemukan penjelasan yang secara lengkap dalam menjawab semua fenomena ini, baik pada roda kendaraan rel maupun pada rem kendaraan bermotor [1,2]. Berbagai metode empiris telah dikembangkan untuk mengurangi suara lengkingan pada kedua kasus tersebut. Sebagai contoh, Remington menemukan bahwa penambahan pelumas pada permukaan kontak dapat dengan sukses menekan / mengurangi suara lengkingan untuk beberapa jenis roda, tetapi ini tidak dapat bekerja untuk semua jenis roda [3]. Usaha untuk mencegah dan meredam terjadinya suara lengkingan inipun sudah berkembang lebih jauh akan tetapi belum memberikan hasil yang memuaskan [4].

Sementara itu, metode pengontrolan dan peredaman getaran untuk beberapa metode telah banyak dikembangkan. Salah satu metode yang cukup aplikatif digunakan dilapangan adalah peredam dinamik yang biasanya disebut dengan *dynamic vibration absorber* (DVA). Analisis numerik DVA untuk menghilangkan suara lengkingan sudah cukup banyak. Ada dua model sederhana dalam penerapan dasar DVA untuk reduksi suara lengkingan yaitu *model ketidakstabilan bentuk kopling dan model struktur rangka sederhana* [5].

Dalam tulisan ini akan dibahas penambahan massa untuk mereduksi terjadinya suara lengkingan pada struktur yang mengalami beban gesek. Penambahan massa akan diterapkan untuk mencegah ketidakstabilan modus kopling yang disebabkan oleh kontak gesekan. Metode ini diterapkan pada kasus sederhana yaitu struktur berbentuk cakram sebagai model sederhana dari roda kereta Api dimana suara lengkingan sering terjadi pada saat kereta bergerak pada belokan. Keberhasilan metode ini, akan menjadi dasar pengembangan teknologi pencegahannya dalam bentuk skala yang lebih luas.

2. KAJIAN PUSTAKA

Suara lengkingan (*squeal noise*) sering terjadi jika salah satu permukaan kontak logam bergesekan dengan permukaan logam lainnya pada kondisi tertentu. Dalam banyak pengamatan, jenis kebisingan seperti ini dihasilkan dalam spektrum frekuensi yang didominasi oleh puncak yang sangat tajam biasanya dalam kisaran 1-20 kHz, sering berupa bentuk frekuensi tunggal. Dua kasus yang paling sering ditemukan adalah pada rem kendaraan dan roda kendaraan rel yang bergerak di tikungan.

Secara umum, berdasarkan kajian eksperimental suara lengkingan pada struktur dengan gesekan mempunyai beberapa ciri sebagai berikut [6] :

- a) Suara lengkingan terjadi pada frekuensi yang dekat dengan salah satu frekuensi pribadi struktur.
- b) Getaran yang menimbulkan suara lengkingan mempunyai getaran dengan dua arah, arah tegak lurus permukaan gesek dan searah permukaan gesek.
- c) Frekuensi suara lengkingan tidak dipengaruhi oleh kecepatan relatif akibat gesekan.

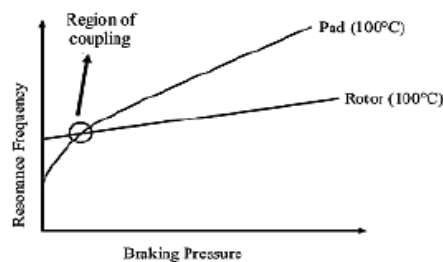
2.1. Suara lengkingan pada sistem dengan beban gesekan

Getaran yang terjadi pada struktur akibat dari dua logam yang bergesekan memicu terjadinya suara lengkingan. Suara jenis ini terjadi pada tingkat tekanan suara atau pada *Sound Pressure Level* (SPL) yang tinggi dan pada frekuensi tertentu. Ada dua teori yang mencoba menjelaskan bagaimana terjadinya fenomena tersebut muncul. Teori pertama disebut *stick-slip*, menurut teori ini suara lengkingan terjadi karena getaran tereksitasi sendiri dari sistem pengereman yang saling berhubungan yaitu antara koefisien gesekan (μ) dan kecepatan luncur relatif (v_r). Namun teori ini tidak dapat menjelaskan kecenderungan munculnya suara lengkingan jika digunakan pada sistem pengereman yang berbeda.

Selanjutnya dikembangkan teori kedua yaitu *sprag-slip*. Teori ini mengemukakan getaran tereksitasi sendiri dari sistem pengereman dengan tingkat getaran yang tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh kesalahan pemilihan parameter geometri dari sistem pengereman. Pada kasus ini, dua modus sistem yang secara geometris bergerak seiring dengan perubahan frekuensi akibat dari koefisien gesek yang meningkat. Kedua modus ini pada akhirnya terkopel pada frekuensi yang sama sehingga mengakibatkan ketidakstabilan. Kedua teori tersebut menghubungkan antara getaran saat terjadinya pengereman dan suara lengkingan yang terjadi antara piringan dan kampas rem. Variabel gaya gesek tersebut akan mengakibatkan masuknya energi ke dalam sistem. Ketika terjadinya suara lengkingan, sistem tidak dapat menyerap energi secara maksimal sehingga menimbulkan amplitudo getaran yang cukup tinggi [7].

Selanjutnya, Ketika sistem pengereman bekerja pada tekanan dan temperatur tertentu, karakteristik dinamik dari komponen rem dapat berubah secara signifikan. Sifat ini lebih cenderung terjadi pada kampas rem dibandingkan dengan piringan. Hal tersebut disebabkan karena piringan pada umumnya terbuat dari besi cor sementara itu kampas rem terbuat dari material yang berbeda

yang memiliki porsi material gesek yang signifikan. Akibat dari karakteristik material yang berbeda, saat kompresi terjadi maka kekakuan dari kampas rem meningkat secara signifikan sehingga menyebabkan frekuensi resonansi bergerak ke nilai yang lebih tinggi. Dengan kata lain, tekanan yang terjadi saat pengereman memiliki pengaruh yang kecil terhadap piringan. Besarnya tekanan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.

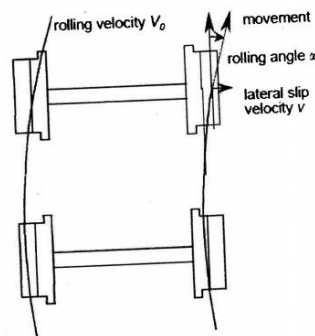


Gambar 1 Pengaruh tekanan pengereman terhadap frekuensi pribadi kampas dan piringan [7]

Pada Gambar 1 diperoleh hubungan bahwa frekuensi resonansi dari dua komponen yaitu piringan dan kampas rem berubah pada laju yang berbeda ketika tekanan pengereman bekerja. Seiring dengan berubahnya nilai frekuensi resonansi dari piringan dan kampas rem akibat dari tekanan saat pengereman, maka pada suatu kondisi tertentu akan terjadi peristiwa modus terkopel dimana kedua komponen akan bergetar pada frekuensi modus terkopel tersebut.

2.2 Lengkingan roda / rel Kereta Api

Suara lengkingan pada roda rel kereta Api menimbulkan suara yang sangat mengganggu lingkungan sekitar dan dapat didefinisikan sebagai level suara lengkingan yang paling tinggi. Pada umumnya suara tersebut berasal dari respon stabil dari roda kereta Api yang terjadi saat melintas di daerah tikungan yang tajam. Frekuensi yang dihasilkan saat melintasi tikungan berada pada 2.5 kHz dan 10 kHz [8]. Pada umumnya batas kebisingan tekanan suara yang terekam pada tikungan tersebut pada rentang 100-110 dB dengan radius 7,5 m dari pusat jalur lintasan. Mekanisme tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Roda kereta api saat melintasi tikungan [8]

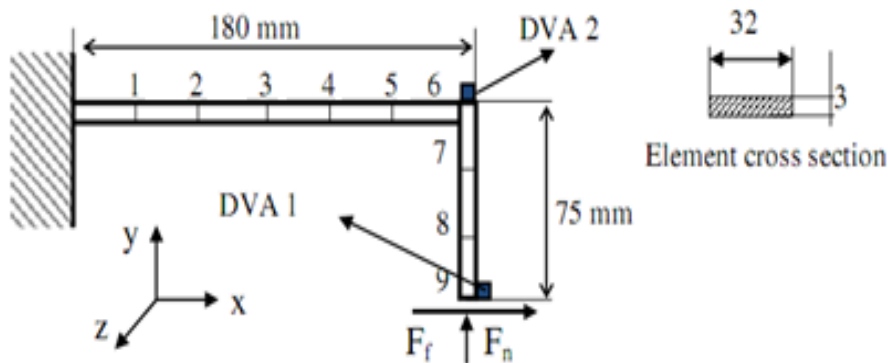
Dengan cara menurunkan batas siklus amplitudo merupakan suatu metode yang sangat baik untuk mengurangi suara lengkingan yang terjadi. Hal ini biasanya dicapai dengan mengurangi kecepatan kereta Api dan dengan meningkatkan radius tikungan. Oleh karena itu, kecepatan tanjakan (*scrabbing*) terutama saat melewati tikungan dengan suara lengkingan yang cukup tinggi dapat dikurangi dengan dua metode tersebut.

2.3. Koefisien gesekan

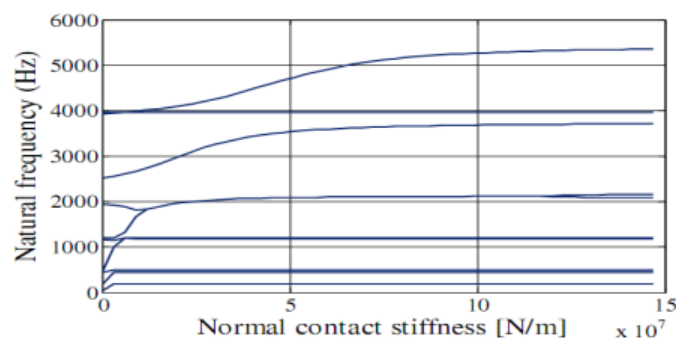
Dalam kasus terjadinya pergeseran atau gesekan antar permukaan logam, komponen mekanik akan menjadi kontributor yang paling penting terjadinya gaya gesekan. Kontribusi terhadap gaya gesek akan dihasilkan oleh resistensi mekanik karena deformasi elastis dan plastis dari kekasaran (*asperities*) permukaan serta gaya perekatan antara kekasaran tersebut. Sebuah penelitian eksperimental menunjukkan bahwa korelasi antara gesekan dan *adhesi* tergantung pada banyak parameter seperti temperatur, kecepatan pergeseran, massa dan kelembaban relatif. Oleh karena itu, korelasi dari masing - masing parameter tersebut sulit untuk dimodelkan. Eriksson [9] meneliti pengaruh koefisien gesekan terkait bantalan rem mobil pada berbagai tekanan, kecepatan dan

kekasaran permukaan. Dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa sangat sulit untuk membangun model yang akurat dari gesekan dalam sistem eksperimental dengan koefisien gesek dari bantalan antara 0,3 dan 0,6.

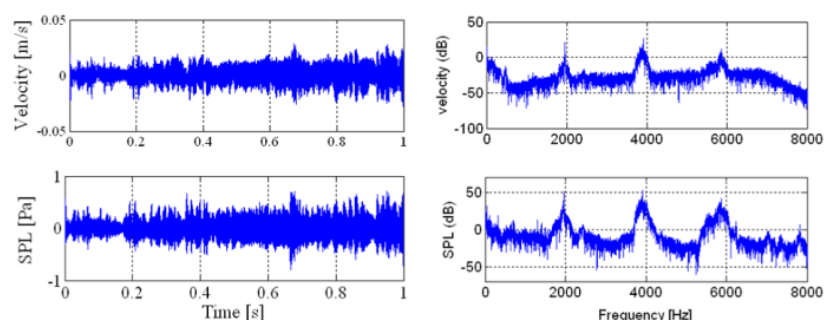
Pada kasus lain, penambahan massa yang sudah dilakukan adalah bentuk elemen hingga rangka ruang berbentuk L [10]. Model tersebut terbuat dari baja tahan karat dengan kontak gesek pada salah satu ujungnya, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3. Keseluruhan rangka dimodelkan dengan 9 elemen rangka ruang yang berpenampang seragam. Gaya gesek diberikan hanya pada nodal ke 9 dalam arah sumbu x sistem koordinat global dan harga kekakuan kontak normal dipilih bervariasi hingga 1×10^8 N/m. Gaya kontak tangensial yang disebabkan oleh kekakuan kontak tangensial diakumulasikan ke dalam bentuk gaya gesek total seperti yang dinyatakan oleh koefisien gesekan dinamik sebesar 0.5.



Gambar 3 Struktur rangka untuk menghasilkan suara lengkingan [10]



Gambar 4 Frekuensi pribadi dari rangka berbentuk L terhadap kekakuan kontak normal [10]



Gambar 5 Respon getaran dan tekanan suara lengkingan yang dihasilkan [10]

Berdasarkan kaji eksperimental telah diperoleh bahwa ketika batang penggesek digerakkan dalam arah sumbu x dan mulai menggesek rangka L pada nodal 9. Maka suara lengkingan muncul secara teratur selama terjadinya gesekan. Respon getaran di nodal 5 dan tingkat tekanan suara dari suara lengkingan diplotkan dalam ranah waktu dan ranah frekuensi seperti yang ditunjukkan oleh

Gambar 2.6. Suara lengkingan cukup jelas disusun atas beberapa *spektra* pada frekuensi 1955 Hz (harmonik pertama), 3910 Hz (harmonik kedua), dan 5865 Hz (harmonik ketiga).

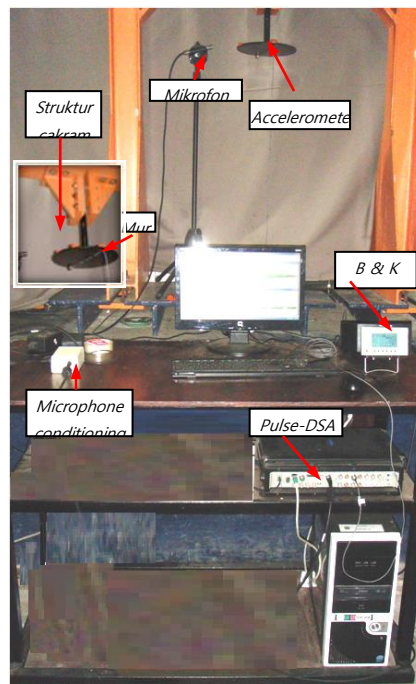
Penambahan suatu sistem massa-pegas dalam arah vertikal akan meningkatkan osilasi gaya normal yang menghasilkan osilasi gaya gesek tangensial. Penambahan massa di nodal 6 rangka berbentuk L meningkatkan kemungkinan terjadinya ketidakstabilan. Massa tambahan di nodal 6 dapat bergerak secara fleksibel dalam arah vertikal tetapi sangat sulit dalam arah mendatar, karena kekakuan struktur. Dengan demikian, penambahan massa menghasilkan kenaikan osilasi gaya normal.

Di lain pihak, penambahan massa dalam arah mendatar di dekat titik gesekan menyerap lebih banyak energi untuk menggerakkan struktur dan massa tambahan. Kondisi ini menyatakan bahwa lebih banyak energi yang dibutuhkan untuk membuat sistem mejadi tak stabil. Penambahan massa di nodal 9 mengurangi kemungkinan terjadinya ketidakstabilan. Massa tambahan di nodal 9 bergerak secara fleksibel dalam arah mendatar.

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dibuat struktur uji yaitu struktur uji berbentuk Cakram. Pada pengujian pertama, massa tambahan belum diberikan pada struktur. Metode yang akan dilakukan adalah dengan melakukan Uji *impact*. Alat yang digunakan adalah *accelerometer* sebagai pengukur percepatan dan *Impact Hammer* sebagai pengukur besarnya gaya yang diberikan. Selanjutnya dilakukan uji gesek pada ujung struktur untuk mendapatkan frekuensi suara lengkingan yang dihasilkan saat terjadinya gesekan. Penempatan mikropon sebagai perekam suara lengkingan 10 cm dari benda kerja dan tegak lurus dari gesekan yang dilakukan. Pengujian kedua akan diberikan massa tambahan pada sisi pinggir dari kedua struktur untuk mereduksi suara lengkingan yang dihasilkan. Penempatan massa tambahan tersebut didasarkan pada titik dari modus tertinggi dari struktur. Variasi massa tambahan yang diberikan pada struktur diberikan sampai suara lengkingan bisa teredam dengan maksimal

Selanjutnya, pemasangan benda uji disambungkan dengan batang penghubung untuk memudahkan jepitan pada tumpuan. Material yang dipakai pada kedua alat uji ini adalah baja yang berbentuk cakram dengan diameter 200 mm dan tebal 3 mm. Gambar alat uji pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 6.



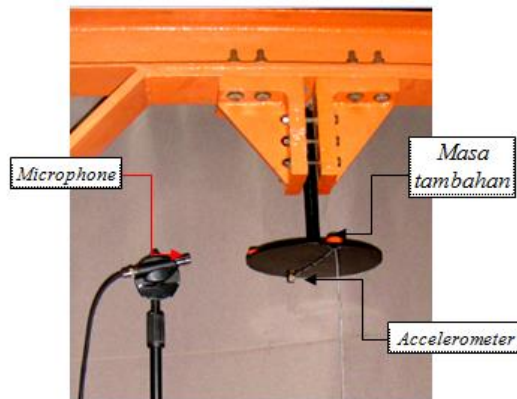
Gambar 6 Rangkaian alat pengujian

Instrumentasi akuisisi data yang digunakan selama pengujian yaitu pulse analyzer tipe 3560 C Bruel & Kjaer. Bruel & Kjaer berfungsi sebagai media yang mengkonversikan sinyal analog yang diperoleh dari sensor menjadi sinyal digital. Kemudian, diolah dengan perangkat lunak Matlab 2013a.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

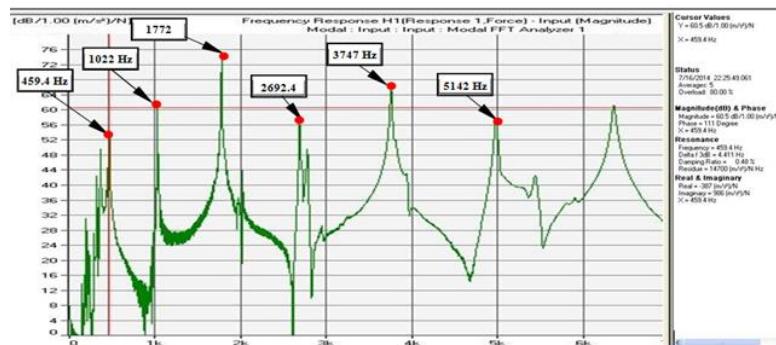
4.1. Struktur berbentuk cakram

Pemodelan dari bentuk cakram ini adalah pemodelan sederhana dari bentuk roda rel kereta Api. Dimana hasil akhir dari pengujian ini bisa di aplikasikan pada roda rel kereta Api. Bentuk pemasangan alat pengujian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Bentuk pemasangan struktur bentuk cakram

Pada pengujian ini, sebelum uji gesek dilakukan maka terlebih dahulu dilakukan uji *impact* dengan menggunakan *impact hammer*. Tujuannya adalah untuk melihat nilai modulus getar dan frekuensi yang dihasilkan dari struktur. Dari hasil penelitian didapatkan 5 (lima) modulus terendah dari struktur cakram yaitu 459.4 Hz, 1022 Hz, 1772 Hz, 2692.4 Hz dan 3747 Hz. Hasil penelitian diperlihatkan pada Gambar 8.

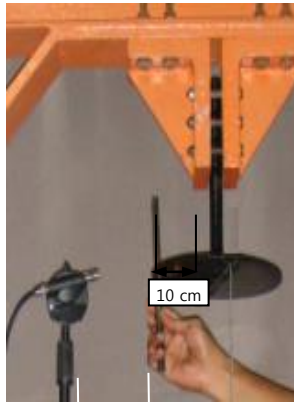


Gambar 8 Uji beban kejut untuk mengetahui frekuensi pribadi struktur cakram
Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa modulus terendah struktur berada pada nilai 459.4 Hz. Pengambilan modulus struktur ini adalah langkah awal sebelum melihat fenomena suara lengkingan yang terjadi pada struktur kalau struktur tersebut diberikan gaya gesekan.

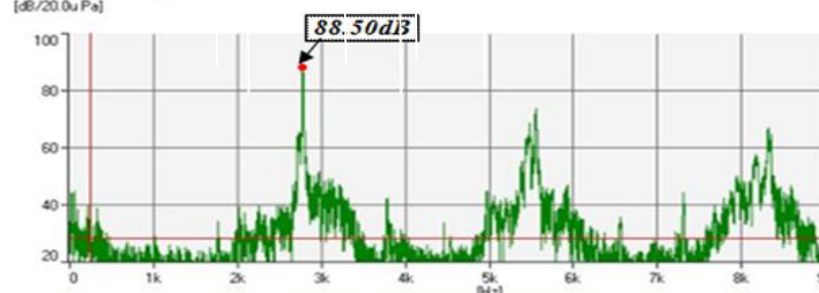
Tabel 1 Frekuensi pribadi struktur berbentuk cakram hasil *impact testing*

Modus	Frekuensi (Hz)
1	459.4
2	1022
3	1772
4	2692
5	3747
6	5142

Selanjutnya, setelah uji *impact* dilakukan maka akan dilanjutkan dengan uji gesek untuk menentukan besarnya nilai frekuensi suara lengkingan yang terjadi. Teknik gesekan pada struktur cakram sebelum massa tambahan diberikan serta bentuk grafik dari suara lengkingan yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Gesekan struktur cakram untuk menghasilkan suara lengkingan
Hasil pengujian gesek sebelum ditambahkan massa dapat dilihat pada Gambar 10.



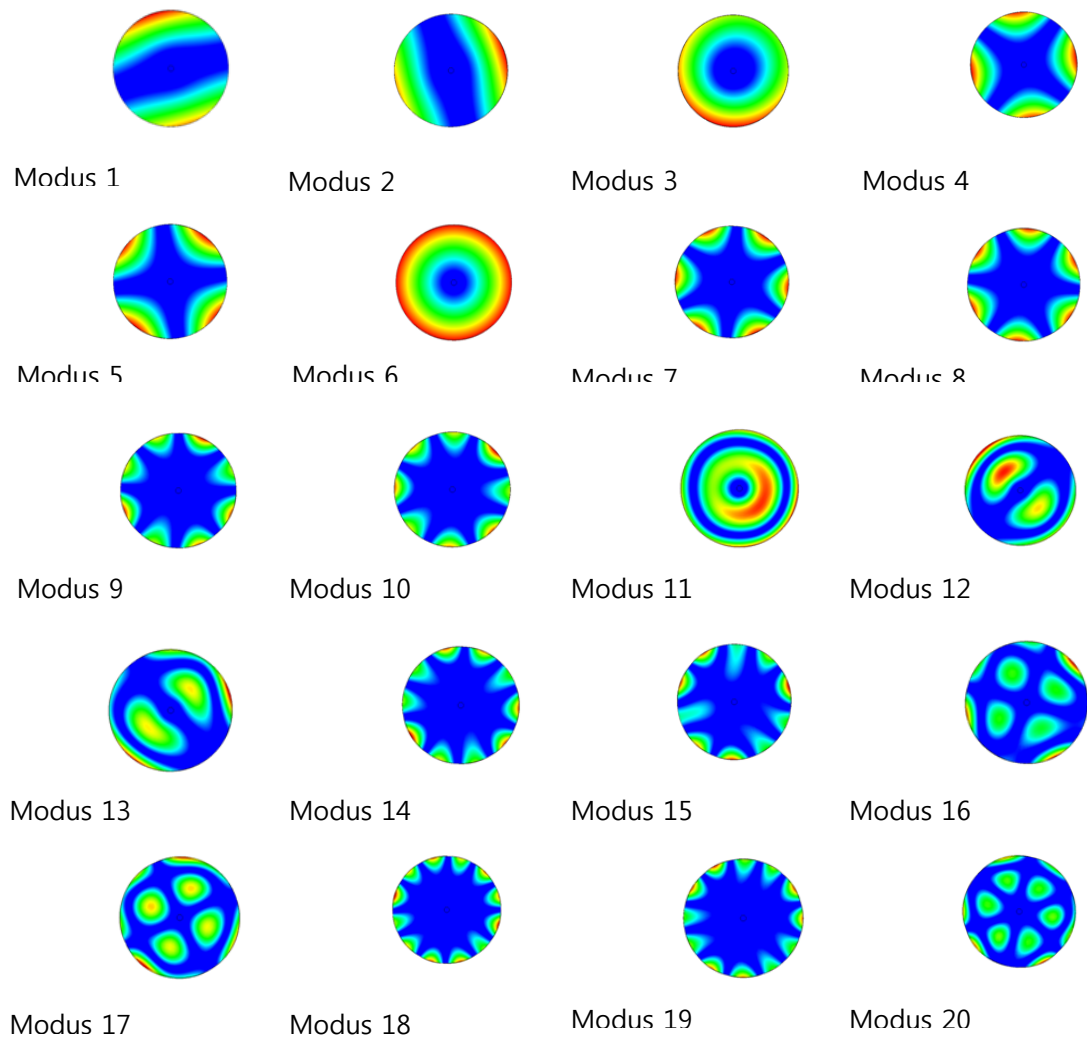
Gambar 10 Spektrum suara lengkingan akibat gesekan sebelum penambahan massa
Setelah dilakukan pengambilan data sebanyak 15 kali per masa per posisi massa yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa nilai frekuensi yang terjadi saat munculnya suara lengkingan sebesar 2785 Hz, 5545 Hz dan 8313 Hz dengan tekanan suara lengkingan yang dihasilkan sebesar 88.50 dB.

Selanjutnya pemodelan dilakukan dengan program inventor yaitu untuk melihat model struktur saat terjadinya suara lengkingan dan melihat frekuensi yang bersesuaian dengan frekuensi lengkingan yang terjadi. Pada Tabel 2 adalah urutan frekuensi yang dihasilkan dengan bentuk pemodelan yang dilakukan dan pada Gambar 2 menunjukkan hasil dari bentuk pemodelan dari program yang dilakukan.

Tabel 2 Frekuensi pribadi struktur berbentuk cakram dengan FEM

Modus	Frekuensi (Hz)	Modus	Frekuensi (Hz)
1	221.9	11	1779.42
2	229.13	12	1948.85
3	304.92	13	1972.86
4	423.35	14	2652.19
5	424.06	15	2667.06
6	664.61	16	2775.21
7	970.02	17	2822.51
8	970.6	18	3772.49
9	1717.74	19	3789.67
10	1719.4	20	4209.37

Bentuk dari modus getar struktur cakram berdasarkan frekuensi pribadi seperti pada Tabel 2 ditunjukkan pada Gambar 11.

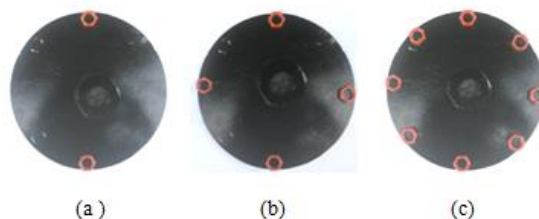


Gambar 11 Bentuk modulus struktur cakram

Hasil dari uji impact testing yang telah dilakukan sebelumnya, akan dibandingkan dengan bentuk modulus getar yang dihasilkan dari bentuk pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak Inventor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pada Gambar 11 akan dipilih bentuk modulus yang memiliki nilai yang sama atau mendekati dengan hasil *impact testing* sebelumnya. Bentuk modulus getar tersebut adalah acuan yang akan digunakan saat uji gesek dilakukan, dimana modulus tertinggi dari bentuk pemodelan tersebut ditandai dengan warna merah dan juga merupakan titik dimana massa tambahan akan ditempatkan. Variasi nilai massa tambahan dilakukan dengan tujuan supaya dapat menurunkan suara lengkingan secara maksimal.

4.2. Teknik penambahan massa di tepi cakram

Berdasarkan hasil dari pengujian modulus getar serta bentuk pemodelan struktur yang telah dilakukan sebelumnya. Karena modulus terbesar struktur tersebut berada di tepi atau pinggir cakram, maka penempatan massa di tepi cakram akan dilakukan 3 bagian yaitu pada posisi 2 titik, 4 titik dan 8 titik. Untuk titik 2 dan titik 8 adalah sebagai perbandingan nilai dimana suara lengkingan secara maksimal turun secara signifikan antara 3 bentuk titik tersebut. Teknik penempatan massa tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.

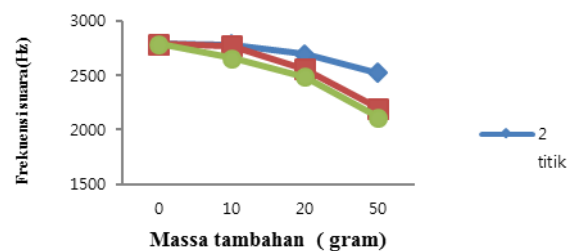


Gambar 12 Teknik penempatan massa di tepi cakram (a) 2 titik, (b) 4 titik dan (c) 8 titik

Dari hasil uji gesek serta teknik penempatan massa untuk mereduksi suara lengkingan yang terjadi, pergeseran frekuensi yang terjadi dengan variasi massa tersebut dapat disederhanakan dalam bentuk Tabel 3 dan Gambar 13.

Tabel 3 Frekuensi lengkingan struktur cakram dengan variasi massa tambahan

Posisi massa tambahan	Frekuensi lengkingan (Hz)			
	0	10 (gr)	20 (gr)	50 (gr)
2 titik	2785	2781	2692	2523
4 titik	2785	2771	2555	2197
8 titik	2785	2659	2489	2114

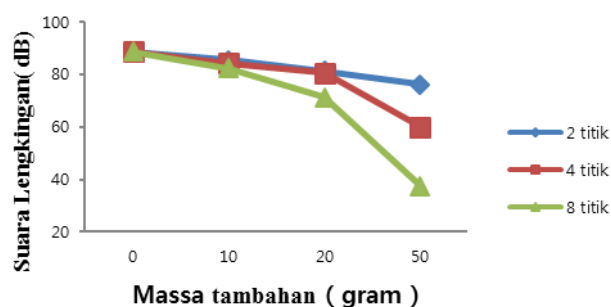


Gambar 13 Frekuensi suara lengkingan dengan variasi massa tambahan struktur cakram pada 2 titik ,4 titik dan 8 titik

Untuk besaran nilai tekanan suara lengkingan yang terjadi dari cuplikan data pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 14 menunjukkan penurunan tekanan suara lengkingan berdasarkan variasi massa tambahan yang diberikan.

Tabel 4 Suara lengkingan struktur cakram dengan variasi massa tambahan

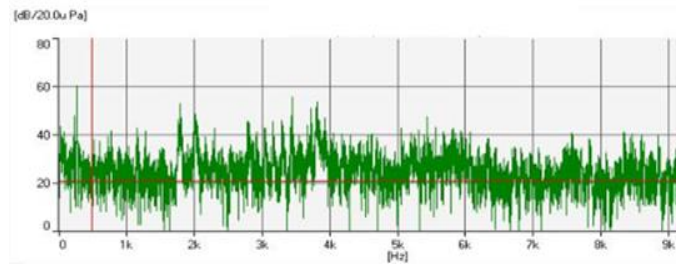
Posisi massa tambahan	Tekanan suara (dB)			
	0	10(gr)	20 (gr)	50 (gr)
2 titik	88.5	85.35	81.27	76
4 titik	88.5	84.15	80.59	60
8 titik	88.5	82.27	71.2	37.5



Gambar 14 Suara lengkingan dengan variasi massa tambahan struktur cakram 2 titik, 4 titik dan 8 titik

Berdasarkan grafik tersebut diatas didapatkan bahwa semakin besar massa yang diberikan pada struktur terutama stuktur berbentuk cakram maka Tekanan suara lengkingan semakin kecil atau berkurang disertai dengan penurunan nilai frekuensi yang dihasilkan.

Untuk massa tambahan melebihi dari 50 gram seperti yang di tunjukan pada Gambar 15 adalah tekanan suara lengkingan hilang maksimal yang ditandai dengan tidak munculnya spektrum puncak frekuensi yang tajam saat uji gesek dilakukan.



Gambar 15 Penambahan massa melebihi 50 gram untuk struktur berbentuk cakram

Pada Gambar 15 didapatkan kesimpulan bahwa penerapan peredam dinamik pada pengujian ini mampu mengurangi amplitudo getaran dan juga mampu mengeliminasi ketidakstabilan struktur, sehingga suara lengkingan dapat direduksi secara maksimal.

5. SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan teknik modifikasi struktur melalui penambahan massa pada struktur mekanik untuk mengurangi suara lengkingan akibat adanya gesekan. Pada penelitian ini telah dipilih struktur mekanik yaitu struktur cakram sebagai contoh kasus.

Pada pengujian ini. Massa tambahan divariasikan pada 3 posisi yaitu 2 titik, 4 titik dan 8 titik di pinggir cakram. Penambahan massa di 2 titik dan 4 titik di pinggir cakram dekat gesekan tidak menunjukkan efek yang cukup besar dalam menurunkan suara lengkingan walaupun dapat menurunkan suara lengkingan lebih sedikit dibanding di 8 titik. Bahkan dengan massa tambahan 50 gram di 8 titik dapat menghilangkan suara lengkingan sama sekali. Dengan pergeseran frekuensi riabdi sebesar 2114 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ibrahim, R. A., *Friction-induce vibration, chatter, squeal, and chaos, Part II: Dynamics and Modeling*, ASME Applied Mechanic Review, Vol. 47, No.7, pp. 227-253, 1994.
- [2] Kinkaid, N.M., O'Reilly, O.M., and Papadopoulos, P., *Review automotive disc brake squeal*, Journal of Sound And Vibration, Vol.267, pp.105-166, 2003.
- [3] Remington, P.J., *Wheel/rail squeal and impact noise: what do we know? What don't we know? Wheredo we go from here*, Journal of Sound and Vibration, Vol. 116(2), pp. 339-353, 1986.
- [4] Brunel, J.F, Dufrénoy, P., and Charley, J., *Analysis of the attenuation of railway squeal noise by preloaded rings inserted in wheels*, Journal Acoustic Society. Vol. 127-3, pp. 1300–1306, 2010.
- [5] Rusli, M., Bur, M., and Son, L., *Dynamic Vibration Absorber for Squeal Noise Suppression in Simple Model Structures*, International Journal of Structural Stability and Dynamics Vol. 15, 2015.
- [6] Giannini, O., Akay, A., and Masi, F., *Experimental analysis of brake squeal noise on a laboratory brake setup*, Journal of Sound and Vibration, Vol. 292, pp.1-20, 2006.
- [7] Triches, M., Gerges, S.N.Y., and Jordan, R., *Reduction of squeal noise from disc brake systems using constrained layer damping*, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Rio de Janeiro, 2004.
- [8] Rusli, M., *New Experiment-based Methode of structural Analysis for prediction of squeal noise*. Disertation of department of mechanical and aerospace Engineering of the graduated school of science of Tokyo Institute of Techonology, 2007.
- [10] Eriksson, M., Bergman, F., and Jacobson, S., *On the nature of tribological contact in automotives brakes* Wear 252, 26-36, 2002.
- [11] Rusli, M., and Okuma, M., *Effect of surface topography on mode-coupling model of drycontact sliding systems*, J. Sound Vibr. 308, 721-734, 2007.

Drag Reduction Suspensi Bakteri Selulosa pada Aliran Crude Oil dalam Pipa Spiral

Yanuar^{1)*}, Kurniawan²⁾, Rendi³⁾, Habib³⁾, Edwin³⁾, Vaul³⁾

¹⁾Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta 16424

²⁾Mahasiswa Program Pasca Sarjana, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta 16424

³⁾Mahasiswa Program Sarjana Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta 16424

Email: yanuar@eng.ui.ac.id

Abstrak

Pressure drop adalah salah satu aspek penting yang mempengaruhi konsumsi energi yang digunakan dalam suatu transportasi fluida menggunakan pipa. *Drag Reduction Agent (DRA)* merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi timbulnya *pressure drop* pada aliran fluida dalam pipa dengan menambahkan sejumlah zat aditif kedalam aliran. Zat aditif yang digunakan dalam penelitian ini berupa fiber bakteri selulosa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *drag reduction* dalam aliran minyak mentah (*crude oil*) dalam pipa spiral dengan rasio P/D_i 7.6. $Re = 10^3 - 5 \cdot 10^4$. Dalam penelitian ini juga digunakan pipa bulat dengan diameter 17 mm sebagai pembandingan. Penambahan bakteri selulosa dengan konsentrasi 250 ppm, 500 ppm, dan 750 ppm pada aliran crude oil dapat mengurangi *drag* pada pipa spiral ataupun pipa bulat. *Drag reduction* pada pipa bulat sebesar 15 % dan pada pipa spiral 13 %.

Kata kunci : *Pressure drop*, bakteri selulosa, *crude oil*, pipa spiral.

Abstract

Pressure drop is one of the important aspects that influence the energy consumption used in a transport fluid using a pipe. *Drag Reduction Agent (DRA)* is one alternative to reduce the occurrence of *pressure drop* in the fluid flow in a pipe by adding additives into the flow. Additives used in this study is bacterial cellulose fiber suspension. This study aims to determine the characteristics of *drag reduction* in the flow of crude oil in a spiral pipe with the ratio P/D_i 7.6. Reynolds number was $10^3 - 5 \cdot 10^4$. In this study also used a circular pipe with a diameter of 17 mm for comparison. The addition of bacterial cellulose with a concentration of 250 ppm, 500 ppm, and 750 ppm in the crude oil flow to reduce drag in spiral pipe or circular. From this research, the drag reduction on circular pipe by 15% and 13% in the spiral pipe.

Keywords : *Pressure drop*, bacterial cellulose, crude oil, spiral pipe

1. PENDAHULUAN

Salah satu alternatif terbaik untuk mengurangi penurunan tekanan (*drag reduction*) dalam suatu aliran fluida dengan cara menambahkan suatu zat aditif yang disebut *Drag Reducing Agent (DRA)* [1,2]. *Drag Reduction Agent (DRA)* merupakan suatu jenis zat aditif (polimer, surfactant, dan fiber) yang ditambahkan kedalam aliran fluida yang berfungsi untuk meminimalkan atau menurunkan drag atau frictional pressure loss/drop dalam aliran fluida yang bersifat turbulen. Dengan berkurangnya rugi tekanan maka diperoleh aplikasi dari DRA yaitu menaikkan kapasitas pemompaan (*flow increase*). Apabila kapasitas pemompaan tetap maka akan menurunkan tekanan pompa dan itu artinya dapat mengurangi konsumsi energi dari pompa [3].

Fenomena dari *drag reduction* pertama kali dipublikasikan oleh Dr Toms [4] pada tahun 1948 sehingga fenomena tersebut dinamakan Toms effect. *Drag Reduction Agent* pertama kali diujicobakan dan diaplikasikan pada tahun 1978 pada pipa Trans-Alaska. Karena memperoleh hasil yang positif, pertama kali DRA diinjeksikan secara komersial pada pipa Trans-Alaska pada tahun 1979 [3]. Penggunaan surfactant [5] untuk pengurangan drag dalam suatu aliran fluida sangat efektif dengan persentase *drag reduction* sampai 75% dan degradasi mekanik yang rendah. Akan tetapi, surfactant mengandung zat kimia sintetis yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Pengujian menggunakan biopolymer juga memiliki efek yang sama dan penggunaannya tidak berbahaya bagi lingkungan, namun biopolymer memiliki degradasi mekanik yang tinggi. Pengujian menggunakan biopolymer terhadap aliran fluida menggunakan pipa bulat dan pipa spiral juga telah diuji oleh Yanuar et al [6]. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan biopolymer guar gam dapat mengurangi hambatan gesek sampai 30 %.

* Penulis korespondensi, Hp: 021-7270032
Email: yanuar@eng.ui.ac.id

Disamping itu, penggunaan fiber [7,8,9] seperti asbestos atau nylon sangat efektif dan tahan terhadap degradasi mekanik, namun memiliki kekurangan sehubungan dengan limbah yang dihasilkan. Hal ini disebabkan fiber membutuhkan konsentrasi yang tinggi untuk menghasilkan efek drag reduction.

Jenis fiber lain yang menghasilkan limbah lebih sedikit juga telah diteliti [10,11] berupa serat bambu dan bacterial cellulose suspensions. Penelitian menggunakan bacterial cellulose menunjukkan efek yang sangat signifikan dalam pengurangan drag. Rasio drag reduction maksimum yang diperoleh dari penambahan bacterial cellulose sebesar 11% dan masih mengalami peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi bacterial cellulose kedalam aliran fluida.

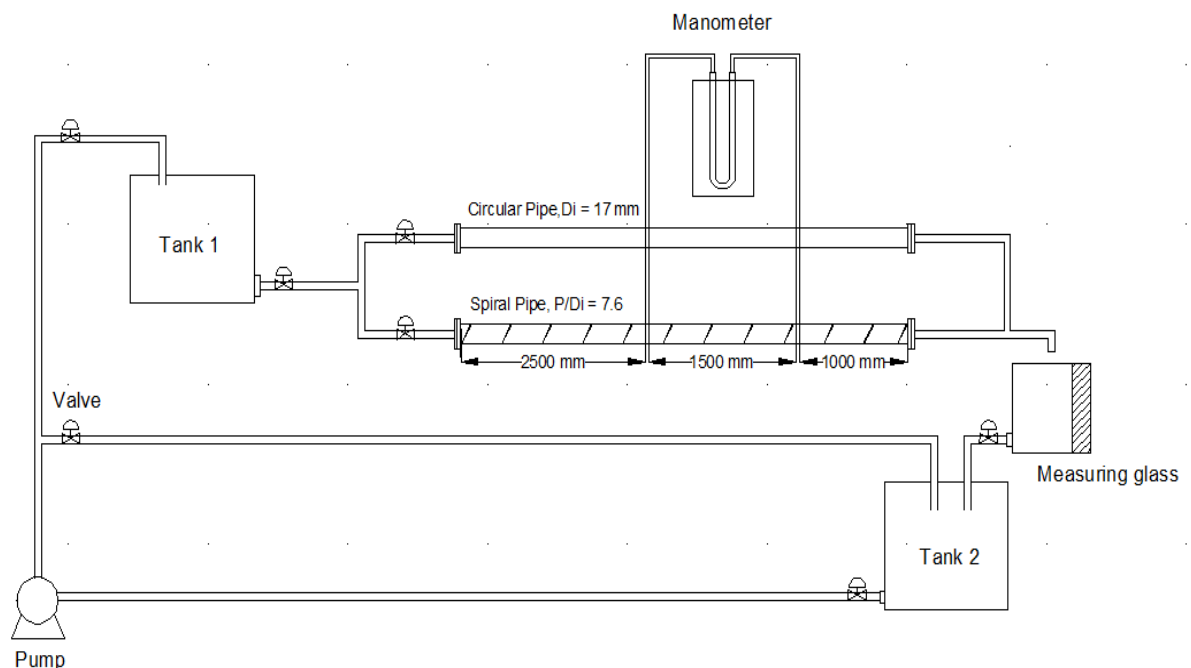
Aplikasi DRA pada transportasi fluida pada industri perminyakan sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi energi. Hal ini dikarenakan minyak mentah hasil pengeboran (onshore ataupun offshore) mengandung partikel-partikel suspensi, sehingga dalam transportasi fluida membutuhkan daya pompa yang sangat besar. Disamping itu, apabila daya pompa tidak cukup tinggi akan menyebabkan adanya pengendapan partikel-partikel suspensi pada dasar pipa. Menurut Watanabe K et al [12] salah satu solusi untuk transportasi fluida yang mengandung suspensi adalah penggunaan pipa spiral. Pengurangan drag pada pipa spiral juga ditentukan oleh pemilihan Pitch dan diameter pipa spiral. Berdasarkan penelitian Kurniawan et al [13] dengan pengujian tiga variasi pipa spiral menggunakan polimer didapatkan P/Di yang menghasilkan pengurangan drag paling besar adalah pipa spiral dengan ukuran P/Di 7.6.

Dalam penelitian ini digunakan bakteri selulosa yang merupakan serat fiber yang terbentuk secara alami oleh *Acetobacter xylinum* yang diambil dari nata de coco sebagai drag reducer yang akan ditambahkan kedalam aliran crude oil dalam pipa spiral dan pipa bulat sebagai pembanding. Pipa spiral yang digunakan adalah pipa dengan rasio P/Di 7.6 dan pipa bulat dengan diameter 17 mm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik drag reduction pada aliran fluida (crude oil) dalam pipa spiral dengan penambahan konsentrasi (ppm) bakteri selulosa. Penelitian ini menggunakan variasi penambahan bacterial cellulose kedalam 15 liter crude oil dengan konsentrasi sebesar 250 ppm, 500 ppm, dan 750.

2. METODE

2.1. Rancangan Alat Uji dan Prosedur

Rancangan alat uji ditampilkan pada gambar 1. Alat uji yang digunakan adalah sistem perpipaan tertutup menggunakan pipa bulat dengan diameter 17 mm dan pipa spiral dengan diameter pitch ratio (P/Di) 7.6. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan kapasitas 60L/m. Konsentrasi bakteri selulosa yang ditambahkan kedalam aliran fluida (crude oil) sebesar 250, 500, dan 750 ppm dengan temperature ruangan 26 °C.



Gambar 1 Rancangan alat uji

Bakteri selulosa berasal dari nata de coco yang dijual dipasaran. Nata de coco mengandung 99% air dan 1 % bakteri selulosa berupa serat fiber.

2.1. Reologi Model

Karakteristik aliran fluida di dalam pipa direpresentasikan dalam diagram Moody. Persamaan friction coefficient untuk aliran laminar dinyatakan sebagai kurva lurus Hagen-Poiseuille dan Blasius untuk aliran turbulen dan rasio kekasaran permukaan pipa. Pada fluida Newtonian, hubungan antara tegangan geser (shear stress) dan gradien kecepatan (shear rate) mengikuti hukum Newton dengan persamaan :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

Dimana : τ adalah tegangan geser, μ merupakan viskositas fluida, dan $\frac{\partial u}{\partial y} = \gamma$ merupakan laju geseran (shear rate) sehingga dapat juga dinyatakan hubungan antara shear stress dan shear rate dengan persamaan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \quad (3)$$

dengan D adalah diameter pipa, ΔP adalah pressure drop, L adalah panjang pipa, V adalah kecepatan aliran. Friction coefficient (f) dapat diketahui jika nilai tegangan geser, kecepatan aliran dan densitas fluida kerja sudah diketahui, maka digunakan persamaan fanning sebagai berikut :

$$f = \frac{D\Delta P}{2L\rho V^2} \quad (4)$$

Bilangan Reynolds (Re) dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \quad (5)$$

Persamaan Hagen Pouisuelle untuk menyatakan *friction factor* pipa mulus dalam aliran laminar berkembang penuh adalah :

$$f^{-\frac{1}{2}} = \frac{Re \cdot f^{\frac{1}{2}}}{16} \text{ atau } f = \frac{16}{Re} \quad (6)$$

Dalam aliran berkembang penuh, larutan polimer menunjukkan tiga daerah yang berbeda yang mana bertujuan untuk meningkatkan *flow rate* (Virk,1975)

Persamaan keseluruhan daerah aliran turbulen dapat dinyatakan dalam persamaan *Prandtl-Karman* sebagai berikut :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.0 \log (Re \sqrt{f}) - 0.4 \quad (7)$$

dan daerah *Virk's asymptote* yang diperkenalkan Virk untuk menyatakan kemungkinan terbesar pengurangan *pressure drop* yang mana hubungan diantara *friction factor* (f) dan Re tidak tergantung pada aditif atau diameter pipa. Persamaan Virk adalah (Virk dkk, 1970)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 19.0 \log(Re \sqrt{f}) - 32.4 \quad (8)$$

Kehilangan energi dalam aliran pipa yang disebabkan gesekan dinyatakan sebagai *pressure drop* atau dapat juga dinyatakan dalam *head loss* sebagai berikut :

$$\Delta P = 4f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{\rho V^2}{2} \quad (9)$$

$$h_L = 4f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

dimana h_L adalah *head loss*, f adalah *fanning friction factor*.

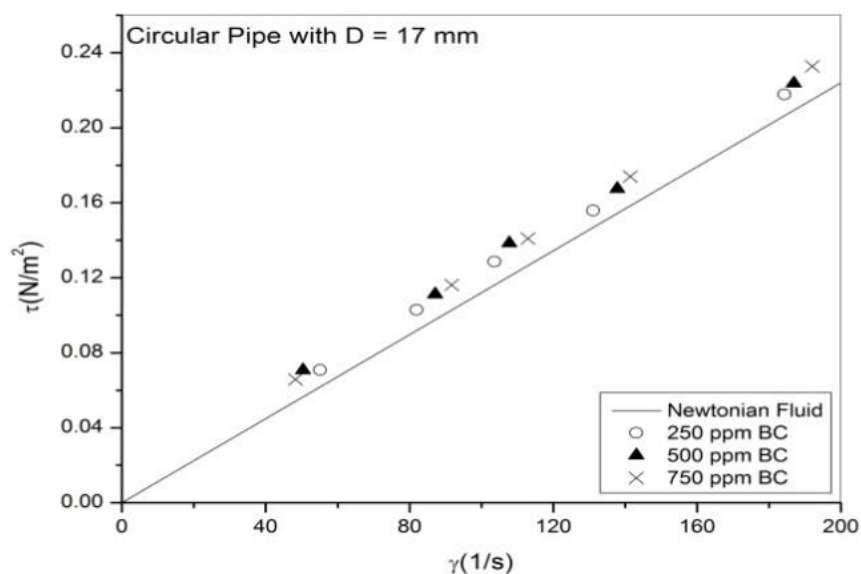
Persentase *drag reduction* dapat dihitung dengan formulasi berikut :

$$DR\% = \frac{|\Delta P_f - \Delta P_{fdrag}|}{\Delta P_f} \times 100 \quad (11)$$

dimana ΔP_f adalah *pressure drop* tanpa penambahan *DRA*, dan ΔP_{fdrag} adalah *pressure drop* dengan penambahan *DRA*.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

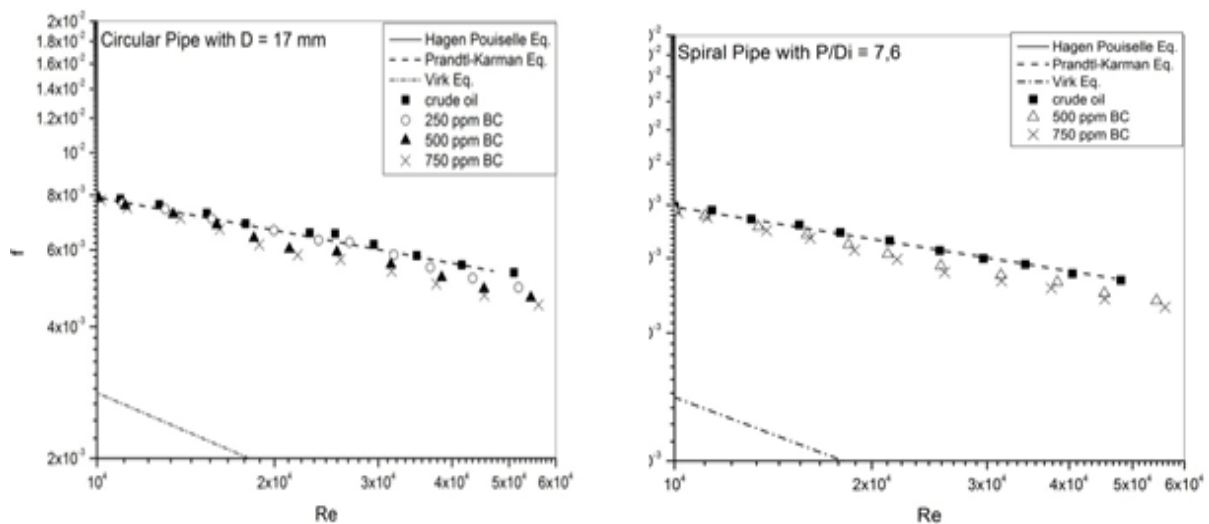
Gambar 2 menunjukkan hubungan *shear rate* dengan *shear stress* yang dihitung berdasarkan data percobaan pada aliran laminar. Garis pada grafik menunjukkan kekentalan aliran crude oil. Perbandingan antara *shear rate* dan *shear stress* berdasarkan data tersebut menunjukkan penambahan bakteri selulosa bersifat linear sesuai dengan hukum newton tentang aliran.



Gambar 2 Grafik hubungan *shear rate* terhadap *shear stress*.

Hal ini menunjukkan bahwa bakteri selulosa termasuk fluida Newtonian dan tidak terjadi perubahan sifat aliran berdasarkan viskositasnya, yang artinya bahwa penambahan suspensi fiber berbeda dengan karakteristik pengurangan drag yang diakibatkan penambahan konsentrasi larutan polimer dimana pada penambahan polimer sifat larutan cenderung menjadi pseudoplastis/shear thinning sehingga terjadi viskositas sesaat yang berubah dengan peningkatan tegangan geser. Pada suspensi fiber bacterial cellulose ini viskositas cenderung tidak berubah.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara bilangan Reynolds dengan nilai koefisien gesek pada pipa bulat dan pipa spiral berdasarkan pengukuran dengan variasi konsentrasi penambahan bakteri selulosa. Pada aliran crude oil didalam pipa bulat ditambahkan konsentrasi bakteri selulosa sebesar 250 ppm, 500 ppm, dan 750 ppm dan pada aliran crude oil didalam pipa spiral sebesar 500 ppm dan 750 ppm. Data ini dibandingkan dengan persamaan Hagen Pouiselle pada aliran laminar dan persamaan Blasius untuk aliran turbulen. Data pada grafik tersebut menunjukkan bahwa koefisien gesek fluida yang ditambahkan dengan bakteri selulosa berada dibawah garis persamaan Blasius. Hal ini menunjukkan bahwa koefisien gesek dari bacterial cellulose selalu lebih rendah dari fluidanya. Dan koefisien gesek terus berkurang dengan penambahan konsentrasi dari bakteri selulosa dan ini artinya semakin besar penambahan konsentrasi bakteri selulosa (ppm) maka semakin besar juga pengurangan dari koefisien gesek pada pipa bulat ataupun pada pipa spiral.



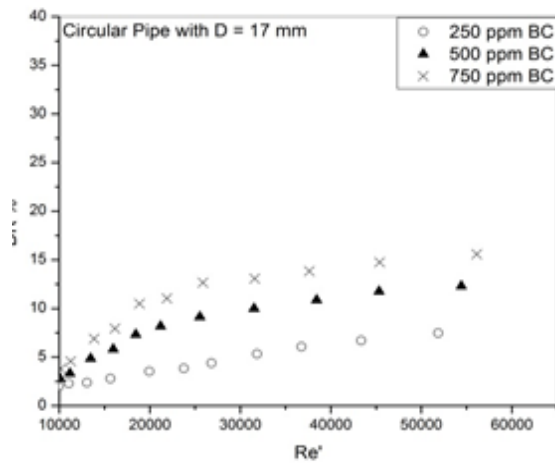
a). Pipa bulat

b). Pipa Spiral

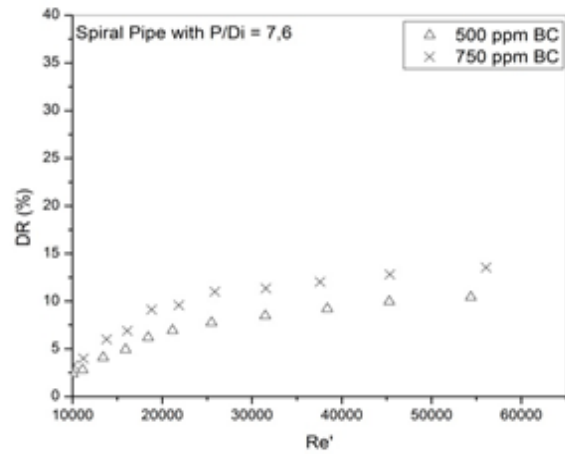
Gambar 3 Perbandinga *Reynolds number* dengan koefisien gesek

Grafik dibawah menunjukkan penambahan persentase drag reduction dibandingkan dengan bilangan Reynolds. Grafik menampilkan pengujian dari bilangan Reynolds 104 sampai bilangan Reynolds sekitar 55000. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada pipa bulat dengan penambahan konsentrasi 250 ppm bakteri selulosa kedalam aliran crude oil didapatkan persentase drag reduction antara 2 % -7.5 %, penambahan 500 ppm didapatkan persentase yang berkisar antara 2.8 % - 12.3%, dan pada penambahan konsentrsi 750 didapat persentase sekitar 3.8% - 15.6%. Sedangkan pada pipa spiral diuji dengan penambahan konsentrasi bakteri selosa sebesar 500 ppm didapatkan nilai drag reduction 2.4 %-10.4 % dan pada penambahan 750 ppm didapatkan nilai drag reduction sebesar 3.3%-13.5 %. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai bilangan Reynolds maka semakin tinggi nilai drag reduction pada konsentrasi yang sama.

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada penambahan konsentrasi bakteri selulosa sebesar 250 ppm kedalam aliran *crude oil* pada bilangan Reynolds yang sama belum terlalu signifikan. Dan pada penambahan konsentrasi sebesar 500 ppm dan 750 ppm menunjukkan penambahan *drag reduction* yang cukup signifikan. Artinya semakin tinggi konsentrasi penambahan bakteri selulosa kedalam aliran *crude oil* maka semakin tinggi nilai *drag reduction*

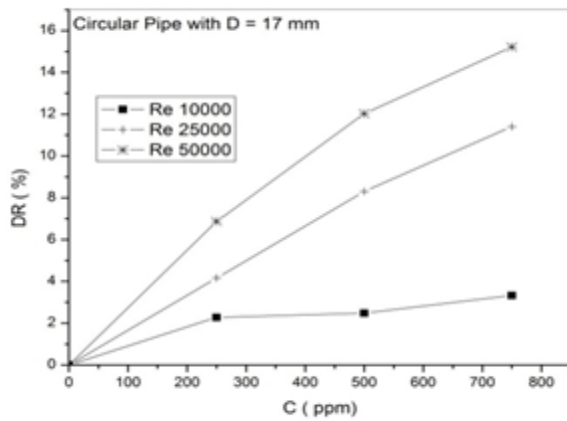


a). Pipa bulat

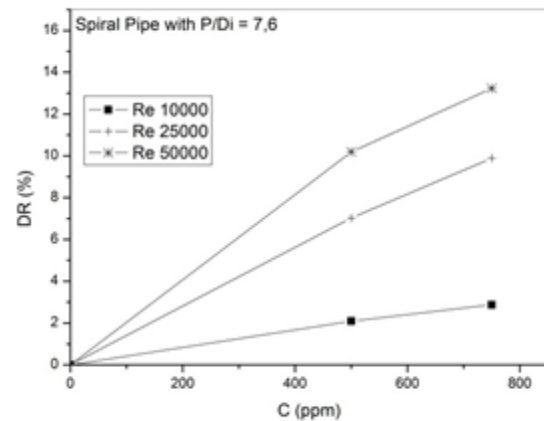


b). Pipa spiral

Gambar 4. Perbandingan *Reynolds number* terhadap *persentase drag reduction*

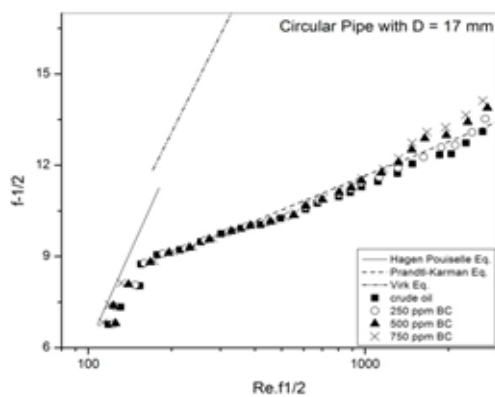


a). Pipa bulat

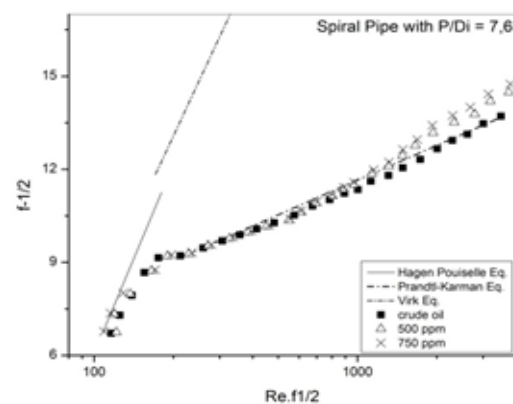


b). Pipa spiral

Gambar 5. Perbandingan konsentrasi penambahan bakteri seluloda dan nilai *drag reduction*



a). Pipa bulat



b). Pipa spiral

Gambar 6. Karakteristik *Drag Reduction*

Hubungan antara $Re \cdot f^{1/2}$ dan $f^{1/2}$ ditunjukkan oleh gambar 6. Dari gambar tersebut dapat dilihat karakteristik aliran crude oil yang ditambahkan konsentrasi bakteri selulosa dalam crude oil pada pipa bulat diameter 17 mm dan pipa spiral dengan rasio P/Di 7.6. Grafik diatas menunjukkan bahwa *drag reduction* terjadi jika data berada diatas garis persamaan blasius pada aliran turbulen. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa, data semakin tinggi pada garis persamaan blasius dengan penambahan konsentrasi bakteri selulosa kedalam aliran *crude oil*. Data dari grafik tersebut menunjukkan bahwa terjadinya *drag reduction* dengan penambahan konsentrasi bakteri selulosa, sehingga hal itu menunjukkan bahwa *drag reduction* penambahan konsentrasi bakteri selulosa dalam aliran crude oil pada pipa spiral termasuk Type B karena dengan penambahan konsentrasi bakteri selulosadapat mengurangi terjadinya turbulensi dalam aliran fluida. Karakteristik aliran pada pipa spiral berbeda dengan karakteristik aliran fluida pada pipa bulat. Pada pipa spiral dengan adanya *pitch* pada permukaan dalam pipa spiral mengakibatkan terjadinya olakan yang lebih besar, akan tetapi lebih efektif digunakan untuk aliran *crude oil* karena *crude oil* mengandung partikel-partikel suspensi yang dapat mengendap pada dasar pipa bulat apabila tekanan pompa tidak terlalu tinggi. Penggunaan pipa spiral pada aliran *crude oil* dapat meminimalisir terjadinya endapan pada dasar pipa.

Pemanfaatan suspensi bacterial cellulosa sebagai DRA dalam aliran merupakan salah satu upaya mencari alternatif DRA di masa depan. Karakteristik bacterial selulosa yang tersusun dari serat yang kuat dapat berfungsi sebagai absorber olakan dan tingkat turbulensi yang tinggi dalam aliran. Mekanisme pengurangan drag aliran dengan menggunakan suspensi fiber bacterial selulosa ini berbeda dengan penggunaan DRA polimer. Sifat fluida dalam campuran masih sebagai newtonian fluid dan tidak terjadi peningkatan atau pengurangan viskositas, serat-serat yang mengalir dalam aliran bekerja bersama-sama meredam tingkat turbulensi yang dapat mengurangi energi yang hilang dalam aliran.

3. SIMPULAN

Penambahan bakteri selulosa dapat mengurangi koefisien gesek pipa spiral dan pipa bulat. Drag reduction maksimum sebesar 13 % untuk pipa spiral dan pada pipa bulat sebesar 15 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H.R.Karami, D.Mowla, A general model for predicting drag reduction in crude oil pipelines, Journal of petroleum science and engineering [1] (2013) 78-86
- [2] H.R.Karami, D.Mowla, Investigation of the effects of various parameters on pressure drop reduction in crude oil pipelines by drag reduction agents, Journal of non-newtonian fluid mechanics 177-178 (2012) 37-45
- [3] I.Prasetyo. Drag Reducing Agent untuk optimasi kapasitas pipeline.Buku Pintar Migas Indonesia
- [4] B. A. Toms, Proceedings of the 1st International Rheological Congress, Part 2, North Holland Publishing Co., the Netherlands, 1949, pp. 135–142
- [5] F.Hadri and S.Guillou, Drag Reduction by Surfactant in Closed Turbulent Flow, International Journal of Engineering Science and Technology. Vol.2(12), 2010, 6876-6879
- [6] Yanuar, Gunawan, dan M.Baqi, Characteristics of Drag Reduction by Guar Gum in Spiral Pipes, Journal Teknologi. Vol.58 2012, pp.95-99
- [7] P.S. Virk and R.H. Chen, Type B Drag Reduction by Aqueous and Saline Solutions of Two Biopolimers at High Reynolds Number, in Preceedings of the 2nd International Symposium on Seawater Drag Reduction, pp. 545-558, Busan, Korea,May 2005
- [8] A.A. Robertson and S.G. Mason, The Characteristic of Dilute Fiber Suspension, TAPPI, vol. 40, pp.326-334,1957
- [9] W. Mih and J. Parker, Velocity Profile Measurements and Phenomenological Description of Turbulent Fiber Suspension Pipe Flow, TAPPI, vol.50, pp. 237-246, 1967
- [10] Gunawan, M. Baqi, S. Fathernas, and Yanuar, Drag Reduction of Bamboo and Abaca Fiber Suspensions in Circular Pipe, Applied Mechanics and Materials, vol. 338 (2013), pp. 34-39
- [11] S. Ogata, T. Numakawa, and T. Kubo, Drag Reduction of Bacterial Cellulose Suspensions, Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering, vol (2011)

- [12] K. Watanabe, T. Iwata, and H. Kato, Flow in Spiral Tube, 2nd Report, Hydraulic Transport of Solid in a Horizontal Pipe, Bull. JSME, 27 (230) 1692-1688, 1984.
- [13] D. Pardosi, Pembuatan Material Selulosa Bakteri dalam medium air kelapa melalui penambahan sukrosa, kitosin, dan gliserol menggunakan *Acetobacter Xylinum*, Tesis, 2006.
- [14] Yanuar, Kurniawan T. Waskito, Gunawan, and Budiarto, Characteristics of CMC Additives to Drag Reduction of Crude Oil Flow in Spiral Pipe, 4th International Conference on Experimental Fluid Mechanics, 2014

Distribusi Kekerasan dan Total Case Depth Baja Karbon Rendah Setelah Proses Pack Carburizing

Dewa Ngakan Ketut Putra Negara^{1)*}, I Ketut Gede Sugita¹⁾, IGN Arimbawa¹⁾

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80632
Email: devputranegara@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan dan menentukan *total case depth* baja karbon rendah setelah proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur pemanasan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan media karburasi 80% arang tulang kambing dan 20% energizer CaCO_3 . Variasi temperatur pemanasan yang digunakan adalah 850°C, 900°C dan 950°C, diholding selama 4 jam dan didinginkan dengan air. *Total case depth* diperoleh dengan menentukan kedalaman dimana kekerasan bahan tanpa perlakuan sama dengan kekerasan bahan setelah proses *pack carburizing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan semakin tinggi distribusi kekerasan. Sampai kedalaman 2,5 mm, semakin jauh dari permukaan semakin rendah kekerasan yang dicapai. *Total case depth* didapat sampai kedalaman 2,5 mm, setelah itu kekerasan relatif sama antara material tanpa dan dengan perlakuan. Kekerasan tertinggi diperoleh sebesar 241,629 VHN pada jarak 0,5 mm dari permukaan dengan temperatur pemanasan 950°C.

Kata Kunci: *Total case depth*, *pack carburizing*, *energizer*, kekerasan

Abstract

This study aims to determine the hardness distribution and total case depth of low carbon steel after pack carburizing process with heating temperature variation. The study was conducted by using a carburizing medium 80% goat bones charcoal and 20% energizer CaCO_3 . Heating temperature variations were carried out at 850°C, 900°C and 950°C, holding during 4 hours and cooled with water. The total case depth was obtained by determining the depth where the hardness of the untreated and treated materials was the same relatively. The results showed that the higher heating temperature the higher hardness distribution. The deeper of distance the lower hardness obtained until 2,5 mm depth. The total case depth was obtained until 2.5 mm. After this distance the hardness between untreated and treated materials was the same. The highest hardness reached 241.629 VHN at a distance of 0.5 mm from the surface with heating temperature 950°C.

Keywords: Total case depth, pack carburizing, energizer, hardness

1. LATAR BELAKANG

Komponen permesinan yang dibuat untuk suatu aplikasi tertentu memerlukan karakteristik tertentu pula. Untuk komponen-komponen mesin yang meluncur atau bergesekan dan mendapatkan beban dinamis yang tidak terlalu tinggi seperti poros, *gear*, *crankshaft* sering dijumpai permasalahan berupa laju keausan yang tinggi dan umur pendek karena sering mengalami kegagalan yang dimulai dari permukaan atau bidang kontak [1]. Kegagalan yang sering dijumpai karena kekerasan permukaan komponen yang rendah adalah keausan, deformasi, sobek dan pecah [2], untuk itu diperlukan suatu modifikasi sifat permukaan untuk mengurangi terjadinya kegagalan tersebut yaitu dengan pemberian pengerasan permukaan. Pack carburizing merupakan salah satu metode yang digunakan untuk tujuan tersebut. Setelah proses pack carburizing diharapkan baja memiliki kekerasan yang tinggi, ketahanan aus yang cukup dan ketangguhan terhadap beban kejutan yang memadai yang pada akhirnya akan memberikan *life time* yang lebih lama [3].

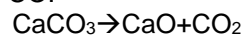
Proses pack carburizing merupakan proses *Thermo Chemical Treatment (TCT)* dengan sistem difusi, yaitu suatu cara untuk mengubah sifat-sifat permukaan logam dengan menambahkan suatu bahan yang akan terdifusi ke permukaan logam. TCT dilakukan terhadap baja yang mempunyai kadar karbon di bawah 0,3% karena pada kadar karbon ini tidak memungkinkan terjadinya fasa *martensit* yang keras [4]. Pada proses ini ada beberapa parameter proses yang berpengaruh yaitu, temperatur pemanasan, *soaked time (holding time)*, media pendingin dan media karburasi yang digunakan [5].

*Penulis korespondensi, HP:08123682549
E-mail : devputranegara@gmail.com

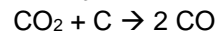
Pada penelitian ini diteliti variasi temperatur pemanasan terhadap distribusi kekerasan dan prediksinya pada daerah *total case depth*.

Pack Carburizing

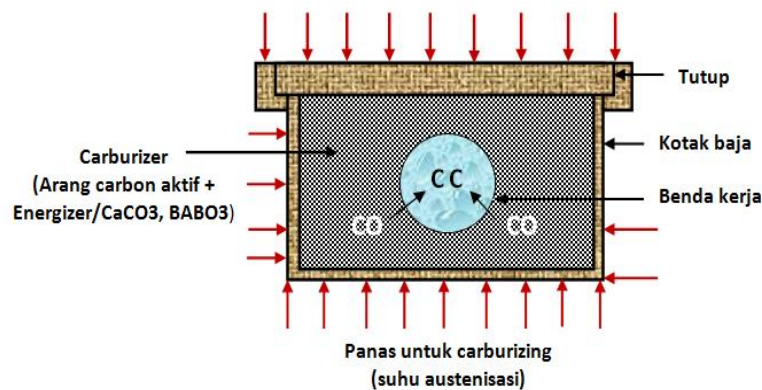
Carburizing adalah suatu proses penambahan kadar karbon pada permukaan baja dengan tujuan untuk menambah kekerasan permukaannya, dilakukan dengan cara memanaskan baja dalam lingkungan yang banyak mengandung unsur karbon aktif. Prosesnya bisa dilakukan dengan proses *solid* atau *pack carburizing*, proses *liquid carburizing* dan proses *gas carburizing*. Proses *pack carburizing* ditunjukkan pada gambar 1. Pada proses ini digunakan arang aktif yang dicampur dengan energizer NaCO_3 , CaCO_3 atau BaCO_3 . Komposisi energizer ini antara 0-40 % [6] dan berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat proses. Baja yang akan dikeraskan dimasukkan ke dalam suatu wadah yang berisi media karburasi dan energizer, kemudian wadah ditutup rapat dan dilapisi seal berupa tanah liat untuk menghindari adanya gas lain yang masuk ke dalam wadah [7]. Wadah kemudian dimasukkan ke dalam dapur pemanas dan dipanaskan sampai temperatur $850^\circ\text{C} - 950^\circ\text{C}$, ditahan pada suhu tersebut dalam waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan media pendingin tertentu. Penambahan CaCO_3 pada media arang aktif akan mempercepat proses carburizing. Pada suhu tinggi CaCO_3 akan terurai menjadi gas CO_2 . Gas ini akan mengikat carbon dari media carbon aktif membentuk gas CO .



(1)

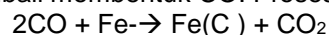


(2)



Gambar 1 Proses pack karburising [6]

Carbon monoxide akan bereaksi dengan Fe membentuk Fe(C) , sehingga kandungan karbon pada baja akan bertambah. Gas CO_2 sisa hasil reaksi difusi akan segera bereaksi kembali dengan C dari arang dan kembali membentuk CO . Proses reaksi ini berlangsung terus menerus.



(3)

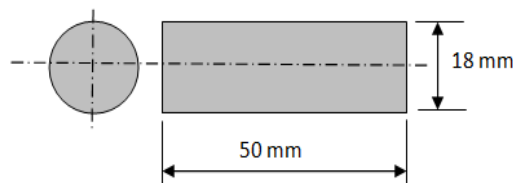
2. METODE

Material spesimen uji yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan komposisi ditunjukkan pada Table 1:

Tabel 1 Komposisi kimia baja karbon rendah

C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	Al
0,18-0,22	0,60-0,95	0,15-0,40	0,40-0,55	0,40-0,50	<0,035	0,020-0,035	0,02-0,05

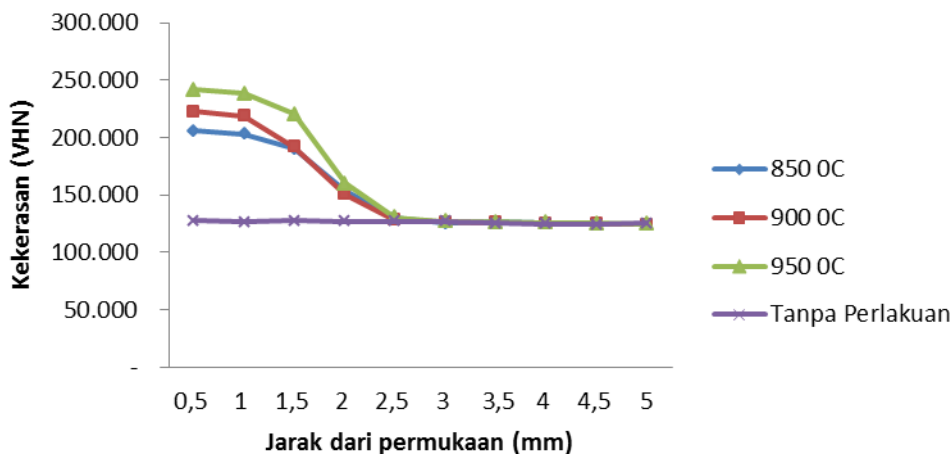
Dimensi spesimen uji ditunjukkan seperti gambar 2. Media karburasi yang digunakan adalah campuran 80% arang tulang kambing dan 20% CaCO_3 . Spesimen uji dimasukkan kedalam kotak baja, diatur dengan jarak minimal 3 mm kemudian diisi media karburasi di celah-celah antar spesimen. Kotak baja ditutup rapat dan dilapisi seal tanah liat kemudian dimasukan ke dalam dapur pemanas (*furnace*). Kotak baja dipanaskan dengan variasi 850°C , 900°C dan 950°C dan ditahan selama 4 jam. Kotak baja dikeluarkan dari dapur pemanas, spesimen dikeluarkan dan didinginkan dengan air. Spesimen kemudian dipotong, dipolishing, dan dietsa selanjutnya dilakukan pengukuran kekerasan dengan metode Vickers pada penampang melintangnya. Pengukuran dilakukan dengan penambahan jarak titik pengukuran 0,5 mm dari permukaan ke inti.



Gambar 2. Dimensi spesimen uji

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi kekerasan spesimen tanpa perlakuan dan dengan perlakuan variasi temperatur ditunjukkan pada gambar 3. Rata-rata kekerasan spesimen tanpa perlakuan adalah 126,205 VHN. Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan semakin tinggi pula kekerasan dan semakin ke inti kekerasan semakin menurun sampai jarak 2,5 mm. Temperatur pemanasan yang dilakukan berada pada daerah austenisasai dari baja. Hal ini menyebabkan fase baja berubah dari fase ferrit menjadi fase austenit dan struktur kristalnya pun berubah dari body-centered-cubic (BCC) menjadi faced-centered-cubic (FCC). Baja dengan struktur FCC memiliki kemampuan untuk menyerap carbon lebih besar dibandingkan dengan struktur BCC. Semakin tinggi temperatur pada daerah temperatur austenisasai menyebabkan proses difusi karbon berlangsung lebih cepat karena energizer CaCO_3 akan lebih cepat terurai sehingga pengikatan carbon dari arang aktif lebih cepat pula. Hal ini akan mempercepat terbentuknya CO yang pada akhirnya akan bereaksi dengan Fe membentuk FeC sehingga kandungan carbon pada permukaan baja semakin bertambah. Temperatur yang semakin tinggi memberikan kesempatan lebih banyak dan lebih stabilnya difusi karbon pada permukaan baja sehingga dengan semakin meningkatnya kandungan karbon semakin keras pula permukaan baja. Kekerasan tertinggi diperoleh menggunakan temperatur pemanasan 950°C pada jarak 0,5 mm dari permukaan yaitu sebesar 241,629 VHN. Hal ini berarti terjadi peningkatan kekerasan sampai 91,7% dibandingkan material tanpa perlakuan. Kekerasan meningkat sejalan dengan meningkatnya temperatur pemanasan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Iqbal [4], Fatai Olufemi Aramidea, dkk [9] dan Nwoke, V.U, dkk [10].



Gambar 3 Distribusi kekerasan dengan variasi temperatur pemanasan

Dari gambar 3 juga terlihat bahwa setelah jarak 2,5 mm kekerasan antara spesimen tanpa perlakuan dan dengan perlakuan relatif sama. Hal ini berarti *total case depth* terjadi sampai jarak 2,5 mm, karena *total case depth* adalah kekerasan pada titik dimana tidak terdapat perbedaan sifat mekanis (kekerasan) antara material tanpa dan dengan perlakuan [8].

4. SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- Semakin tinggi temperatur semakin tinggi kekerasan yang dicapai dan semakin menuju inti kekerasan semakin menurun sampai jarak 2,5 mm.
- Total case depth dicapai sampai kedalaman 2,5 mm karena setelah jarak tersebut kekerasan bahan dengan dan tanpa perlakuan relatif sama.

- c. Kekerasan tertinggi dicapai pada temperatur pemanasan 950°C pada jarak 0,5 mm dari permukaan yaitu sebesar 241.629 VHN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sangat dalam kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Udayana yang telah memberikan motivasi tiada henti untuk melakukan penelitian dan Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas laboratorium yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Viktor Malau dan Khasani, *Karakterisasi Laju Keausan dan Kekerasan dari Pack Carburizing pada Baja Karbon AISI 1020*, MEDIA TEKNIK No.3 Tahun XXX ISSN 0216-3012: p 367 – 374, Agustus 2008.
- [2] Muhamad Sadat Hamzah dan Muh. Iqbal, *Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah dengan Metode Carburizing*, Jurnal SMARTek, vol 6 no 3, p 169-175, Agustus 2008.
- [3] Emmanuel Jose Ohize & Bernard Numgwo Atsumbe, 2013, *Experimental Determination of the effect of wood Charcoal as Carburizing Material on Hardness, Impact and Tensile Strength of Mild Steel*, Journal of Science, Technology, Mathematics & Education(JOSTMED), 9 (2), April, 2013.
- [4] Muhammad Iqbal, *Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis pada Proses Pengarbonan Pada Baja Karbon Rendah*, Jurnal SMARTek, Vol. 6, No. 2, Mei 2008: 104 – 112, 2008.
- [5] Hochman R.,Burson J., *The Fundamentals of Metal Disting*, New York: API Division of Refining, pp.331, 1966.
- [6] Budinski, G.K., *Engineering Materials Properties Selection "Fourth Edition"*. Prentice Hall. New Jersey, 1999.
- [7] Fatai Olufemi Aramide, Simeon Ademola Ibitoye, Isiaka Oluwale Oledede and Joseph Olatunde Borode, *Pack Carburizing of mild Steel, using Pulverized Bone as Carburizer; Optimizing Process Parameters*, Leonardo Electronic Journal of Practices and technologies, Issue 16, January-June 2010 p. 1-12, ISSN 1583-1078, 2010.
- [8] Eur Ing P.P. Panagiotidis, A.S. Antonatos, G.M. Tsananas, *Case Depth Determination By Using Vickers Micro - Hardness Test Method at TRSC / PPC SA*, Hellenic Society Of Non Destructive Testing 4th ICNDT of HSNT, Chania-Greece, 11-14 October 2007.
- [9] Fatai Olufemi Aramide, Simeon Ademola Ibitoye ,Isiaka Oluwale Oladele, Joseph Olatunde Borode, *Effects of Carburization Time and Temperature on the Mechanical Properties of Carburized Mild Steel, Using Activated Carbon as Carburizer*, Materials Research, Vol. 12, No. 4, 483-487, 2009.
- [10] Nwoke, V.U; Nnuka E.E; Odo, J.U, Obiorah S.M.O, *Effect Of Process Variables On The Mechanical Properties Of Surface Hardened Mild Steel Quenched In Different Media*, International Journal Of Scientific & Technology Research Volume 3, ISSUE 4, ISSN 2277-8616; p 388 -398, April 2014.

Mekanisme Aus Baja Karbon AISI 1065 pada Permukaan Kontak Basah Akibat Beban Kontak Gelinding-Luncur

I Made Widiyarta^{1)*}, I Made Parwata¹⁾, I Made Gatot Karohika¹⁾, I Putu Lokantara¹⁾, Made Arie Satryawan¹⁾

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email: m_widiyarta@me.unud.ac.id

Abstrak

Dalam proses kontak gelinding-luncur, permukaan kontak yang basah karena terperangkapnya air di daerah permukaan kontak dapat mengurangi kontak adhesi [Chen *et al.*, *Wear* 253 (2002)]. Kondisi tersebut mungkin dapat mempengaruhi mekanisme kegagalan aus material. Pada penelitian ini, tingkat keausan dan mekanisme aus material akibat beban gelinding-luncur pada kondisi permukaan kontak basah diinvestigasi. Uji keausan dilakukan dengan alat uji kontak dua disk dan material uji dipilih adalah baja karbon 0.65%C dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%. Untuk uji aus pada kondisi kontak basah, air diteteskan secara kontinyu pada permukaan kontak disk. Dari hasil uji terlihat dengan adanya air dipermukaan kontak, tingkat keausan yang terjadi mengalami penurunan yang cukup besar sekitar 50% yaitu dari 6×10^{-4} μm /putaran untuk kontak kering menjadi 3×10^{-4} μm /putaran pada kontak basah. Hal ini dapat terjadi mungkin diakibatkan oleh air yang ada dipermukaan kontak mampu membatasi areal kontak antara dua material kontak tersebut sehingga menurunkan gesekan yang terjadi dan mengakibatkan keausan menurun. Pada kontak basah, material yang mengalami regangan geser plastis hanya terjadi hingga kedalaman kurang dari 100 μm dan pada kontak kering regangan geser plastis dapat terjadi hingga kedalaman sekitar 400 μm .

Kata kunci: Baja karbon, kontak basah, aus

Abstract

In rolling-sliding contact, the wet surface as a result of water trapped in the contact area can reduce adhesion [Chen *et al.*, *Wear* 253 (2002)]. This condition may influence the mechanism of wear on the contact material. In this work, the wear rate and wear mechanism of material on the wet contact surface were investigated. Wear test was conducted using disc-to-disc contact test and carbon steel (0.65%C) was chosen as the test material with the maximum pressure of 750MPa and slip-roll ratio of 5%. For the wear test with the wet contact, water was dropped continuously on the contact surface. The results show the wear rate on the material with wet contact was decrease significantly by about 50% i.e., from about 6×10^{-4} μm /cycle for the dry contact to about 3×10^{-4} μm /cycle for the wet contact. This may be caused by the water trapped on the contact area reduces the contact adhesion between both the contact materials and causes the friction to decrease, and resulting wear to decrease. For the wet contact, the plastic shear strain on material occurred into depth less than 100 μm , and for the dry contact, the plastic shear strain on material occurred into depth about 400 μm .

Keywords: Carbon steel, wet contact, wear

1. PENDAHULUAN

Dalam industri perkeretaapian, rel merupakan salah satu komponen terpenting sebagai lintasan kereta api. Beban kontak yang sangat besar oleh roda kereta pada rel yang berulang-ulang dapat mengakibatkan kegagalan aus dan patah lelah pada rel maupun pada roda kereta. Salah satu kegagalan aus yang dapat terjadi pada rel yaitu *ratchetting wear* [2]. *Ratchetting wear* adalah keausan pada material yang diawali dengan terjadinya akumulasi regangan geser plastis dipermukaan dan dibawah permukaan kontak yang cukup besar sebagai akibat beban gelinding-luncur. Dengan berlanjutnya beban kontak roda kereta pada rel yang terus-menerus, akumulasi regangan geser plastis tersebut akan semakin besar dan material dipermukaan selanjutnya akan terlepas sebagai butiran aus apabila regangan geser plastis dipermukaan telah mencapai regangan geser kritis material.

*Penulis korespondensi, HP: 083117590837
E-mail: m_widiyarta@me.unud.ac.id

Besar kecilnya tingkat keausan yang terjadi pada material rel oleh beban roda kereta dalam bentuk beban gelinding-luncur dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti besar beban oleh roda, sifat mekanik material rel, kontaminan yang dapat terperangkap pada area kontak seperti pasir, oli, air, dll. Keausan yang terjadi pada material dapat dibedakan menjadi tiga katagory yang tergantung dari besar kecilnya tingkat keausan yaitu keausan *mild*, *severe* dan *catastrophic* [3]. Keausan *mild* ditunjukkan dengan tingkat keausan yang rendah dengan butiran aus yang sangat kecil dengan diameter sekitar 100 nm [4]. Keausan ini cenderung terjadi pada material dengan permukaan kontak yang sangat halus dan umumnya keausan yang terjadi adalah jenis keausan oksidasi. Keausan *severe* umumnya terjadi pada material yang memiliki permukaan kontak kasar dan ditunjukkan dengan ukuran butiran aus yang cukup besar yaitu sekitar 0.01mm [4]. Perubahan kategori aus dari *mild* ke *severe* umumnya terjadi karena adanya perubahan kondisi kontak yaitu dari kondisi kontak sebagian slip (*partial slip*) ke kondisi kontak seluruh bidang kontak slip (*full slip*), keausan yang terjadi dapat berupa *abrasive wear*. Sedangkan transisi aus dari kategori keausan *severe* ke *catastrophic* terjadi akibat melemahnya sifat mekanis material karena pengaruh suhu permukaan kontak yang tinggi, *melting wear* umumnya terjadi pada kondisi tersebut [4, 5]

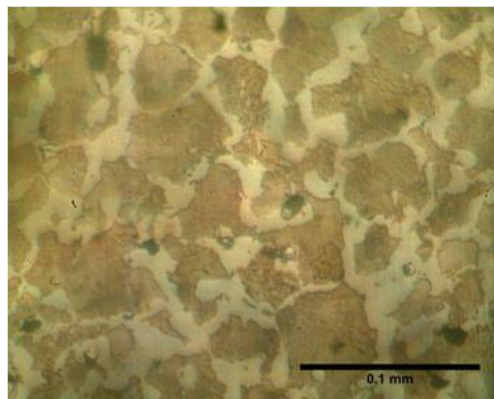
Di Indonesia terdapat dua musim yaitu musim panas dan musim penghujan. Kondisi ini mengakibatkan kontak antara roda kereta dan rel dapat terjadi tidak hanya pada kondisi kontak kering akan tetapi dapat terjadi pada kondisi kontak basah khususnya pada saat musim penghujan. Pada kondisi permukaan rel yang basah oleh air, air hujan pada permukaan kontak dapat mengakibatkan kontak adhesi antara roda dan rel kereta menjadi berkurang [1, 6]. Hal ini tentunya juga dapat mempengaruhi mekanisme kegagalan aus dan tingkat keausan yang terjadi pada material rel.

Pada penelitian ini, uji keausan akibat beban kontak gelinding-luncur dilakukan pada alat uji aus kontak dua disk. Untuk kontak basah, permukaan kontak akan ditetesi dengan air secara kontinyu agar permukaan kontak tetap terjaga dalam kondisi basah. Material uji yang digunakan yaitu baja karbon (AISI 1065).

2. METODE

2.1. Material Uji

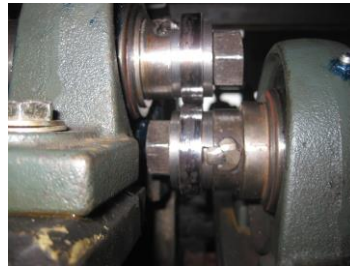
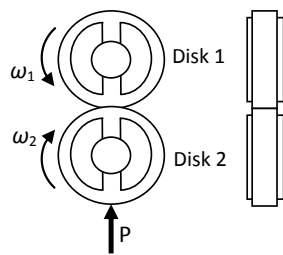
Pada penelitian ini, baja karbon dengan kandungan karbon 0.65% (AISI 1065) dipilih sebagai material uji, baja karbon tersebut masuk dalam kategori baja karbon tinggi yang memiliki sifat mekanis seperti kekuatan tarik, ketahanan aus dan ketangguhan yang baik [7]. Baja karbon tinggi banyak dimanfaatkan untuk roda gigi, rel kereta api dan perkakas. Dari foto struktur mikro (Gambar 1) terlihat baja karbon AISI 1065 terdiri dari struktur *ferite* yang memiliki sifat yang lunak (ditunjukkan dengan warna terang) dan struktur yang memiliki sifat relatif keras (*brittle*) yaitu *cementite* (ditunjukkan dengan warna gelap). Baja karbon ini memiliki kekerasan rata-rata sekitar 180 HVn.



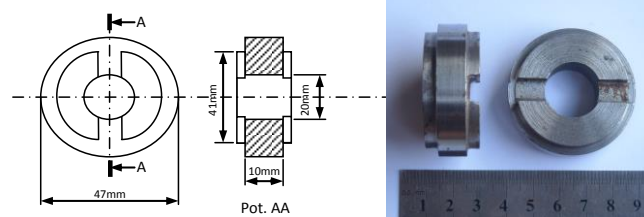
Gambar 1 Struktur mikro baja Carbon (AISI 1065)

2.2. Prosedur Pengujian

Uji aus dilakukan dengan alat uji keausan kontak dua disk, alat uji ini dikembangkan dengan mengacu pada mekanisme alat uji aus *twin-disc machine SUROS* [2]. Alat uji aus ini terdiri dari dua disk (seperti Gambar 2) yang saling kontak dan bergerak/berputar relatif satu dengan yang lainnya dengan kecepatan yang dapat diatur untuk mendapatkan rasio slip-roll yang berbeda. Besar beban kontak diberikan melalui disk yang dibawah (disk 2) yang dapat diatur untuk mendapatkan tekanan kontak sesuai tekanan yang diinginkan. Pada penelitian ini disk 1 sebagai spesimen uji dimodelkan sebagai material rel kereta api dan disk 2 (posisi bawah) dimodelkan sebagai roda kereta api.



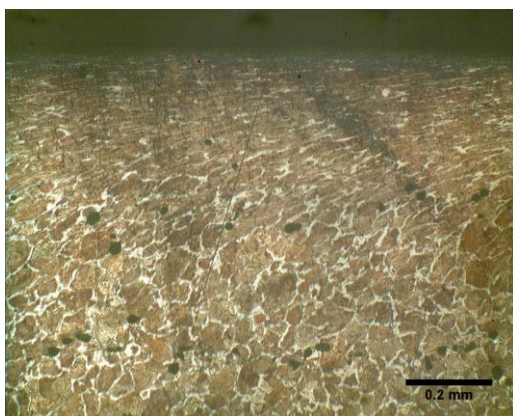
Gambar 2 Kontak dua disk



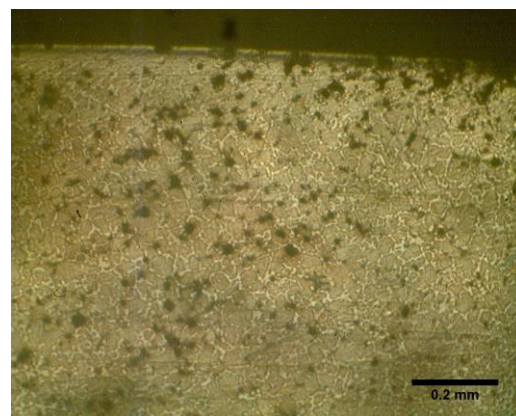
Gambar 3 Dimensi spesimen uji

Untuk melakukan uji keausan dengan metode kontak dua disk, material uji terlebih dahulu dibentuk seperti Gambar 3 dan dengan dimensi yang sama. Pembersihan kedua spesimen dilakukan sebelum uji aus dilaksanakan dengan menggunakan bak ultrasonik dengan ethanol sebagai media pembersih. Setelah pembersihan, dilakukan pengukuran kedua spesimen baik massa sepesimen maupun dimensi sepesimen. Spesimen uji kemudian diletakkan pada alat uji sesuai dengan kedudukannya sebagai roda diletakkan dibagian bawah (disk 2) dan sebagai rel kereta api diletakkan dibagian atas (disk 1). Pada penelitian ini, kecepatan disk 1 diset sebesar 382 r.p.m dan disk 2 diatur kecepatannya sebesar sekitar 402 r.p.m. untuk memperoleh rasio slip-roll sekitar 5%. Tekanan maksimum yang diberikan melalui disk 2 sebesar $P_0 = 750$ MPa dan dijaga konstan. Untuk uji aus pada permukaan kontak basah, air ditetaskan secara kontinyu dipermukaan disk sehingga permukaan kontak tetap dalam kondisi basah. Setiap 2500 putaran, kedua spesimen (disk) dilepaskan dari alat uji dan kemudian dibersihkan dalam bak ultrasonik dan selanjutnya diukur massanya. Pengulangan uji dilakukan selanjutnya beberapa kali dengan durasi 2500 putaran sampai total jumlah putaran mencapai sekitar 40000 putaran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



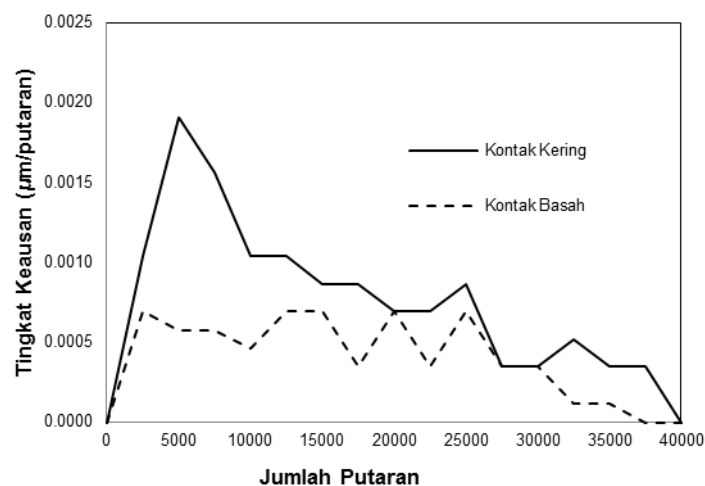
(a)



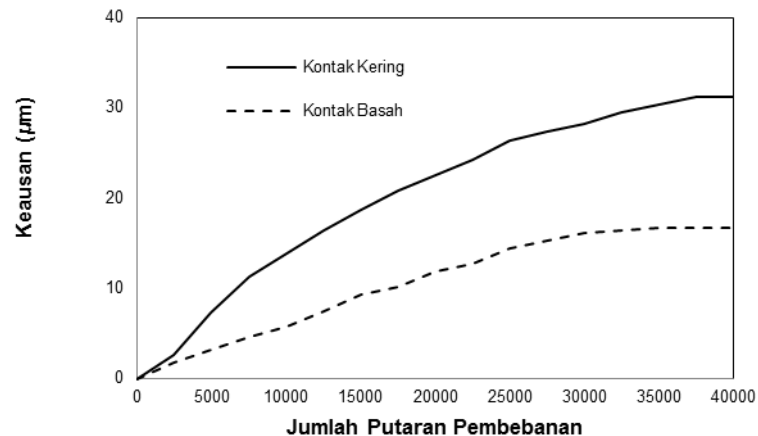
(b)

Gambar 4 Orientasi regangan geser material dibawah permukaan kontak pada baja carbon AISI 1065 setelah 40000 putaran, (a) Kondidi kontak kering, (b) kondisi kontak basah.

Gambar 4 menunjukkan kondisi material dibawah permukaan kontak setelah menerima beban gelinding luncur dengan tekanan maksimum kontak 750MPa, rasio slip-roll 5% and dengan kondisi kontak kering (Gambar 4a) dan kontak basah (Gambar 4b). Pada kondisi kontak kering (Gambar 4a), terlihat mekanisme keausan terjadi akibat proses yang diawali dengan terjadinya regangan geser plastis dipermukaan dan dibawah permukaan kontak material (hingga kedalaman mencapai sekitar 300 μm) dan terakumulasi cukup besar. Keausan kemudian terjadi apabila regangan geser plastis dipermukaan kontak telah mencapai regangan geser kritis material. Dari gambar juga terlihat orientasi arah reganga geser material searah dengan arah traksi yang terjadi di permukaan kontak. Kondisi ini memperlihatkan bahwa material dipermukaan terlepas sebagai butiran aus diperlukan pembebanan yang berulang-ulang sehingga diperlukan waktu tertentu untuk mencapai keausan maksimum. Waktu yang diperlukan agar material mengalami keausan tentunya tergantung pada sifat mekanis material tersebut dan kondisi pembebanan, seperti besar beban, koefisien gesek antara kedua komponen, geometri kontak dll. Regangan geser plastis pada material dipermukaan kontak maupun dibawah permukaan kontak dapat mengakibatkan kekerasan pada daerah tersebut meningkat. Meningkatnya kekerasan pada material oleh proses deformasi plastis disebut material mengalami proses work hardening [8]. Proses work hardening pada material dipermukaan dan dibawah permukaan dapat dilihat pada perubahan bentuk dan orientasi struktur mikro (Gambar 4). Struktur mikro terlihat mengalami perubahan orientasi sesuai arah traksi dan juga mengalami pemipihan sehingga membuat struktur *Cementite* (warna gelap) yang memiliki sifat keras dan getas menjadi lebih rapat dan komposisi struktur *Ferite* (warna terang) yang memiliki sifat mekanis lebih lunak dari pada *Cementite* yang juga sebagai lapisan pemisah *Cementite* menjadi semakin menipis. Perubahan inilah menunjukkan terjadinya deformasi plastis pada material tersebut dan mengakibatkan sifat mekanis material dekat permukaan kontak akan semakin keras dan lebih tahan terhadap aus [9]. Pada kondisi permukaan kontak basah (Gambar 4b), setelah material menerima beban gelinding-luncur hingga 40000 putaran pembebanan tidak terlihat terjadinya regangan geser yang cukup besar dipermukaan maupun dibawah permukaan kontak. Hal ini terjadi akibat air yang terperangkap pada area kontak mampu memperkecil kontak adhesi yang terjadi sehingga gaya gesek yang terjadi juga semakin kecil. Kondisi tersebut mengakibatkan regangan geser yang terjadi dipermukaan menjadi sangat kecil dan hanya dapat terjadi sampai kedalaman kurang dari 100 μm . Walaupun deformasi plastis terjadi hanya dipermukaan kontak hingga kedalaman kurang dari 100 μm , proses work hardening tentunya tetap terjadi hingga kedalaman tersebut. Hal ini tentunya mengakibatkan terjadinya perubahan sifat mekanik material.



Gambar 5 Tingkat keausan baja carbon AISI 1065 akibat beban gelinding-luncur ($\mu\text{m/putaran}$), dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%.



Gambar 6 Akumulasi keausan baja carbon AISI 1065 akibat beban gelinding-luncur (um/putaran), dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%.

Gambar 5 menunjukkan tingkat keausan baja karbon AISI 1065 dengan beban kontak 1.8kN atau tekanan kontak maksimum 750MPa sampai pada putaran 40000. Garis solid menunjukkan tingkat keausan material pada permukaan kontak kering dan garis putus-putus menunjukkan tingkat keausan material pada permukaan kontak basah. Pada kondisi kontak kering, beban gelinding luncur mengakibatkan keausan terjadi sejak awal pembebanan dan terus meningkat hingga mencapai maksimumnya pada putaran 5000 putaran dengan tingkat keausan sekitar 0.0019 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Selanjutnya dengan bertambahnya jumlah pembebanan, tingkat keausan material mengalami penurunan hingga mencapai sekitar 0.0004 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ dan selanjutnya mengalami kecenderungan kondisi keausan yang stabil ditingkat keausan antara 0.0004 – 0.0005 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Pada kondisi kontak basah, keausan yang terjadi sangat kecil dan cenderung berfluktuasi ditingkat keausan antara 0.0001 – 0.0007 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Pada kondisi ini tidak nampak terjadinya lonjakan tingkat keausan yang sangat besar seperti halnya pada material dengan kondisi permukaan kontak kering. Total material aus hingga putaran pembebanan 40000 putaran yaitu sekitar 31.2 μm dari permukaan untuk permukaan kontak kering dan untuk permukaan material kontak basah sekitar 16.8 μm dari permukaan (Gambar 6).

Keausan yang terjadi pada kondisi kontak kering diawal pembebanan jumlahnya sangat kecil sebelum mencapai tingkat keausan maksimum. Hal ini terjadi akibat akumulasi regangan geser plastis yang terjadi dipermukaan perlu waktu untuk mencapai regangan geser kritis material. Tingkat keausan selanjutnya meningkat sangat drastis hingga mencapai keausan maksimum, hal ini terjadi karena material dibawah permukaan kontak telah terdeformasi plastis dan terakumulasi cukup besar sehingga pembebanan pada durasi putaran tersebut banyak material dipermukaan yang terlepas sebagai partikel aus. Deformasi plastis yang terjadi mengakibatkan juga perubahan sifat mekanik material dimana material mengalami pengerasan (mengalami proses *work hardening*) [8]. Work hardening yang terjadi pada material akibat deformasi plastis tersebut mengakibatkan material memiliki ketahanan aus meningkat sehingga tingkat keausan material mengalami penurunan. Setelah kekerasan akibat *strain hardening* dekat permukaan kotak mencapai nilai maksimumnya maka selanjutnya beban kontak gelinding-luncur berikutnya mengakibatkan tingkat keausan akan cenderung mendekati konstan. Pada kondisi permukaan kontak basah, tingkat keausan yang terjadi sangat kecil dan cenderung stabil atau berfluktuasi antara 0.0001 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ sampai dengan sekitar 0.0007 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Hal ini diakibatkan karena regangan geser plastis akibat beban gelinding luncur sangat kecil dan terjadi hanya hingga kedalaman tidak lebih dari 100 μm (lihat Gambar 4b). Kondisi ini mengakibatkan regangan geser palstis membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mencapai nilai regangan geser kritis material.

4. SIMPULAN

Beban gelinding luncur pada permukaan kontan basah (air yang terperangkap dalam area kontak) dapat mengurangi terjadinya deformasi plastis (regangan geser plastis) dipermukaan kontak maupun dibawah permukaan kontak. Dengan tekanan kontak maksimum 750 MPa dan rasio slip-roll 5%, regangan geser palstis hanya terjadi hingga kedalaman kurang dari 100 μm pada kondisi kontak basah dan hingga kedalaman 400 μm untuk kondisi kontak kering. Kondisi tersebut mengakibatkan keausan material yang terjadi setelah 40000 putaran pada kondisi kontak basah menjadi lebih kecil (sekitar 16.8 μm , dengan rata-rata tingkat keausan sekitar 3×10^{-4} $\mu\text{m}/\text{putaran}$) dibandingkan dengan

keausan yang terjadi pada kontak kering (sekitar 31.2 μm , dengan rata-rata tingkat keausan sekitar 6×10^{-4} μm /putaran).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikjen Dikti) yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Desantralisasi Tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. Chen, T. Bean, M. Ishida and T. nakahara, *Adhesion between rail/wheel under water lubricated contact*, *Wear* 253 (2002) 75–81.
- [2]. W.R. Tyfour, J.H. Beynon, and A. Kapoor, *Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact*, *Wear*, 1996. 197: p. 255 – 265.
- [3]. R. Lewis and R.S. Dwyer-Joyce, *Wear mechanisms and transitions in railway wheel steels*, *Proc. Inst Mech. Engrs*, 2004. 218(J): p. 467 – 478.
- [4]. J. A. Williams, *Engineering tribology*, 1994, New York: Oxford University Press Inc.
- [5]. J. A. Williams, *Wear and wear particles - some fundamentals*, *Tribology International* 38 (2005) 863–870
- [6]. Weihua Zhang, Jianzheng Chen, Xuejie Wu, Xuesong Jin, *Wheel/rail adhesion and analysis by using full scale roller rig*, *Wear* 253 (2002) 82–88.
- [7]. William D. Callister, Jr. *Materials Science and Engineering an Introduction*, 1997, 4th Add., Wiley
- [8]. G. Baumann, H.J. Fecht, and S. Liebelt, *Formation of white-etching layers on rail treads*, *Wear*, 1996. 1991: p. 133-140.
- [9]. I Made Widiyarta, Tjok Gde Tirta Nindia dan Herry Mudiastawan, Tingkat keausan baja karbon (AISI 1065) akibat beban kontak gelinding-luncur, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, 16-17 Oktober 2012.

Karakteristik Traksi Sepeda Motor dengan *Continuouse Variable Transmission System*

I Ketut Adi Atmika^{1)*}, I Dewa Gede Ary Subagia¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: tutadi2001@yahoo.com, tutadi@me.unud.ac.id

Abstrak

Inovasi teknologi otomotif khususnya sepeda motor terus dikembangkan untuk mendapatkan kestabilan dan kenyamanan dalam pengendalian. Saat ini produsen sepeda motor telah memproduksi kendaraan yang memakai sistem transmisi otomatis. Transmisi otomatis merupakan sistem transmisi yang hanya membutuhkan pengendalian kecepatan dan pengendalian pengereman. Dari konsep tersebut telah dikembangkan sistem transmisi otomatis secara variabel yang disebut dengan *Continuously Variable Transmission (CVT)* sistem. CVT pada sepeda motor menggunakan *speed governor* yang mengatur kedudukan atau diameter puli primer untuk merubah ratio transmisi sesuai dengan putaran mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berat *roller* sentrifugal yang terdapat dalam *speed governor* terhadap kinerja traksi. Kinerja traksi dianalisa dengan melakukan pemodelan matematik dengan kendaraan model sepeda motor Nouvo 115 cc, 4 tak. Sebagai parameter input pada perhitungan meliputi : kecepatan ($V = 0-30$ km / jam, $V = 40-70$ km / jam, dan $V = 80-90$ km / jam), torsi mesin, berat *roller* sentrifugal, dinamika kendaraan (gaya berat, gaya hambat, dsb). Untuk dapat menjawab permasalahan yang timbul dilakukan penelitian dengan mempergunakan metode simulasi yang dibandingkan dengan pengujian di jalan lurus datar. Dari hasil simulasi dan eksperimen di lapangan didapat : untuk berat *roller* sentrifugal 8 gr kinerja traksi terbesar terjadi pada kecepatan rendah sehingga akselerasi pada kecepatan rendah paling cepat dibandingkan dengan *roller* sentrifugal 10,2 (standar) atau 12 gr. Sedangkan dengan berat *roller* sentrifugal 12 gr akan didapat kinerja traksi terbesar pada kecepatan tinggi sehingga kendaraan akan mudah dipercepat pada kecepatan tinggi tersebut, dan untuk *roller* sentrifugal 10,2 gr (standar) memiliki kinerja traksi diantara *roller* sentrifugal 8 gr dan 12 gr.

Kata kunci: CVT Sistem, Sepeda motor, Kinerja traksi, Simulasi, Roller Sentrifugal, Speed Governor

Abstract

The automotive technology especially motorcycle has been innovated to improve the handling stability and comfortably. The developing of motorcycle technology has applied automatic transmission system. The automatic transmission has systems which need acceleration handling and break control. From this concept has been done to develop automatic transmission system according to variable which said *Continuously Variable Transmission (CVT)* system. The purpose of this experiment is to know effect weight of roller centrifugal in speed governor to traction performance. The analysis traction performance executed mathematic model with motorcycle Nouvo, 115 cc 4 strokes as vehicle model. Parameter input of this calculation include : vehicle speed ($V = 0-30$ km/h, $V = 40-70$ km/h, dan $V = 80-90$ km/h), engine torque, and vehicle dynamic model behavior. For get the answer, the experiment executed with simulation mode and then appealed with experiment on straightaway level. The obtained result on simulation and experiment : for roller centrifugal with 8 gr weight will gave the maximum traction performance on low speed until the acceleration on low speed is faster than the roller centrifugal 10.2 gr or 12 gr. However the roller centrifugal with 12 gr weight will gave the highest traction performance on the high speed until the vehicle easy to faster in high speed, and for roller centrifugal 10.2 gr weight (standard) have traction performance between roller centrifugal 8 gr and 12 gr.

Keywords: CVT System, Motorcycle, Traction Performance, Simulation, Roller Sentrifugal, Speed Governor

1. PENDAHULUAN

Sepeda motor saat telah dilengkapi sistem dengan transmisi otomatis dengan model yang digunakan adalah CVT (*Continuously Variable Transmission*) sistem, seperti pada Yamaha Mio, Nouvo dan Kymco jetmatic. Sepeda motor yang bertransmisi otomatis memiliki beberapa kelebihan, salah satunya adalah lebih praktis dalam pemakaian dibandingkan dengan sepeda motor yang bertransmisi

* Penulis korespondensi, HP: 6281236785776,
Email: tutadi@me.unud.ac.id

manual, dikarenakan pengendara tidak perlu lagi secara manual merubah transmisi kecepatan kendaraanya, tetapi secara otomatis berubah sesuai dengan putaran mesin, sehingga sangat cocok digunakan di daerah perkotaan yang sering dihadap kemacetan. Perpindahan transmisi sangat lembut dan tidak terjadi hentakan seperti pada sepeda motor konvensional sehingga sangat nyaman dikendarai.

Sistem transmisi otomatis dengan CVT (*Continuously Variable Transmission*) terdiri dari puli primer (*driver pulley*) dan puli sekunder (*driven pulley*) yang dihubungkan dengan V-belt. Pada puli primer terdapat *speed governor* yang berperan merubah besar kecilnya diameter puli primer. Dalam *speed governor* terdapat 6 buah *roller* sentrifugal yang akan menerima gaya sentrifugal akibat putaran poros dari *crankshaft*, dan *roller* sentrifugal akan terlempar keluar menekan bagian dalam salah satu sisi puli yang dapat bergeser (*sliding Sheave*) ke arah sisi puli tetap (*fixed sheave*) sehingga menyebabkan terjadinya perubahan diameter puli primer, yaitu membesar atau mengecil. Perubahan ini memberikan efek pada ratio transmisi.

Besar kecilnya gaya tekan *roller* sentrifugal terhadap *sliding sheave* ini berbanding lurus dengan berat *roller* sentrifugal dan putaran mesin. Semakin berat *roller* sentrifugal semakin besar gaya dorong *roller* sentrifugal terhadap *sliding sheave* sehingga semakin besar diameter dari puli primer tersebut. Sedangkan pada puli sekunder pergerakan puli diakibatkan oleh tekanan pegas, puli sekunder ini hanya mengikuti gerakan sebaliknya dari puli primer, jika puli primer membesar maka puli sekunder akan mengecil, begitu juga sebaliknya. Jadi berat *roller* sentrifugal sangat berpengaruh terhadap perubahan ratio diameter dari puli primer dengan puli sekunder.

Ary Subagia dkk [1] menjelaskan tentang analisa karakteristik traksi pada sepeda motor (110 cc, 4 tak) dengan kontinyu variabel transmision. Karakteristik traksi yang dihasilkan oleh roda penggerak ditinjau dari ratio transmisi dan tingkat transmisi. Analisa karakteristik traksi roda penggerak dilakukan dengan menggunakan metode quasi dinamik dengan kendaraan model adalah motor Mio 110 cc, 4 tak. Perhitungan didasarkan pada input parameter kendaraan meliputi kecepatan, daya motor, dan perilaku dinamik kendaraan model. Kemudian karakteristik traksi CVT terhadap traksi yang dihasilkan dianalisa mempergunakan kontrol traksi melalui simulasi mode, dengan kondisi jalan lurus.

Kuen-Bao Sheu, et.all [2] menjelaskan tentang penggunaan *hybrid transmission* untuk sepeda motor, termasuk konsep desain, kinematik desain, dan analisa efisiensi. Desain ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari CVT pada sepeda motor, khususnya pada saat akan bergerak dan kecepatan rendah. Dalam paper ini dijelaskan konsep gabungan dua jenis transmisi yaitu CVT dan transmisi differential, dimana pada saat kendaraan akan bergerak sampai kecepatan menengah digunakan transmisi *differential* sedangkan pada kecepatan tinggi digunakan CVT.

Adi Atmika [3] menjelaskan tentang kontrol torsi dengan CVT untuk memperbaiki stabilitas arah kendaraan. Paper ini menjelaskan analisa stabilitas dari kontrol torsi roda penggerak dengan CVT menggunakan simulasi komputer. Proses simulasi dibuat model kendaran secara lengkap dengan input kondisi dan parameter operasi dengan sistem itu bekerja, dengan *setting point ratio slip* pada koefisien gesek yang optimum. Analisa stabilitas difokuskan pada perilaku gerakan belok kendaraan. *Yaw* respon akan dibandingkan dengan *Yaw ackermann*, untuk mendapatkan gambaran kinerja perilaku arah kendaraan.

Studi tentang variasi berat *roller* sentrifugal CVT system terhadap kinerja traksi sepeda motor dilakukan dengan memvariasikan berat *roller* sentrifugal, yaitu 8 gram, 10,2 gram, dan 12 gram. Sebagai faktor dalam penelitian ini dilakukan variasi kecepatan ($V = 0-30$ km/jam, $V = 40-70$ km/jam, dan $V = 80-90$ km/jam) dengan pengujian dilakukan di jalan datar lurus (tanpa tanjakan atau belokan). Sebagai metoda untuk menjawab pengaruh tersebut diatas, dilakukan dengan mempergunakan simulasi.

2. METODE

2.1. Kinerja Traksi

Kinerja traksi kendaraan didefinisikan sebagai kemampuan kendaraan untuk dipercepat, dan mengatasi hambatan-hambatan yang terjadi, diantaranya hambatan rolling ban (*rolling resistance*), hambatan aerodinamis, dan hambatan tanjakan. Kemampuan kendaraan tersebut sangat dipengaruhi oleh kemampuan mesin kendaraan dan pemilihan tingkat serta ratio transmisi [4].

$$F = \frac{T_{e(n)} \cdot i_t \cdot i_d}{r} \eta_i \quad (1)$$

dimana : F = gaya dorong pada roda (N)

T_e = torsi mesin sebagai fungsi dari kecepatan kendaraan ke n (N.m)
 i_t = ratio transmisi
 i_d = ratio differential akhir
 r = radius roda penggerak (m)
 η_t = efisiensi transmisi

Makin mudah kendaraan dipercepat pada setiap kecepatan maka makin bagus kinerja traksi dari kendaraan tersebut. Kendaraan yang mudah dipercepat akan sangat mudah mendahului kendaraan lain dengan aman dan lebih mudah pengendaliannya. Besarnya percepatan tergantung pada besarnya gaya dorong kendaraan (F), hambatan aerodinamis (R_a) dan hambatan *rolling* (R_r). Besarnya percepatan kendaraan pada jalan datar dirumuskan pada persamaan 2 [4]

$$a = \frac{F - R_a - R_r}{\gamma_m \cdot M} \quad (2)$$

dimana : M = massa total kendaraan
 R_a = hambatan aerodinamis
 R_r = hambatan rolling pada roda
 $\gamma_m = 1,04 + (0,0025 \cdot i_0)$
 i_0 = Perbandingan putaran roda penggerak

Untuk menggerakkan kendaraan dibutuhkan gaya dorong yang cukup untuk melawan semua hambatan yang terjadi pada kendaraan. Gaya dorong dari suatu kendaraan terjadi pada roda penggerak kendaraan. Gaya dorong ini ditransformasikan dari torsi mesin kendaraan kepada roda penggerak yang terdiri dari kopling, transmisi, gigi diferensial, dan poros penggerak.

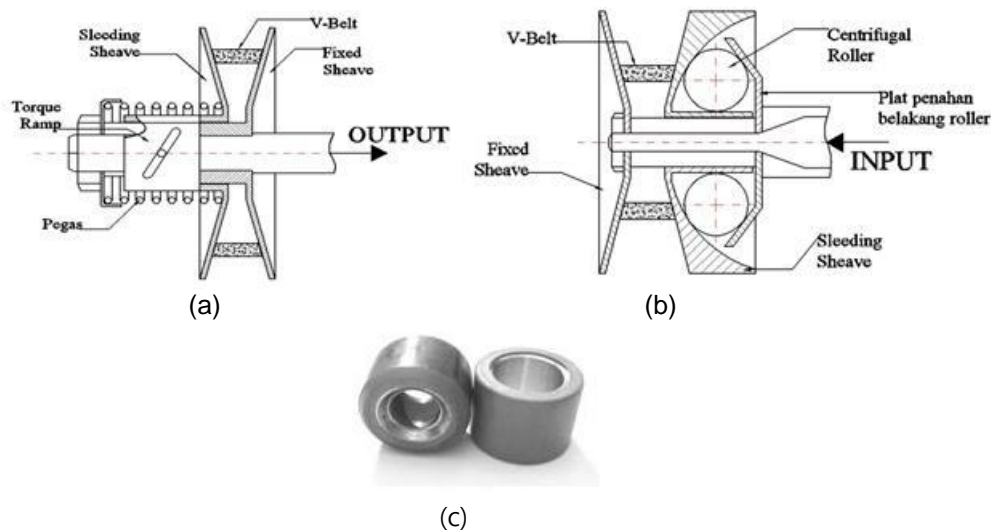
Gaya dorong pada roda yang ditransmisikan dari torsi mesin kendaraan dirumuskan persamaan 3 [4]

$$F = \frac{M_e \cdot i_t \cdot i_d \cdot \eta_t}{r} \quad (3)$$

dimana :
 F = gaya dorong kendaraan (N)
 M_e = torsi keluaran dari mesin (N.m)
 r = jari-jari roda (m)
 η_t = efisiensi transmisi
 i_t = perbandingan gigi transmisi
 i_d = perbandingan gigi akhir

2.2. Sistem Transmisi CVT (*Countinously Variabel Transmission*)

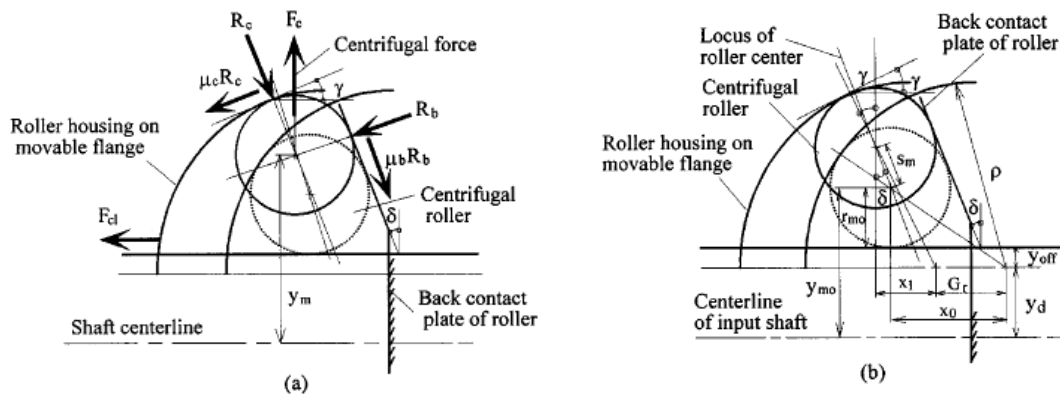
Pada sepeda motor otomatis, sistem CVT yang digunakan terdiri dari puli primer (*driver pulley*) dan puli sekunder (*driven pulley*) yang dihubungkan dengan V-belt. Bagian-bagian CVT pada sepeda motor ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Bagian CVT, (a) Puli primer, (b) Puli sekunder dan (c) *Roller*

Ketika mesin berputar pada *roller* sentrifugal bekerja gaya sentrifugal yang menekan sleeding

shave (F_{sh}) driver puli yang terlihat pada gambar 4.



Gambar 2 Parameter kontrol pada driver puli CVT

$$F_{sh} = \frac{m y_m \omega^2}{\left(\frac{\cos \gamma + \mu_c \sin \gamma}{\sin \gamma - \mu_c \cos \gamma} \right) + \left(\frac{\sin \delta + \mu_b \sin \delta}{\cos \delta - \mu_b \sin \delta} \right)} \quad (4)$$

dimana :

F_{sh} = gaya axial pada *sliding sheave* driver puli yang disebabkan oleh *roller* sentrifugal

μ_b = koefisien gesek antara *roller* dan plat penahan belakang *roller*

μ_c = koefisien gesek antara *roller* dengan rumah *roller* sentrifugal

m = total massa dari *roller* sentrifugal (kg)

δ = sudut yang terbentuk antara plat penahan belakang *roller* sentrifugal dengan garis sumbu poros ($^\circ$)

γ = sudut yang terbentuk antara garis axial dan titik singgung antara *roller* sentrifugal dan rumahnya ($^\circ$)

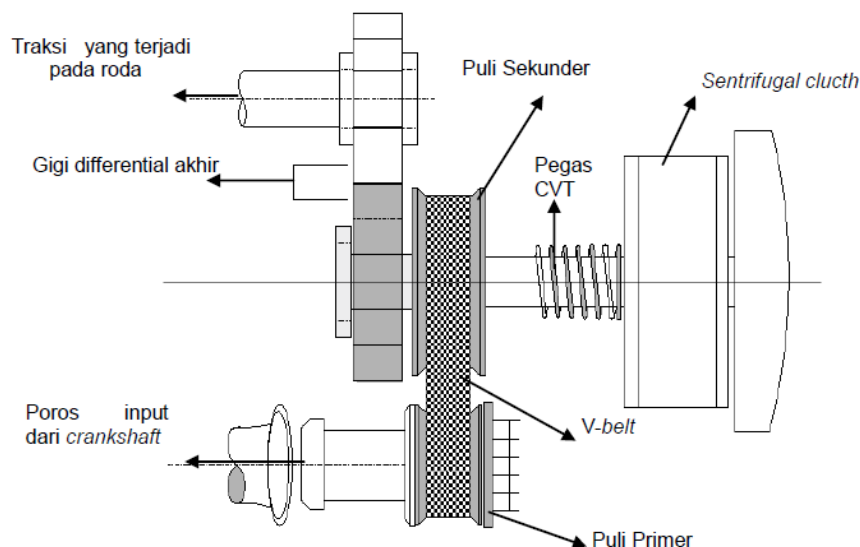
ω = kecepatan sudut masukan (rad / s)

R_c = gaya normal oleh rumah *roller* sentrifugal (N)

R_b = gaya normal oleh plat penahan *roller* sentrifugal (N)

2.3. Pemodelan

Untuk memindahkan daya dari putaran mesin ke roda diperlukan mekanisme sistem transmisi. Dengan didasarkan pada model sistem transmisi yang ditunjukkan pada gambar 3.



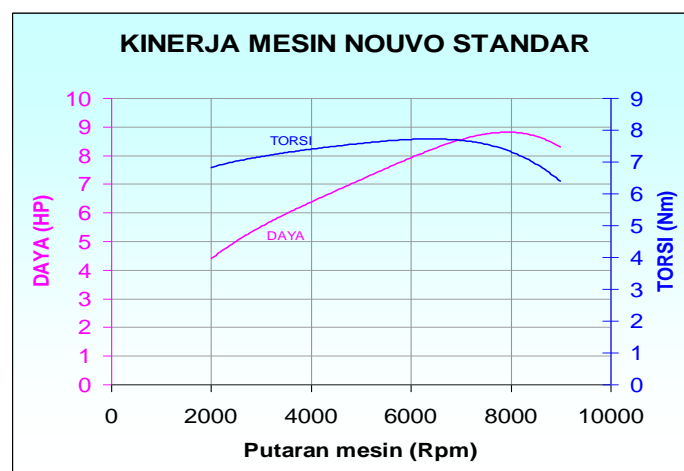
Gambar 3 Skematik CVT sistem pada sepeda motor

Sistem CVT pada sepeda motor seperti ditunjukkan pada gambar 3, *driver pulley* (puli pertama) dihubungkan dengan *crankshaft engine* melalui *speed governor*, dalam *speed governor* terdapat *roller* sentrifugal yang akan menekan *sleeding sheave driver pulley* yang besarnya berbanding lurus dengan massa dan kecepatan sudutnya, tekanan oleh *roller* sentrifugal bergerak keluar sehingga menyebabkan pergeseran *sleeding sheave driver pulley* ke arah *fixed sheave driver pulley* dan *sleeding sheave driver pulley* juga akan mendesak V-belt ke atas atau ke diameter puli yang lebih besar. Karena panjang V-belt tetap, maka V-belt akan menarik atau menekan pegas yang ada pada *driven pulley* (puli kedua) dan membuat diameter puli kedua mengecil. Secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut : jika diameter puli primer membesar, maka diameter puli sekunder akan mengecil, sehingga kecepatan kendaraan akan bertambah. Dari perbandingan diameter puli primer (*driver pulley*) dan puli sekunder (*driven pulley*) akan didapat ratio transmisi. Selanjutnya putaran pada puli kedua (*driven pulley*) ditransmisikan menuju roda penggerak melalui gigi *defferensial* akhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

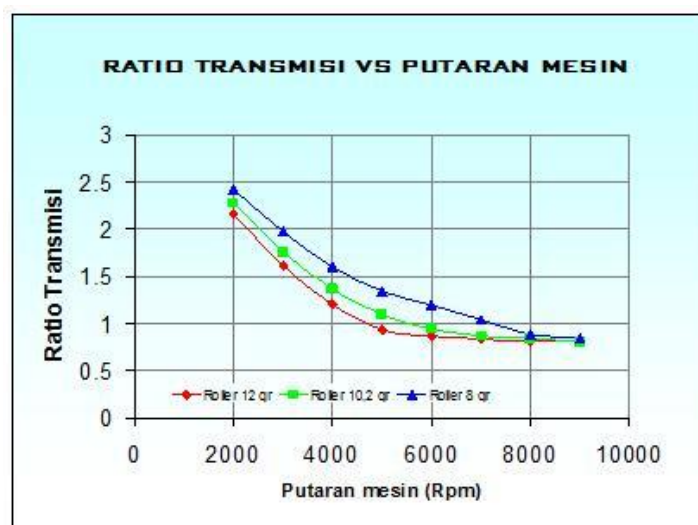
3.1. Kinerja Traksi

Karakteristik daya – torsi engine sepeda motor model ditunjukkan pada gambar 4.



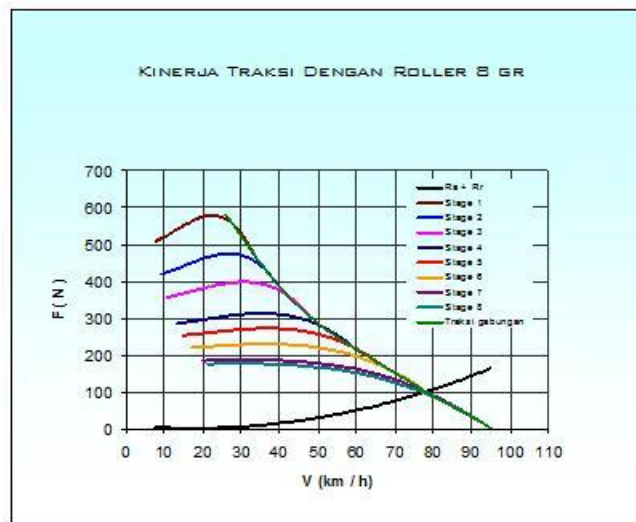
Gambar 4 Grafik karakteristik Daya-Torsi engine model

Pada putaran awal (2000 rpm), untuk berat *roller* sentrifugal 8 gram gaya aksial yang terjadi lebih kecil dari gaya aksial oleh pegas sehingga pergerakan *sleeding sheave* puli tidak ada dan ratio tranmisi tetap. Selanjutnya perubahan ratio terus terjadi sampai 9000 rpm. *Roller* 12 gr menghasilkan ratio transmisi terkecil pada 8000 rpm, sedangkan roller 10,2 memperolehnya pada 9000 rpm.

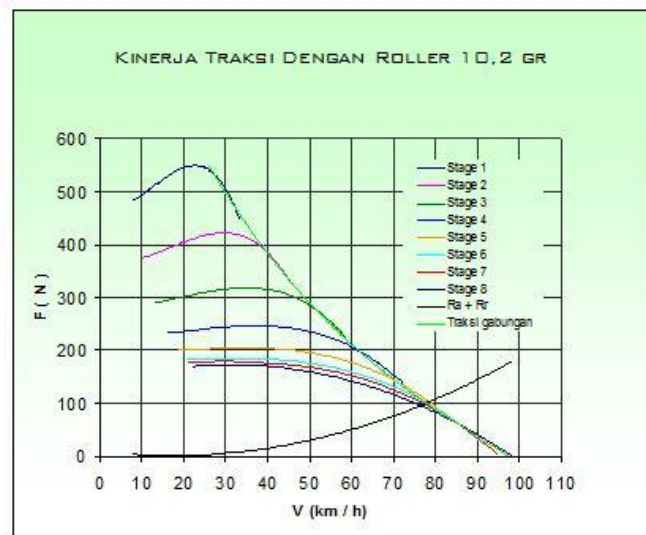


Gambar 5 Ratio transmisi yang terjadi

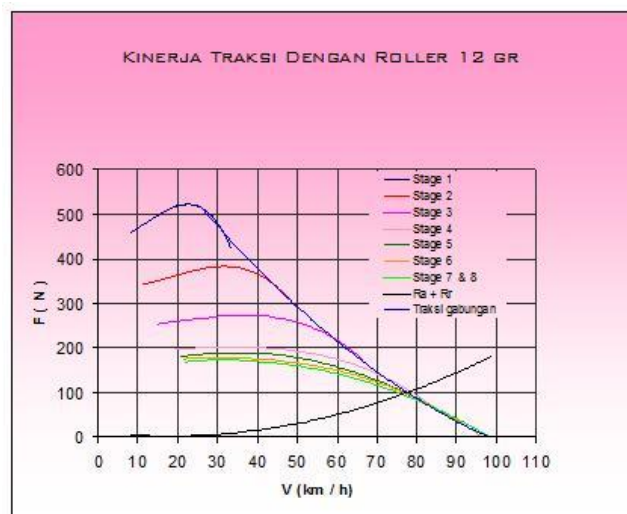
Karakteristik kinerja traksi dengan berat roller 8 gram, 10,2 gram, dan 12 gram ditunjukkan pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8.



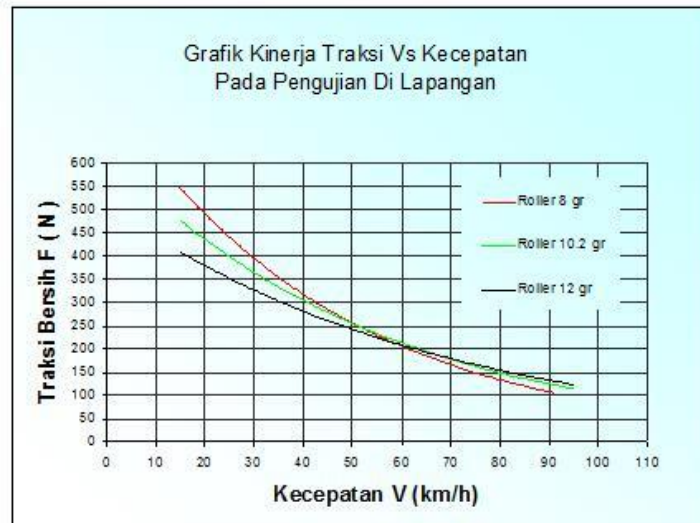
Gambar 6 Grafik Karakteristik Kinerja Traksi dengan berat roller 8 gram



Gambar 7 Grafik Karakteristik Kinerja Traksi dengan berat roller 10,2 gram



Gambar 8 Grafik Karakteristik Kinerja Traksi dengan berat roller 12 gram



Gambar 9 Karakteristik Kinerja Traksi Vs kecepatan pada pengujian

3.2. Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa : untuk *roller* sentrifugal 8 gr menghasilkan kinerja traksi terbesar pada kecepatan rendah, sedang untuk *roller* sentrifugal 12 gr menghasilkan kinerja traksi terbesar pada kecepatan tinggi, dan *roller* sentrifugal standar (10,2 gr) memiliki kinerja traksi diantara keduanya.

Roller sentrifugal sangat berpengaruh terhadap kemampuan kendaraan untuk berakselerasi, untuk kecepatan rendah ($V = 0-30$ km/jam) akselerasi tercepat dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 8 gr, sedangkan pada kecepatan tinggi ($V = 80-95$ km/jam) akselerasi tercepat dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 12 gr dan pada kecepatan menengah ($V = 45-70$ km/jam) akselerasi tercepat dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar (10,2 gr).

Dari hasil simulasi, traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 8 gr adalah 580,34 N; traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar (10,2 gr) adalah 551,12 N dan traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 12 gr adalah 524,34 N. Sedangkan pada percobaan dilapangan, traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 8 gr adalah 498,11; traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar (10,2 gr) adalah 401,844 dan traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar 12 gr adalah 383,702 N.

4. SIMPULAN

- Pada hasil simulasi dan pengujian dilapangan menunjukkan bahwa : untuk *roller* sentrifugal 8 gr kinerja traksi sangat baik pada kecepatan rendah, sedang untuk *roller* sentrifugal 12 gr kinerja traksi sangat baik pada kecepatan tinggi, dan *roller* sentrifugal standar (10,2 gr) memiliki kinerja traksi diantara keduanya.
- *Roller* sentrifugal sangat berpengaruh terhadap kemampuan kendaraan untuk berakselerasi, untuk kecepatan rendah ($V = 0-30$ km/h) akselerasi tercepat dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 8 gr, sedangkan pada kecepatan tinggi ($V = 80-95$ km/h) akselerasi tercepat dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 12 gr dan pada kecepatan menengah ($V = 45-70$ km/h) akselerasi tercepat dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar (10,2 gr).
- Dari hasil simulasi, traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 8 gr adalah 580,34 N; traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar (10,2 gr) adalah 551,12 N dan traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 12 gr adalah 524,34 N. Sedangkan pada percobaan dilapangan, traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal 8 gr adalah 498,11; traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar (10,2 gr) adalah 401,844 dan traksi maksimum yang dihasilkan oleh *roller* sentrifugal standar 12 gr adalah 383,702 N, Perbedaan hasil ini kemungkinan besar disebabkan oleh kerugian akibat gesekan pada sistem penggerak kendaraan, kondisi pengemudi dan kondisi mesin model test yang sudah mengalami penurunan performa, walaupun sudah dilakukan tune-up sebelum pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ary Subagia I Dewa Gede, Adi Atmika In Ketut, Sri Komaladewi. *Analisa Karakteristik Traksi Pada Sepeda Motor (110 cc, 4 strokes) with Continous Variabel Transmission (CVT) System*. Prosiding SNTTM IV, Bali (2005).
- [2] Sheu, Kuen-Bao, Shen Tarng Chiou, Wen-Ming Hwang, Ting-Shan Wang dan Hong-Seng Yan. *New Automatic Hybrid Transmission for Motorcycles*, Proceeding National Science Council Republik of China, Taiwan (1999).
- [3] Adi Atmika I Ketut. *Simulasi Pengendalian Stabilitas Arah Kendaraan Melalui Pengontrolan Torsi dengan Continous Variable Transmission (CVT)*, Pasca sarjana ITS Surabaya, (2004).
- [4] Sutantra, N. *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya*, Guna Widya, Surabaya
- [5] Joni Dewanto. *Pemodelan Sistem Gaya dan Traksi Roda*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 5, No.2,64-69, FTI, Univ. Kristen Petra. Surabaya, (2004).
- [6] Schuring H, Wasito Kusmoyudo. *Teknik Kendaraan Bermotor (chasis)*, Bina Cipta, Bandung, (1987)

Kekuatan Lentur Komposit Polyester Berpenguat Serat Tapis Kelapa

I Made Astika^{1)*} dan I Gusti Komang Dwijana¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email: imdastika@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki sifat mekanis yaitu kekuatan lentur dari komposit polyester yang diperkuat dengan serat tapis kelapa. Di masa depan komposit ini dapat digunakan untuk menggantikan kayu, bambu dan gipsun yang harganya mahal dan tidak tahan air. Komposit dibuat dengan memanfaatkan serat sabut kelapa dan matriks resin *Unsaturated-Polyester (UPRs)* jenis Yucalac 157 BQTN, campuran 1% *hardener* jenis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) dan perendaman serat dalam larutan alkali KMnO_4 0,5%. Metode produksi yang digunakan adalah *press hand lay up* dengan orientasi serat acak. Desain komposit dengan variasi fraksi volume serat 20, 25 dan 30% dan variasi panjang serat 5, 10 dan 15 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar fraksi volume dan panjang serat dalam komposit maka kekuatan lentur semakin tinggi. Mode patahan yang teramati adalah patah getas, *debonding*, *pullout* dan *crack deflection*.

Kata kunci: komposit, serat tapis kelapa, kekuatan lentur, mode patahan

Abstract

The purpose of this study is to investigate the mechanical properties i.e. flexural strength of composites coconut filter fiber. In the future this material can be used to replace the wood, bamboo and gipsun which are high price and lower water resistance.

The research material made with coconut filter fiber as reinforcement and matrix resin unsaturated polyester (UPRs) type Yukalac BQTN 157, with 1% hardener types MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) and fiber treatment by 0.5% KMnO_4 . Production methods are press hand lay-up and the variations of fiber volume fraction are 20, 25 and 30% and fiber length are 5, 10 and 15 mm. Testing of mechanical properties is flexural test (ASTM - D790)

The results of research show that the longer of fiber and the bigger of fiber volume fraction, the higher of flexural strength are obtained. The fracture mode are overload, *debonding*, *pullout* and *crack deflection*

Keywords : composites, coconut filter fiber, flexural strength, fracture mode

1. PENDAHULUAN

Mekanisme penguat komposit mengalami pergeseran dari penggunaan serat sintetis menuju serat alami yang disebabkan efek limbah serat sintetis yang tidak dapat terurai secara alami. Serat alami dijadikan alternatif karena sifat mekanik cukup memadai untuk aplikasi pada struktur dengan pembebanan yang tidak terlalu tinggi, mudah didapat dan berlimpah serta dapat diproduksi dengan menanam tanaman yang dapat menghasilkan serat tersebut. Walaupun tidak sepenuhnya bergeser, namun penguat serat alam menggantikan serat sintetis adalah sebuah langkah bijak dalam menyelamatkan kelestarian lingkungan.

Indonesia sebagai negara beriklim tropis menghasilkan berbagai jenis serat alami seperti rami, abaca, agave, serat sabut kelapa dan serat tapis kelapa. Penggunaan tapis kelapa sebagai serat penguat komposit saat ini banyak diteliti, hal ini disebabkan tapis kelapa ketersediaannya cukup banyak namun tidak lagi dimanfaatkan. Tapis kelapa terdapat pada pangkal pelepah daun kelapa yang berfungsi sebagai penutup dari pangkal pelepah tersebut dan sekaligus sebagai pengikat pelepah sehingga pelepah pohon kelapa menjadi kokoh, dimana saat pohon kelapa ini berbuah maka pelepah akan menjadi penyangga. Serat tapis kelapa biasanya dibersihkan pada saat panen kelapa, namun serat tapis kelapa ini tidak termanfaatkan. Padahal serat tapis kelapa merupakan serat alami yang kiranya dapat digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcement*) komposit.

Matrik untuk bahan komposit yang banyak digunakan dan dikembangkan adalah campuran *polyester* dan *hardener*, dimana keunggulannya adalah memiliki sifat adhesi dan ketahanan panas

* ¹⁾Penulis korespondensi, HP: 08164748992,
Email: imdastika@yahoo.com

yang lebih baik daripada *thermoseting polymer* lainnya. Mengingat daya *adhesive* antara matrik dengan serat alami kurang begitu bagus maka untuk memperkuat daya *adhesive* komposit termoseting berpenguat serat alami dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia. Satu diantaranya adalah dengan perendaman serat tapis kelapa dengan larutan KMnO_4 . Perendaman disini bertujuan untuk meningkatkan daya lekat serat alami dengan *polyester*, dimana KMnO_4 akan mengoksidasi serat tapis kelapa didalam air sehingga kotoran atau kerak yang menempel pada serat tapis kelapa akan terkelupas. Dengan mengelupasnya kotoran pada serat akan menyebabkan ikatan serat dengan matrik semakin kuat sehingga dapat meningkatkan kekuatan dari komposit serat alami tersebut.

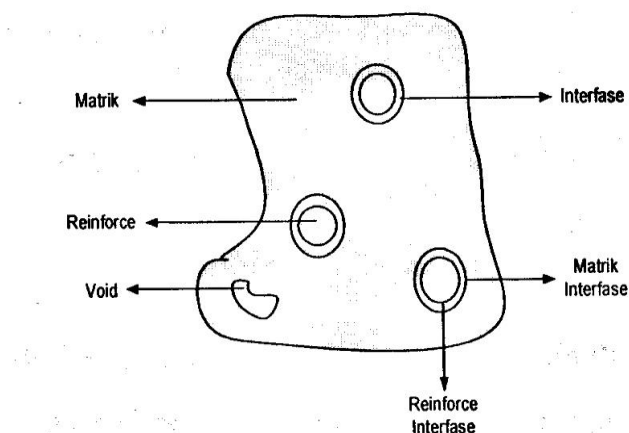
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda dimana satu material sebagai pengisi (Matrik) dan lainnya sebagai fasa penguat (*Reinforcement*). Komposit biasanya terdiri dari dua bahan dasar yaitu serat dan matrik. Serat biasanya bersifat elastis, mempunyai kekuatan tarik yang baik, namun tidak dapat digunakan pada temperatur yang tinggi sedangkan matrik biasanya bersifat ulet, lunak dan bersifat mengikat jika sudah mencapai titik bekunya. Kedua bahan yang mempunyai sifat berbeda ini digabungkan untuk mendapatkan satu bahan baru (komposit) yang mempunyai sifat yang berbeda dari sifat partikel penyusunnya [1]

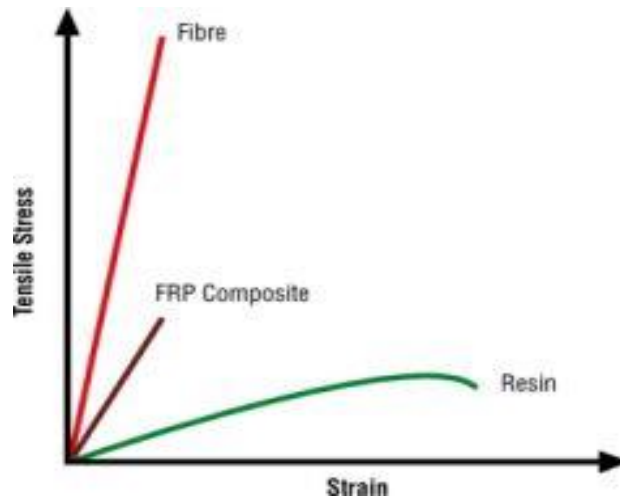
Menurut Jacobs, suatu material komposit merupakan suatu material yang kompleks dimana terkomposisikan dari dua material atau lebih yang digabungkan/disatukan secara bersamaan pada skala makroskopik membentuk suatu produk yang berguna, yang didesain untuk menghasilkan kualitas maupun sifat terbaik. Penguat biasanya bersifat elastis, dan mempunyai kekuatan tarik yang baik namun tidak dapat digunakan pada temperatur yang tinggi, sedangkan matrik biasanya bersifat ulet, lunak dan bersifat mengikat jika sudah mencapai titik bekunya. Kedua bahan yang mempunyai sifat berbeda ini digabungkan untuk mendapatkan satu bahan baru (komposit) yang mempunyai sifat yang berbeda dari sifat partikel penyusunnya [2].

Di dalam komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu fase diantara fase matrik dan penguat yang dapat timbul akibat interaksi kimia antara kimia antara fase matrik dan fase penguat.



Gambar 1 Fase-fase dalam komposit [2]

Semakin berkembangnya teknologi memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan dan kaku. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan teknologi tinggi di bidang industri, transportasi dan konstruksi bangunan. Karena komposit adalah kombinasi sistem resin dan serat penguat, maka sifat-sifat yang dimiliki komposit adalah kombinasi dari sifat sistem resin dan serat penguatnya, seperti grafik berikut :



Gambar 2 Grafik hubungan strain-tensile stress dari komposit [3]

2.2. Serat Alami

Serat alami (*natural fiber*) merupakan serat yang bersumber langsung dari alam (bukan merupakan buatan atau rekayasa manusia). Serat alami biasanya didapat dari serat tumbuhan seperti serat bambu, serat pohon pisang, serat nanas dan lain sebagainya. Biasanya sebelum digunakan sebagai penguat dalam komposit, serat alami mendapat perlakuan terlebih dahulu dengan menggunakan cairan kimia seperti NaOH, KMnO_4 dan lainnya. Perlakuan alkali serat berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan dan modulus tarik komposit serat kenaf acak - *polyester*. Kekuatan dan modulus tarik tertinggi diperoleh untuk komposit dengan perlakuan alkali serat selama 2 jam [4]. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dan wax (lapisan minyak) dalam serat dan mengakibatkan permukaan lebih kasar sehingga akan meningkatkan ikatan dengan matrik yang digunakan.

Penelitian dan penggunaan serat alami berkembang dengan sangat pesat dewasa ini karena serat alami banyak mempunyai keunggulan dibandingkan serat buatan (*synthetic*) seperti beratnya lebih ringan, dapat diolah secara alami dan ramah lingkungan. Serat alami juga merupakan bahan terbarukan dan mempunyai kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi dan tidak menyebabkan iritasi kulit [5]. Keuntungan-keuntungan lainnya adalah kualitas dapat divariasikan dan stabilitas panas yang rendah. Hal yang paling menonjol dari serat alami adalah ramah lingkungan dan mudah didapat. Dua sifat dasar tersebut membuat banyak ilmuwan tertarik untuk meneliti dan mengembangkan kegunaan serat alami. Disamping keunggulan tersebut, serat alami juga mempunyai kekurangan antara lain dimensinya tidak teratur, kaku, rentan terhadap panas, mudah menyerap air dan cepat lapuk [6].

Penggunaan serat alami sudah merambah ke berbagai bidang kehidupan manusia. Layaknya serat buatan, serat alami juga mampu digunakan dalam aspek yang biasanya menggunakan serat buatan hanya saja dalam penggunaannya terdapat modifikasi untuk menyesuaikan dengan sifat-sifat dasar dari serat alami.

2.3. Serat Tapis Kelapa

Tapis Kelapa adalah serat yang terdapat pada pangkal pelepah pohon kelapa yang berfungsi menutupi pelepahnya. Tapis kelapa awalnya digunakan oleh masyarakat tradisional sebagai saringan. Namun dengan adanya saringan kawat dan plastik yang memiliki kerapatan yang lebih merata, tapis kelapa pun mulai ditinggalkan. Serat ini tersusun dari bahan yang menyerupai bahan pembentuk serat kelapa. Walaupun jumlah yang dapat dihasilkan dalam satu pohon terbatas namun tapis kelapa mempunyai keunggulan yaitu seratnya sudah tersusun dengan baik secara alami. Susunan serat dari tapis kelapa menyilang antara lapisan serat atas dengan lapisan serat bagian bawah. Karena keunggulan tersebut serat tapis kelapa cocok untuk dijadikan serat alternatif untuk pembuatan komposit.



1 Tapis kelapa



Gambar 2 Serat tapis kelapa

Gambar

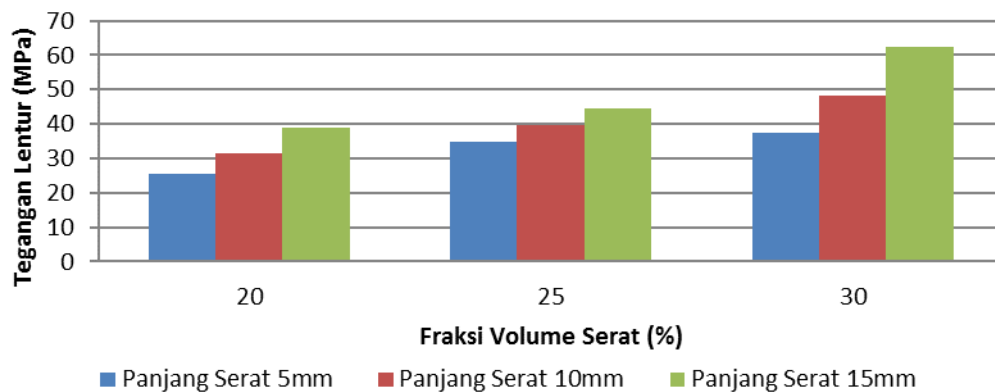
3. METODE

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah komposit polymer dengan penguat serat tapis kelapa dan matriks resin *Unsaturated-Polyester (UPRs)* jenis Yucalac 157 BQTN, campuran 1 % *hardener* jenis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) dan perendaman serat dalam larutan alkali KMnO_4 0,5%. Metode produksi adalah *press hand lay up* dengan orientasi serat acak. Desain komposit dengan variasi fraksi volume serat 20, 25 dan 30% dan variasi panjang serat 5, 10 dan 15 mm. Sifat mekanis yang diteliti adalah kekuatan lentur [7].

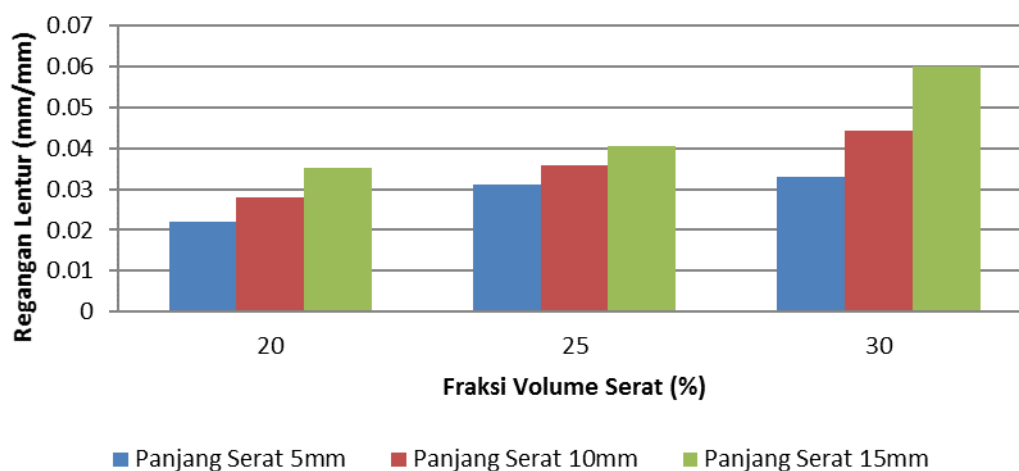
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil uji lentur

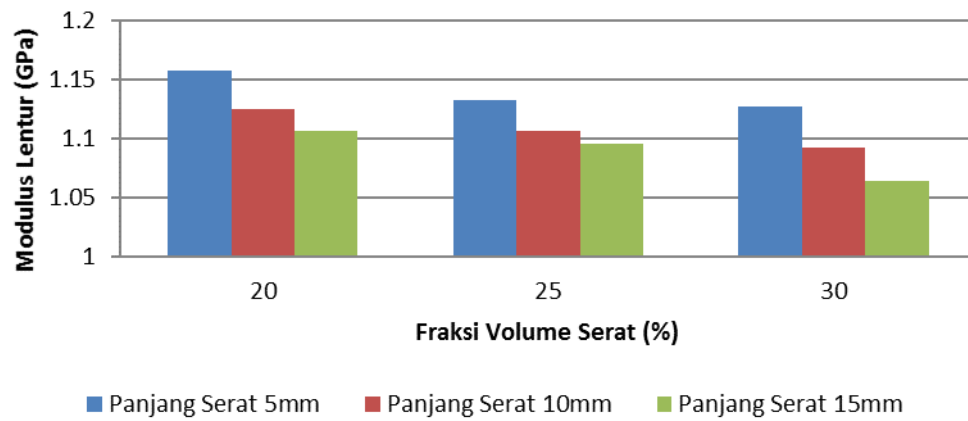
Hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar berikut:



Gambar 3 Grafik hubungan tegangan lentur, fraksi volume dan panjang serat

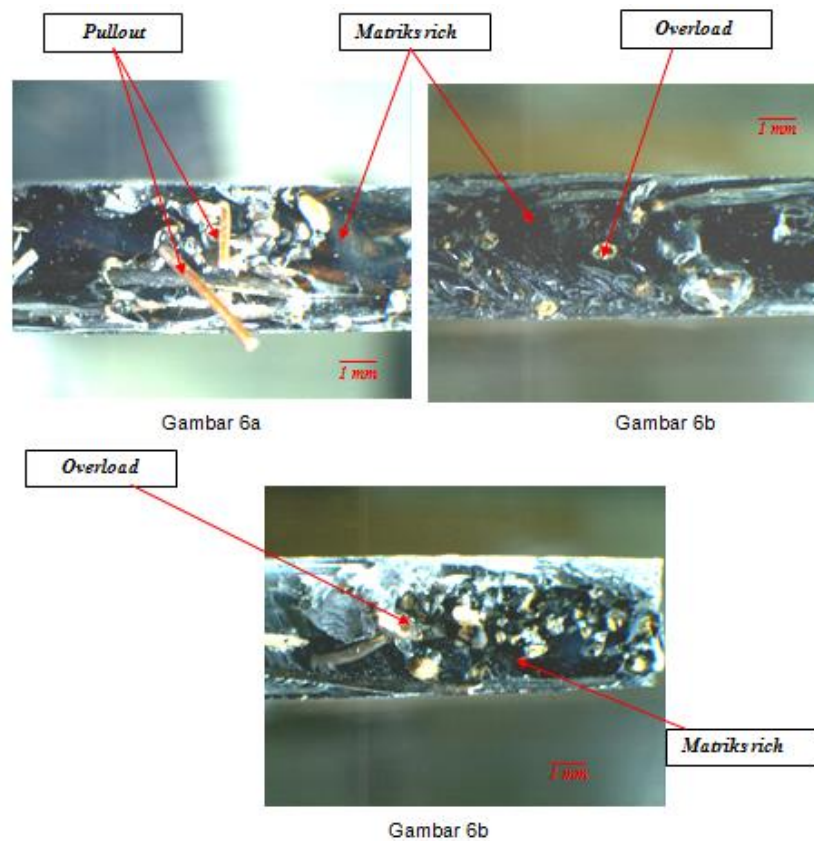


Gambar 4 Grafik hubungan regangan lentur, fraksi volume dan panjang serat

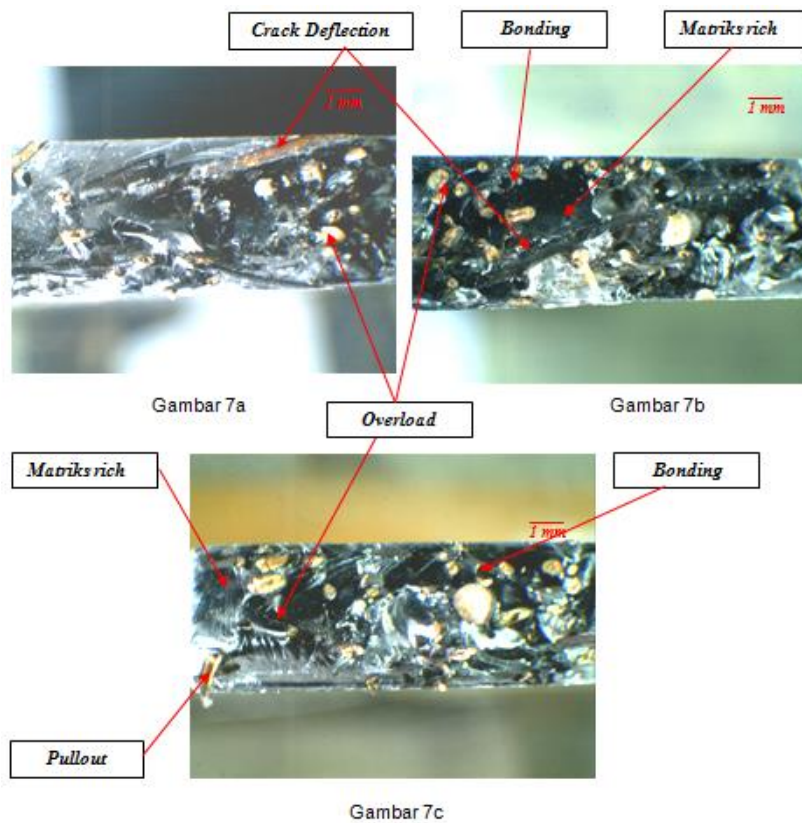


Gambar 5 Grafik hubungan modulus lentur, fraksi volume dan panjang serat

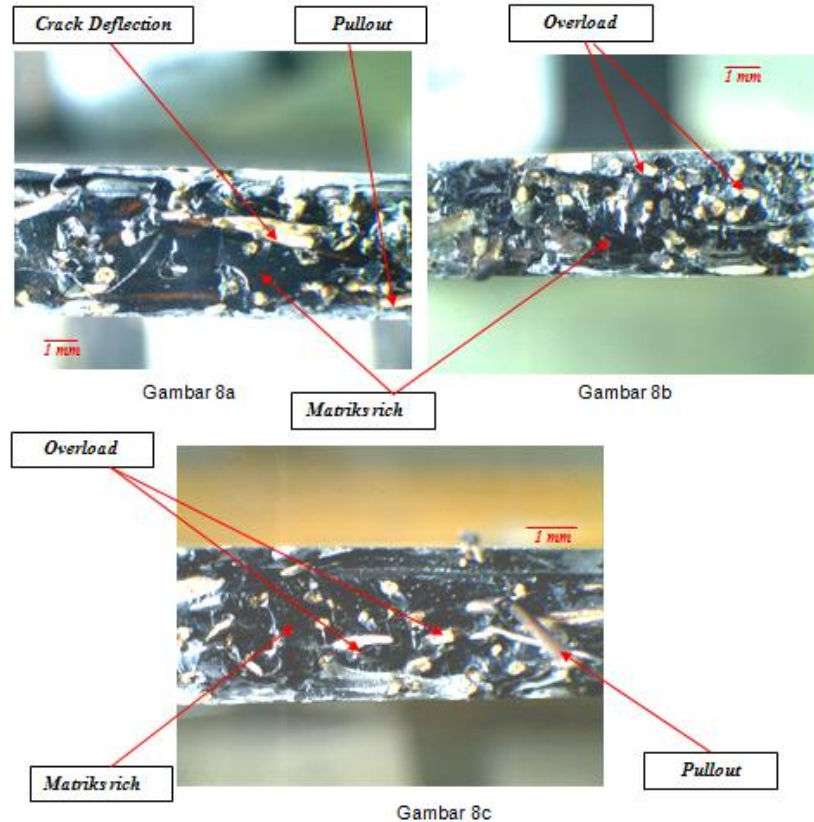
4.2. Hasil foto mikro



Gambar 6 Foto mkro komposit fraksi volume serat 20% (a) panjang serat 5 mm, (b) panjang serat 10 mm, (c) panjang serat 15 mm



Gambar 7 Foto mikro komposit fraksi volume serat 25% (a) panjang serat 5 mm, (b) panjang serat 10 mm, (c) panjang serat 15 mm



Gambar 8 Foto mikro komposit fraksi volume serat 30% (a) panjang serat 5 mm, (b) panjang serat 10 mm, (c) panjang serat 15 mm

Gambar 3 - 5 menunjukkan hubungan antara fraksi volume, panjang serat dan kekuatan lentur komposit polyester serat tapis kelapa. Dari grafik terlihat adanya peningkatan tegangan dan regangan lentur, dimana semakin tinggi fraksi volume dan panjang serat, semakin tinggi pula tegangan dan regangan lenturnya. Peningkatan ini disebabkan karena dengan bertambahnya fraksi volume dan panjang serat yang digunakan dalam komposit maka regangan serat dapat mengimbangi regangan matrik sehingga luas daerah elastis menjadi semakin besar yang pada akhirnya meningkatkan kekuatan bending bahan tersebut.

Menurut Indi Sulendra, kekuatan bending komposit polyester berpenguat serat tapis kelapa semakin meningkat seiring dengan meningkatnya panjang serat yang digunakan dalam komposit tersebut [8]. Sedangkan Juniarta menyatakan bahwa sifat mekanis terbaik komposit serat tapis kelapa/epoxy dihasilkan dengan perlakuan alkali serat dengan persentase KMnO_4 sebesar 0,5% [9]. Dari hasil penelitian tersebut di atas menunjukkan bahwa perlakuan permukaan pada serat memperbaiki ikatan serat dengan matriks sehingga menaikkan performa sifat mekanis dari komposit tersebut. Selanjutnya, variasi fraksi volume serat dapat mempengaruhi kekuatan komposit.

Hasil foto mikro menunjukkan bahwa spesimen dengan fraksi volume 20 dan 25% untuk semua variasi panjang serat, patahan yang terjadi lebih dikarenakan adanya *matrix rich* yaitu tidak adanya serat di daerah matrik sehingga menyebabkan komposit menjadi rapuh dan mudah patah pada saat menerima beban. *Matrix rich* tersebut disebabkan karena kurang banyaknya serat yang digunakan, sehingga pada saat pencetakan serat berkumpul secara terpisah, sehingga ruang kosong tanpa ikatan matrik dan serat masih banyak ditemui. Mode patahan yang teramati adalah *crack deflection*, disebabkan karena posisi serat pada permukaan patahan miring mengikuti daerah patahan yang mengakibatkan retakan akan mengikuti alur dari posisi serat yang miring, *pullout* yang diakibatkan karena ikatan antara serat dengan matriks tidak kuat sehingga serat terlepas/tercabut dari matrik, *debonding* terjadi karena terlepasnya ikatan serat dari matriks yang menyebabkan terbentuknya lubang/rongga antara matriks dan serat dan *overload* yaitu putusnya serat yang diakibatkan karena batas kekuatan serat dan ikatan yang kuat antara serat dan matrik. *Crack deflection*, *debonding*, *pullout* dan *overload* secara merata terlihat pada patahan komposit dengan fraksi volume 30%

5. SIMPULAN

- Semakin besar fraksi volume dan panjang serat dalam komposit maka tegangan dan regangan lentur semakin tinggi sedangkan modulus lentur semakin rendah
- Mode patahan yang teramati adalah patah getas (*overload*), *debonding*, *pullout* dan *crack deflection*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Udayana atas bantuan dana yang diberikan melalui hibah penelitian skim Penelitian Fundamental tahun 2014 dengan Surat Perjanjian Penugasan Penelitian No: 175A.10/UN14.2/PNL.01.03.00/2014, tanggal 5 Maret 2014

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gibson, R. F., *Principles Of Composite Material Mechanics*. Mc Graw Hill Book Co, 1994
- [2] Jacobs James A Thomas F, *Engineering Materials Technology (Structures, Processing, Properties and Selection 5th)* New Jersey Columbus, Ohio, 2005.
- [3] Suardana, N P G, Dwidiani Ni Made, *Analisa Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Polyester Serat Tapis Kelapa Orientasi Acak Dengan Variasi Waktu Perlakuan NaOH*, 2007.
- [4] Jamasri, Diharjo, K, Handiko, G. W., *Studi Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Tarik Komposit Limbah Serat Sawit – Polyester*, Prosiding SNTTM IV, Universitas Udayana, Bali, 2005
- [5] Oksman, K., Skrifvars, M., Selin, J-F., *Natural Fiber as Reinforcement in Polylactic Acid (PLA) Composites*, Composites Science and Technology 63, Sciencedirect.com, 1317-1324, 2003
- [6] Brahmakumar, M., Pavithran, C., and Pillai, R.M., *Coconut fiber reinforced polyethylene composites such as effect of natural waxy surface layer of the fiber on fiber or matrix interfacial bonding and strength of composites*, Elsevier, Composite Science and Technology, 65 pp. 563-569, 2005.
- [7] ASTM D 256, *Standard Test Method for Flexure Properties of Fibre Resin Composite*. ASTM Standard and Literature References for Composites Material, 2^{ed.}, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA., 1990

- [8] Indi Sulendra Kusuma, Gausis, *Pengaruh Variasi Panjang Serat dan Temperatur Udara Terhadap Kekuatan Bending Komposit Polyester Serat Tapis Kelapa*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali, 2010
- [9] Juniartha I Made, *Pengaruh Persentase $KMnO_4$ Sebagai Bahan Perlakuan Serat dan Komposit Epoxy-Hardener Terhadap Sifat Mekanis Komposit Serat Tapis Kelapa/Epoxy*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali, 2006.

Studi Kemampuan Tanaman Rumah dalam Penyerapan Panas Matahari untuk Mengatasi Panas Lokal

Ahmad Syuhada^{1)*} dan Dharma Dawood¹⁾

Departement of Mechanical Engineering, Syiah Kuala University
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh 23111, Indonesia
Syuhada_mech@yahoo.com

Abstrak

Energi matahari sangat dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup untuk berbagai macam keperluan kehidupan. Pemakaian dengan jumlah yang tepat untuk setiap makhluk hidup merupakan usaha untuk kelangsungan hidupnya. Tetapi apabila berlebihan akan sangat mengganggu kenyamanan thermal hidupnya. Banyaknya keluhan dari masyarakat yang mengatakan bahwa keadaan cuaca semakin panas khususnya di perkotaan, keadaan ini terjadi akibat tidak seimbangnya banyak bangunan dan jumlah tanaman yang ada sehingga penyerap panas radiasi yang dipancarkan matahari berkurang drastis. Untuk mengurangi ketidaknyamanan thermal lokal di Banda Aceh dan sekitarnya dilakukan dengan cara memperbanyak pepohonan, dimulai dari lingkungan pekarangan rumah masing-masing, taman kota maupun taman-taman pekarangan rumah, sehingga akan tercipta kenyamanan thermal di lingkungan sekitarnya, karena fungsi tanaman adalah menguraikan karbondioksida menjadi Oksigen serta menyerap panas matahari yang digunakan pada proses fotosintesis. Untuk memilih tanaman yang akan di tanam di pekarangan rumah supaya dapat mengurangi panas, diperlukan pengetahuan tentang kemampuannya tanaman dalam menyerap panas matahari. Karena itulah perlu kajian untuk mengetahui jenis tanaman yang paling banyak menyerap panas akibat radiasi matahari. Tanaman yang dikaji adalah tanaman yang biasa ditanam oleh masyarakat disekitar rumahnya seperti tanaman melinjo, jeruk nipis, mangga dan jambu. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi bagi masyarakat khususnya di Banda Aceh tentang kemampuan masing-masing tanaman dalam menyerap panas untuk kenyamanan thermal di lingkungan perumahan, dan tanaman mana yang layak dan bagus untuk menjadikan suasana rumah sejuk dan nyaman terhadap panas.

Kata kunci: panas, matahari, tanaman, kenyamanan termal

Abstract

Solar energy is needed by all living beings for various purposes of life. The use of the right amount for every living being is an attempt for survival. But it would be very disturbing if excessive thermal comfort of his life. The number of complaints from people who say that the weather is getting hot, especially in urban areas, this situation occurs due to an imbalance of many buildings and the number of existing plants so that the heat absorbing radiation emitted by the sun is reduced drastically. To reduce the local thermal discomfort in Banda Aceh and its surroundings is done by multiplying the trees, starting from the environment each home yard, city park and gardens, that will create thermal comfort in the surrounding environment, because the plant is to break the functions of carbon dioxide into oxygen and absorb solar heat used in the process of photosynthesis. To choose of the plants types that will be planted in the home yard in order to reduce the heat, the necessary knowledge of the plant's ability to absorb the sun's heat. It is needed the study of how to know the types of plants that absorb most of the heat due to solar radiation. Plants were assessed are plants that commonly grown by the people around her house like melinjo plants, lemon, mango and guava. The expected benefits of this research is to provide information for people, especially in Banda Aceh on the ability of each plant to absorb heat for thermal comfort in residential environments and plants which are worthy and good to make the house cool and comfortable atmosphere to heat

Keywords: heat, sun, plants, thermal comfort

* Penulis korespondensi, HP: 626517428420,
Email: Syuhada_mech@yahoo.com

1. PENDAHULUAN

Rumah merupakan salah satu dari beberapa kebutuhan pokok manusia, disamping kebutuhan sandang, pangan dan kesehatan. Oleh karena itu rumah harus direncanakan dengan memenuhi kriteria rumah sehat, aman dan nyaman agar penghuninya tidak mendapatkan masalah terutama masalah kesehatan, sehingga mereka lebih produktif dalam menjalani kehidupan sehari-harinya. Rumah pada dasarnya merupakan tempat hunian yang sangat penting bagi kehidupan setiap orang. Rumah tidak sekedar sebagai tempat untuk melepas lelah setelah bekerja seharian, namun didalamnya terkandung arti yang penting sebagai tempat untuk membangun kehidupan keluarga sehat, aman dan sejahtera. Untuk menciptakan rumah sehat maka diperlukan perhatian terhadap beberapa aspek yang sangat berpengaruh, antara lain: sirkulasi udara yang baik, penerangan yang cukup, air bersih terpenuhi, pembuangan air limbah diatur dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran dan bagian-bagian ruang seperti lantai dan dinding tidak lembab serta tidak terpengaruh pencemaran seperti bau, rembesan air kotor maupun udara kotor.

Segala sumber energi yang terdapat di bumi berasal dari matahari, ketika energi ini tiba ke permukaan bumi, ia berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Benda-benda (Lingkungan) dan permukaan Bumi termasuk rumah, akan menyerap sebagian panas radiasi matahari dan sebagian lagi memantulkan kembali sisanya ke alam jagat raya. Namun, sebagian panas yang dipantulkan ini terperangkap di atmosfer bumi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca antara lain uap air, karbon dioksida, dan metana. Energi matahari sangat dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup untuk berbagai macam keperluan kehidupan. Pemakaian dengan jumlah yang tepat untuk setiap makhluk hidup merupakan usaha untuk kelangsungan hidupnya. Tetapi apabila berlebihan akan sangat mengganggu kenyamanan thermal terhadap kehidupannya.

Perkembangan ekonomi suatu daerah juga biasanya tidak selalu diikuti perkembangan daerah tersebut secara ekologi yang menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem berupa penurunan jumlah tumbuhan dan peningkatan pencemaran udara seperti peningkatan jumlah CO₂ udara. Besarnya populasi manusia merupakan faktor penting dalam permasalahan lingkungan dimana tingginya laju pertumbuhan penduduk menyebabkan semakin terdesaknya alokasi ruang untuk tumbuhan yang mempunyai fungsi sangat penting di suatu daerah.

Banyaknya keluhan dari masyarakat yang mengatakan bahwa keadaan cuaca semakin panas khususnya di Banda Aceh, menyebabkan penurunan kualitas kehidupan masyarakat di kota ini. Hal ini perlu mendapat perhatian dari kita semua, keadaan ini terjadi akibat tidak seimbangnya bangunan dengan jumlah tanaman yang ada sehingga penyerap panas yang dipancarkan matahari berkurang drastis.

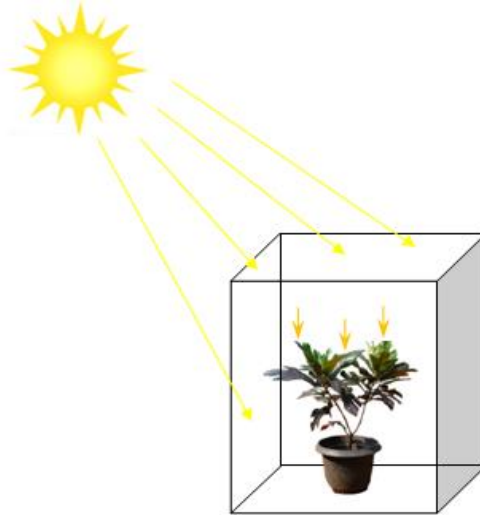
Untuk mengurangi ketidaknyamanan thermal lokal di Banda Aceh dan sekitarnya dapat dilakukan dengan cara memperbanyak pepohonan, dimulai dari lingkungan pekarangan rumah sehingga akan tercipta kenyamanan thermal di lingkungan sekitar karena fungsi tanaman adalah menguraikan Karbondioksida menjadi Oksigen serta menyerap panas matahari yang digunakan pada proses fotosintesis. Pohon adalah satu-satunya makhluk hidup yang mampu memberikan kita oksigen dari perubahan dari karbondioksida. Yang mana kebanyakan karbondioksida di muka bumi inilah penyebab pemanasan bumi. Untuk memilih tanaman yang akan di tanam di pekarangan rumah supaya dapat mengurangi panas, diperlukan pengetahuan mengenai jenis dan fungsi dari berbagai jenis tanaman tersebut. Tiap-tiap jenis tanaman memiliki kemampuannya yang berbeda-beda dalam menyerap panas matahari.

Akan tetapi masyarakat pada umumnya kurang mengetahui terhadap kemampuan penyerapan panas matahari oleh jenis tanaman. Untuk itu pada penelitian ini akan dikaji seberapa besar kemampuan beberapa jenis tanaman dalam menyerap panas yang dipancarkan oleh matahari. Tanaman yang dikaji adalah tanaman sering ditanam oleh masyarakat di sekeliling rumahnya. sehingga diketahui tanaman mana yang paling bagus menyerap panas dan paling layak untuk ditanam sehingga menjadikan suasana sejuk dan nyaman.

2. METODE

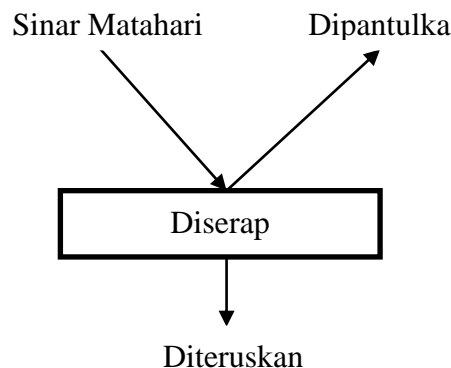
2.1 Perencanaan Sistem Pengujian

Untuk melakukan penelitian ini direncanakan sebuah sistem pengujian dengan ruang isolasi terbuat dari plastik yang dapat ditembus cahaya matahari. Sistem pengujian dan sketsa perpindahan panasnya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Sistem Pengujian dan Sketsa perpindahan panasnya

Dari gambar 2.1 dapat digambarkan mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada tanaman didalam ruangan pengujian yaitu sebagai berikut: Sinar matahari yang datang sebagian diserap, dan sebagian diteruskan dan sebagian lagi dipantulkan ke udara bebas. Dalam ruang tanpa tanaman, panas dari radiasi matahari diserap dan diteruskan sedikit sekali sedangkan yang dipantulkan lebih banyak. Efek dari pantulan yang berlebihan mengakibatkan temperatur dalam ruang tersebut meningkat. Untuk ruang dengan tanaman, panas dari radiasi diserap oleh tanaman, sehingga panas yang diteruskan dan yang dipantulkan sedikit sekali. Efek dari penyerapan panas oleh tanaman mempengaruhi penurunan temperatur ruang tersebut.



Gambar 2. Mekanisme perpindahan panas radiasi matahari

3.2 Perlengkapan dan Bahan

Selama penelitian berlangsung, ada beberapa macam perlengkapan yang sangat diperlukan supaya penelitian bisa berjalan dengan lancar. Perlengkapan tersebut diantaranya adalah ruang pengujian, bahan pengujian, dan perlengkapan tambahan. Perlengkapan tambahan yang dimaksud di antaranya: Alat ukur temperatur, digunakan untuk mengukur temperatur seng berwarna dan temperatur ruangan pengujian. Jam, digunakan sebagai pedoman pencatatan waktu yang dibutuhkan dalam penelitian. Alat tulis, Bahan yang digunakan yaitu tanaman jamaika, aglaonema, lidah buaya, kembang kertas, pot, air dan pupuk.

3.3 Ruang Pengujian.

Ruang pengujian berukuran 100 cm x 70 cm x 90 cm, seluruh bagian tertutup dengan plastik dengan ketebalan 0,25 mm dengan tujuan ruangan dikondisikan tidak ada pengaruh angin. Ruang pengujian ini berbentuk persegi. Terdapat sepuluh ruang pengujian. Ruang pengujian tersebut diletakkan pada lapangan yang terkena langsung sinar matahari, beserta dengan tanaman didalamnya. Ruang pengujian diletakkan berdampingan antara satu dengan yang lainnya, namun

pada jarak sedikit berjauhan agar sinar matahari dapat diterima dengan sempurna oleh masing-masing ruang uji dan tanaman.

2.4 Alat Ukur

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *Termometer Alkohol*, Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur dalam ruang isolasi sekitar tanaman. Sebelum digunakan, termometer ini harus dikalibrasi terlebih dahulu. *Termometer digital*, Termometer ini diletakkan dengan sensor diletakkan di luar ruangan untuk mengukur temperatur udara luar.

2.5 Prosedur Penelitian

Penyiapan Tanaman, tanaman yang digunakan adalah pohon Manggis (*Garcinia mangostana* L), Nangka (*Artocarpus heterophyllus*), Kelengkeng (*Euphoria longana*), Melinjo (*Gnetum gnemon* Linn.), Sirsak (*Annona muricata*), Sawo (*Manilkara kauki*), Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*), Kupula. Tanaman dimasukkan dalam pot plastic yang sama ukurannya.

Langkah-Langkah Penelitian, Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah meliputi: Persiapan penelitian dengan menempatkan ruang pengujian secara berdampingan pada tempat terbuka dan terkena langsung sinar matahari. Pemasangan termometer digital dan termometer alkohol pada titik-titik pengukuran. Memasukkan tanaman ke dalam ruangan pengujian. Pengukuran data temperatur. Mencatat data hasil pengukuran.

Analisa Data, Menurut Frank P. Incropera [6], energi panas dalam ruang uji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}Q_{\text{ruang}} &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\m &= V_{\text{ruang}} \cdot \rho_{\text{udara}} \\ \Delta T &= T_{\text{dalam ruang}} - T_{\text{luar ruang}}\end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}Q &= \text{Energi Panas (Joule)} \\m &= \text{Massa Udara Dalam Ruang (kg)} \\C_p &= \text{Panas Spesifik (J/kg. °C)} \\ \Delta T &= \text{Beda Temperatur dalam dan Luar (°C)} \\V &= \text{Volume Ruang Isolasi (m}^3\text{)} \\ \rho &= \text{Massa Jenis Udara (kg/m}^3\text{)}\end{aligned}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

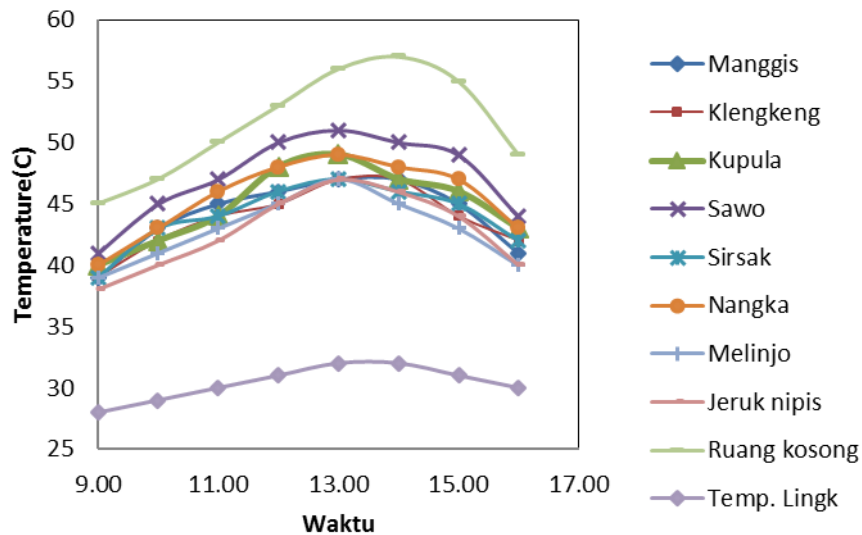
3.1 Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian diperoleh data-data dengan variasi temperatur yang berbeda-beda antara masing-masing tanaman. Telah diambil data tanggal 08 dan 09 April 2013 dengan kondisi matahari cerah. Pada pengujian ini datang yang diambil dari pukul 9 sampai pukul 16, hal ini dilakukan intensitas matahari yang bagus adalah mulai dari jam 09 sampai pukul 16. Walau sebelum pukul 9 dan setelah pukul 16 intensitas matahari sudah ada tetapi pengaruh terhadap batang kayu sangat sedikit. Parameter yang dianalisa dari penelitian ini adalah temperatur ruangan isolasi pengujian yang diisi dengan batang kayu yang diuji dan ruangan yang diisolasi dengan tanpa batang kayu. Juga diukur temperatur ambient di luar ruangan isolasi. Jarak waktu pengukuran adalah selang 1 jam.

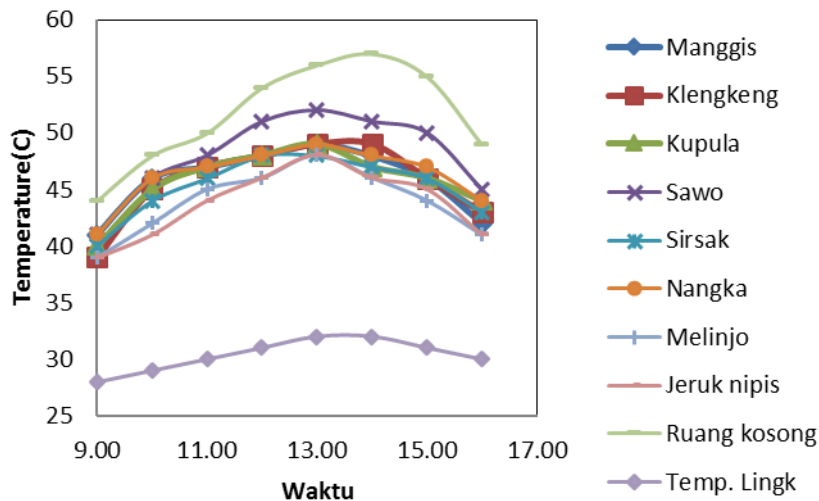
Dari hasil pengukuran data setelah diolah menjadi grafik distribusi temperatur pada pengukuran hari pertama diperoleh seperti pada Gambar 3.1. dari Gambar 3.1 terlihat bahwa jumlah energi yang terisolasi di dalam ruang adalah fungsi dari beda temperatur antara temperatur ruang kosong dengan temperatur ambient lingkungan. Sedangkan jumlah energi setiap ruangan yang ada batang kayu fungsi dari beda temperatur ruang isolasi yang ada batang kayu dan temperatur ambient lingkungan.

Dari pengukuran hari kedua distribusi temperatur setiap ruangan isolasi diperoleh seperti pada Gambar 3.2. Dari Gambar 3.2 terlihat bahwa jumlah energi setiap ruangan sama dengan pengujian pada hari kedua yaitu fungsi dari beda temperatur antara temperatur ruang kosong dengan temperatur ambient lingkungan. Sedangkan jumlah energi setiap ruangan yang ada batang kayu fungsi dari beda temperatur ruang isolasi yang ada batang kayu dan temperatur ambient lingkungan.

Perbedaannya hanya jumlahnya sedikit berbeda yaitu untuk ruangan kosong sama jumlahnya pada hari pertama dan hari kedua. Sedangkan untuk tiap ruang isolasi berbatang kayu jumlah energi yang tersimpan didalam ruangan isolasi di hari kedua lebih banyak jika dibandingkan dengan hari pertama. Hal ini terjadi karena distribusi temperatur pada hari kedua lebih tinggi dari distribusi temperatur pada hari pertama



Gambar 3.1 Distribusi Temperatur Hari Pertama



Gambar 3.2 Distribusi Temperatur Hari Kedua

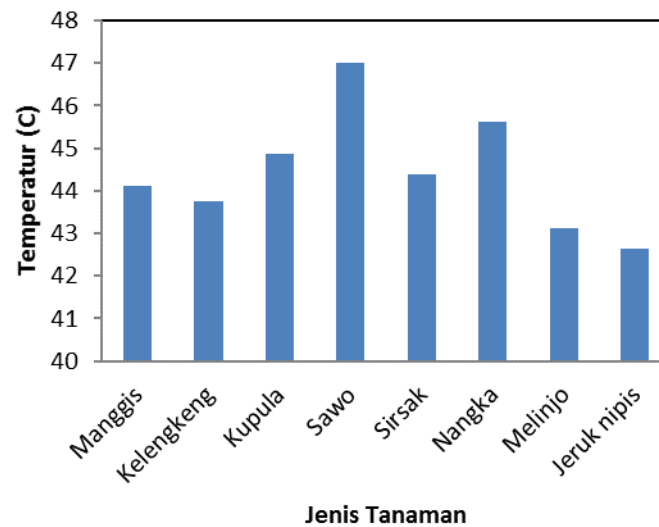
Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka kita dapat menghitung energi panas rata-rata yang diserap oleh masing-masing tanaman yang uji. Perhitungan dilakukan dengan mengambil rata-rata dari penyerapan panas hari pertama dan hari kedua pada masing-masing tanaman. Disini data kita ambil untuk perhitungan adalah panas rata-rata pada hari penelitian. Untuk panas setiap jam dapat kita lihat dalam tabel dan grafik.

3.2 PEMBAHASAN

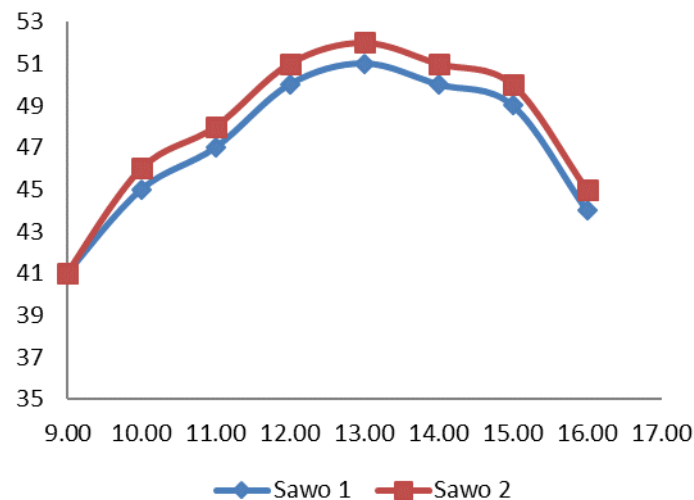
Dari penjelasan sebelumnya didapatkan gambaran jelas bagaimana terjadi proses penyerapan panas oleh batang kayu di ruangan isolasi antara hari pertama dan kedua selalu berbeda-beda antara tanaman yang satu dengan yang lain, hal ini tergantung dari distribusi temperatur setiap mampu diterima oleh setiap ruang isolasi bertanaman. Distribusi temperatur rata-rata temperatur selama pengujian di dalam masing-masing ruang isolasi bertanaman untuk tanggal 8 dan 9 April 2013 dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.3.c sedangkan secara diagram batang untuk hari 1 (tanggal 8 April 2013) dapat di lihat seperti pada Gambar 3.3 menunjukkan bahwa temperatur tertinggi terjadi di peroleh pada ruangan isolasi berbatang kayu jeruk nipis yaitu 48°C. Temperatur yang rata-rata terendah adalah ruangan isolasi berbatang kayu sirsak yaitu 45,25°C.

Untuk melihat perbedaan kemampuan batang kayu dalam penyerapan panar radiasi antara hari 1 dan hari ke 2 dapat dilihat dari ditribusi temperatur udara yang terjadi pada kedua hari tersebut

di setiap ruang isolasi seperti seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Gambar 3.4 menunjukkan temperatur udara di dalam ruangan berbatang sawo untuk hari 1 dan ke 2. Ruangan berbatang sawo diperlihatkan karena temperatur ruangan berbatang sawo yang mempunyai temperatur tertinggi.



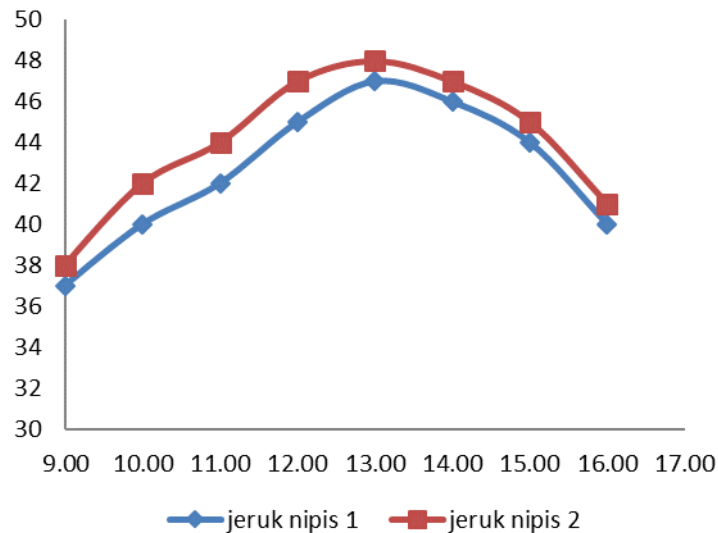
Gambar 3.3 Temperatur Rata-Rata di dalam Ruang Uji hari 1



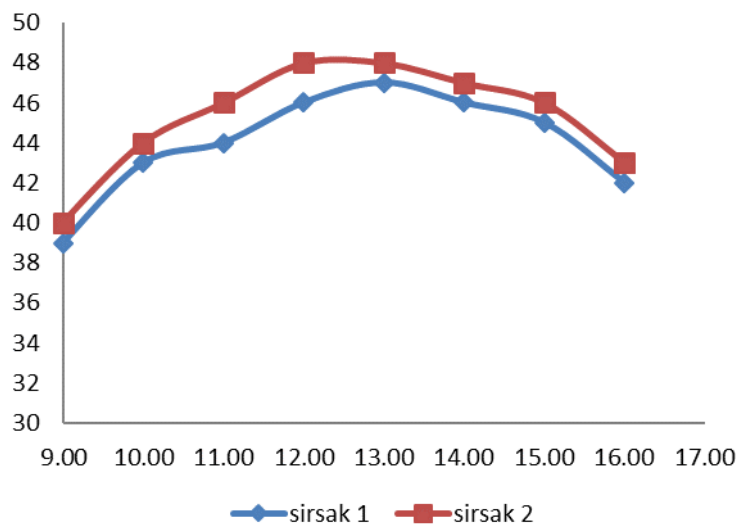
Gambar 3.4 Temperatur Udara Ruangan Berbatang Sawo Hari 1 dan Ke2

Gambar 3.5 Menunjukkan temperatur udara di dalam ruangan berbatang jeruk nipis untuk hari 1 dan ke 2. Ruangan berbatang jeruk nipis diperlihatkan karena temperatur ruangan berbatang jeruk nipis yang mempunyai temperatur terendah. Sedangkan pada Gambar 3.6 Menunjukkan temperatur udara di dalam ruangan berbatang sirsak untuk hari 1 dan ke 2. Ruangan berbatang sirsak diperlihatkan karena temperatur ruangan berbatang sirsak yang mempunyai temperatur sedang.

Dari gambar 3.4, 3.5 dan 3.6 di atas terlihat bahwa pada hari kedua temperatur ruang uji lebih tinggi dibandingkan temperatur ruang pada hari pertama pengukuran, hal tersebut disebabkan karena kadar air tanaman yang sudah semakin berkurang pada hari kedua penelitian dan sebagian daun-daun tanaman tersebut sudah ada rusak akibat pemanasan pada hari pertama sehingga kemampuan daun kaya menyerap panas berkurang. Beda temperatur rata-rata untuk ruangan berbatang sawo adalah 0.87°C , dan untuk beda temperatur rata-rata untuk ruangan berbatang sirsak adalah 1°C dan beda temperatur rata-rata untuk ruangan berbatang jeruk nipis adalah $1,25^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3.5 Temperatur Udara Ruangan Berbatang Jeruk Nipis Hari 1 dan Ke 2



Gambar 3.6 Temperatur Udara Ruangan Berbatang Sirsak Hari 1 dan Ke 2

3.3 Perhitungan Energi Radiasi Matahari Oleh Batang Kayu

Perhitungan jumlah energi panas radiasi intensitas matahari rata-rata yang mampu diserap oleh batang kayu dalam ruang uji berdasarkan persamaan berikut :

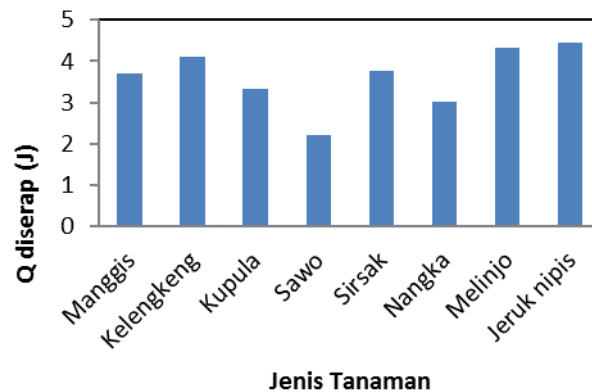
$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$m = V_{\text{ruang}} \cdot \rho \text{ massa jenis udara dalam ruangan}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

$$V_{\text{ruang}} = 0.7 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0.49 \text{ m}^3$$

Jadi panas yang diserap oleh tanaman adalah sebagai berikut: Panas yang di serap tanaman = panas ruang kosong-panas ruang bertanaman Q di serap tanaman = Q ruang kosong - Q ruang bertanaman. Hasil perhitungan untuk pengukuran hari pertama, energi panas yang diserap masing-masing tanaman dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Energi Panas yang diserap Tiap Tanaman

4. SIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut: Dari 8 (delapan) jenis tanaman yang di uji terhadap kemampuan penyerapan panas radiasi matahari, terjadi 3 tingkatan temperatur udara di dalam ruang isolasi yaitu temperatur tinggi adalah batang sawo, yang rendah jeruk nipis dan temperatur sedang adalah datang sirsak. Temperatur uadara tertinggi di dalam ruangan isolasi terjadi pada pukul 13.00 yaitu untuk batang sawo adalah 51°C hari 1 dan 52°C pada hari 2. Untuk jeruk nipis 47°C dan 47°C. Sedangkan temperatur ruang kosong 56°C dan temperatur ambient adalah 32°C. Temperatur rendah di ruang bertanaman karena sebagian panas radiasi yang masuk keruangan di ambil oleh tanaman untuk proses fotosintesis. Dalam hal ini yang paling besar kemampuan penyerapan panasnya adalah batang jeruk nipi, dan yang kecil kemampuan penyerapannya adalah batang sawo. Pengukuran temperatur hari ke 2 lebih tinggi dari hari ke1 karena sebagian daun tanaman sedikit rusak sehingga kemampuan panyerapan panas radiasi berkurang. Kadar air yang dimiliki oleh daun tanaman kurang berpengaruh terhadap kemampuan tanaman dalam menyerap panas radiasi di dalam ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akmal, Imelda, *Small Garden*.Seri Rumah Ide, Edisi 4/III, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2007.
- [2] ASHRAE, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy Standard*, ASHRAE Standard 55 – 2004, American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers, Atlanta, 2004.
- [3] A. Syuhada, *Global Warming Dan Produktivitas Manusia: Suatu Kajian Dari Sudut Kenyamanan Thermal*, Orasi Ilmiah Pengukuhan Guru Besar, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2008.
- [4] A. Syuhada dan Suhaeri, *Kajian Tingkat Kemampuan Penyerapan Panas Matahari pada Atap Bangunan Seng Berwarna*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, Palembang, 2010.
- [5] Bejan A., *Heat Transfer*, John Wiley & Sons, Ins.
- [6] Benyamin, L., *Dasar-dasar Klimatologi*, Cetakan kedua. Raja Grafindo Persada, Jakarta, 1997.
- [7] Cengel, A.Y & Boles, A.M, *Thermodynamics an Engineering Approach*, McGraw-Hill.
- [8] Fachrizal Z, *Kajian Tingkat Kemampuan Penyerapan Panas Matahari oleh Material Pekarangan Rumah*, Tugas Akhir Teknik Mesin Unsyiah, Banda Aceh, 2010.
- [9] Frank Kreith, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta, 1986.
- [10] Howard V.W, *Energy Conservation*, The Royal Institute, Canada, 1990.
- [11] Incropera, F. P. dan Dewitt, D.P., *Fundamentals Of Heat and Mass Transfer*, United States of America, 2002.
- [12] Kreith, F., *Principles of Heat Transfer*, Intex Ed. Pub.
- [13] Kreith, F. & Black, W. Z., *Basic Heat Transfer*, Harper&Row Pub.
- [14] Murray Thompson, *Guidelines For the Management of Work in Extremes of Temperature*, Department of Labour, 1997.
- [15] Threlkeld, *Thermal Environmental Engineering*. 2nd edition Prentice-Hall International, 1970.
- [16] Tjasjono,B., *Klimatologi Umum*, Institut Teknologi Bandung, 1999.

Kaji Eksperimental Penurunan Tekanan Air dalam Filter Pasir Aktif

Toto Supriyono ¹⁾, Herry Sonawan¹⁾, Rizal A. P¹⁾.

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, FT UNPAS, Bandung
Jalan Dr. Setiabudi No. 193 Bandung 40153
toto_supriyono@yahoo.com

Abstrak

Filter air menyaring kotoran yang dikandung dalam air dengan cara melewatkannya melalui berbagai rintangan fisik yang halus, melalui proses kimia atau proses biologi. Metoda filtrasi dapat dilakukan dengan menggunakan saringan, absorpsi atau pertukaran ion. Filter dapat menyaring partikel yang dikandung dalam air hingga ukuran lubang saringan yang dapat dilalui oleh air tersebut. Jenis media filter air hingga yang kini masih banyak digunakan di berbagai industri dan rumah tangga adalah dengan media filter pasir, zeolit, dan karbon aktif karena konstruksinya sangat sederhana sehingga pembuatannya relatif mudah dan murah serta dapat menghasilkan kualitas air yang memadai untuk keperluan industri dan rumah tangga. Pasir aktif merupakan salah satu media yang digunakan Untuk memenuhi kebutuhan media filter. Fungsi Pasir aktif adalah untuk menyaring partikel besar/kecil dalam air sekaligus menjernihkan air. Pasir aktif ini berwarna hitam dan banyak dipergunakan sebagai pengganti pasir silika untuk penyaringan tahap awal. Pengamatan besar penurunan tekanan air dalam filter dengan media pasir aktif telah dilakukan secara eksperimen. Dengan diketahuinya informasi mengenai besar penurunan tekanan air ini, maka besar penurunan tekanan dalam sistem pipa bisa diperoleh lebih teliti sehingga pemilihan spesifikasi pompa yang diperlukan menjadi lebih akurat. Sebelum dilakukan eksperimen, karakteristik penurunan tekanan air dalam filter pasir, dipelajari terdahulu menggunakan metode analisis dimensional dengan Teorema PI Buckingham. Penurunan tekanan (ΔP), diameter tabung filter (D), tinggi pasir dalam filter (H), debit aliran air (Q), kerapatan air (ρ_w) dan kerapatan pasir (ρ_p) merupakan variabel – variabel yang dimasukkan dalam analisis dimensional. Dari analisis dimensional diperoleh bahwa tekanan air dalam filter bergantung pada beberapa variabel seperti debit air, rasio diameter tabung dan tinggi pasir filter (D/H). Eksperimen di laboratorium telah dilakukan untuk mengetahui hubungan antara variabel-variabel tersebut secara teliti serta mengetahui formulasi penurunan tekanan air dalam filter pasir aktif. Pengamatan telah dilakukan dengan memvariasikan laju aliran air pada beberapa rasio diameter dan tinggi tabung. Kemudian hasilnya juga dibandingkan dengan *catridge filter* dengan media pasir aktif yang dijual dipasar. Akhirnya, formulasi penurunan tekanan air (ΔP) diperoleh sebagai berikut:

$$\Delta P = K \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_w} \right) \cdot \left(\frac{D}{H} \right)^n Q^2$$

Kata kunci: Filter air, pasir aktif, penurunan tekanan

Abstract

The water filter is used to filter out impurities contained by passing it through a variety of subtle physical obstacles, through chemical processes or biological processes. Filtration method can be done by using a sieve, absorption or ion exchange. The filter can filter particles contained in the water according to the size of the strainer holes that can be passed by the water. Type of water filter media which is still widely used in various industries and households is the sand filter media, zeolites, and activated carbon because its construction is very simple so it is relatively easy and inexpensive manufacturing, can produce sufficient water quality for industrial and household purposes. Active sand is one of the media used to meet the needs of the filter media. The function of active sand is to filter out large/small particles in the water of water purification. Active sand is black and commonly used as a replacement for silica sand for the initial screening stage. Observations of water pressure drop in the filter with active sand media has done experimentally. By knowing the information about the water pressure drop value, then the value of the pressure drop in the pipe system can be obtained more accurately so that the selection of pumps required specifications become more accurate. Before the experiment, the characteristics of the water pressure drop in the filter sand, earlier studied using dimensional analysis with Buckingham PI theorem. Pressure drop (ΔP), the diameter of the tube filter (D), tall sand in the filter (H), the water flow rate (Q), the density of water (ρ_w) and density of sand (ρ_p) are the variables included in the dimensional analysis. From dimensional analysis shows that the water pressure in the filter depends on

* Penulis korespondensi, HP: 0222019433
Email: toto_supriyono@yahoo.com

several variables such as the flow of water, the ratio of the tube diameter and high sand filter (D / H). Experiments in the laboratory have been conducted to determine the relationship between these variables carefully and know the water pressure drop in the formulation of active sand filters. Observations have been made by varying the flow rate of water on some high ratio of diameter and tube. Then the results are also compared with cartridge filter with active sand media sold in the market. Finally, formulations of water pressure drop (ΔP) is obtained as follows

$$\Delta P = K \cdot \left(\frac{P_c}{H^*} \right) \cdot \left(\frac{D}{H} \right)^n Q^2$$

Keywords: Filter the water, the sand is active, the pressure drop

1. Pendahuluan

Air merupakan sumber bagi kehidupan dan merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Oleh karena itu apabila kebutuhan akan air bersih ini belum tercapai maka akan memberikan dampak yang besar terhadap kerawanan kesehatan. Pengadaan air bersih dalam skala besar umumnya masih terpusat di daerah perkotaan, dan dikelola oleh Perusahaan Air Minum (PAM) kota yang bersangkutan. Untuk daerah yang belum mendapatkan pelayanan air bersih dari PAM umumnya mereka menggunakan air tanah (sumur), air sungai, air hujan, dan sumber mata air lainnya. Permasalahan muncul kemudian adalah kualitas air tanah atau sungai yang digunakan masyarakat kurang memenuhi syarat air minum yang sehat sehingga mendorong masyarakat untuk membuat alat penjernih air (Filter Air).

Filter air menyaring kotoran yang dikandung dalam air dengan cara melewatkannya melalui berbagai rintangan fisik yang halus, melalui proses kimia atau proses biologi. Metoda filtrasi dapat dilakukan dengan menggunakan saringan, absorpsi atau pertukaran ion. Filter dapat menyaring partikel yang dikandung dalam air hingga ukuran lubang saringan yang dapat dilalui oleh air tersebut. Jenis filter air hingga kini masih banyak digunakan di berbagai industri dan rumah tangga adalah dengan filter pasir karena kontruksinya sangat sederhana sehingga pembuatannya sangat relatif mudah dan murah serta dapat menghasilkan kualitas air yang memadai untuk keperluan industri dan rumah tangga.

Penelitian ini mempelajari karakteristik penurunan tekanan air dalam filter air dengan menggunakan media pasir aktif secara eksperimen. Sebelum dilakukan eksperimen karakteristik penurunan tekanan air dalam filter dipelajari menggunakan metode analisis dimensional dengan Teorema Π Buckingham. Pengamatan telah dilakukan dengan memvariasikan laju aliran air pada beberapa rasio diameter dan tinggi pasir aktif dalam tabung tertentu. Diameter tabung filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah DN150, DN200 dan DN250 dengan bahan PVC yang mudah diperoleh di berbagai toko bahan bangunan, sedangkan tinggi pasir aktif dalam tabung divariasikan mulai dari 300, 450, 600, 750 hingga 900mm.

2. Metodologi

Penelitian ini telah dilakukan menurut langkah-langkah sebagai berikut: Mempelajari berbagai literatur yang berkaitan dengan filter air untuk konsumsi rumah tangga dan industri yang menggunakan media pasir aktif. Melakukan analisis dimensional untuk mengetahui berbagai variabel yang mempengaruhi besar penurunan tekanan dalam filter. Menentukan variabel yang mempengaruhi besar penurunan tekanan dalam filter. Variabel-variabel ini mewakili sifat fluida, sifat media filter, dimensi filter dan aspek eksternal seperti tekanan. Perancangan dan pembuatan instalasi pengamatan penurunan tekanan dalam tabung filter. Melakukan pengamatan. Pengamatan penurunan tekanan air dilakukan dengan memvariasikan laju aliran dalam 3 macam tabung filter (150, 200 dan 250 mm) dan tinggi pasir aktif dalam tabung sebesar 300, 450, 600, 750 dan 900 mm. Pengolahan data yang diperoleh dari pengamatan dan analisa, menyusun kesimpulan dan saran. Menyusun laporan.

3. Filter pasir

Filtrasi adalah proses pemisahan partikel dalam fluida (cair maupun gas) yang membawanya melewati bahan berpori untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus (partikel) yang tersuspensi dan koloid. Di samping mereduksi kandungan zat padat, filtrasi dapat pula mereduksi kandungan bakteri, menghilangkan warna, rasa, bau, besi, dan mangan. Media filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir aktif sebagai media penyaringnya.

Tipe Filter

Berdasarkan pada kapasitas produksi air yang terolah, saringan pasir dapat dibedakan menjadi dua yaitu saringan pasir cepat dan saringan pasir lambat. Saringan pasir cepat dapat dibedakan ke dalam beberapa kategori. Menurut jenis media yang dipakai Menurut arah aliran. Menurut kaidah gravitasi / dengan arah tekanan. Menurut *pretreatment* yang diperlukan

Jenis – Jenis Filter Berdasarkan Sistem Operasi Dan Media

- 1) Jenis Media Filter
 - a. *Single Media* : Satu jenis media seperti pasir silika atau pasir aktif.
 - b. *Dual Media* : Misalnya digunakan pasir silika dan zeolit.
 - c. *Multimedia* : Misalnya digunakan pasir silika, zeolit, dan karbon aktif.
- 2) Sistem Kontrol Kecepatan
 - a. *Constant Rate* : Debit hasil proses filtrasi konstan sampai pada level tertentu.
 - b. *Declining Rate* : Debit hasil proses filtrasi menurun seiring dengan waktu filtrasi, atau level muka air di atas media filter dirancang pada nilai yang tetap.
- 3) Sistem Aliran
 - a. Aliran *Down Flow* (ke bawah)
 - b. Aliran *Up Flow* (ke atas)
 - c. Aliran Horizontal
- 4) Kaidah Pengaliran
 - a. Aliran Secara Gravitasi
 - b. Aliran Dibawah Tekanan (*Pressure Filter*)
- 5) *Pretreatment*
 - a. Kogulasi – Flokulasi – Sedimentasi
 - b. *Direct Filtration*

Pasir Aktif

Pasir aktif merupakan salah satu media yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan media filter. Fungsi pasir aktif adalah untuk menyaring partikel besar/kecil dalam air sekaligus menjernihkan air. Pasir aktif ini dapat dipergunakan sebagai pengganti pasir silika untuk penyaringan tahap awal.

Pasir aktif ini berwarna hitam dan direkomendasikan untuk menyaring air sumur bor dan sejenisnya. Masa pemakaian sangat tergantung dari kondisi air, semakin rendah kualitas air baku maka semakin cepat masa pengantiannya.



Gambar 1. Pasir Aktif

Analisis dimensional

Teorema PI Buckingham, Untuk menentukan kelompok tak berdimensi, Buckingham mengusulkan suatu teorema yang dikenal sebagai teorema pi, yang secara formil dinyatakan sebagai berikut: Bila ada n besaran fisik yang penting dan m dimensi dasar, maka terdapat suatu bilangan n maksimum (r) yang menyatakan jumlah besaran ini yang diantara mereka sendiri tidak dapat membentuk kelompok tak berdimensi, dimana $r \leq n$. Maka dengan menggabungkan secara berturut-turut satu dari besaran yang selebihnya dengan r besaran tadi, dapat dibentuk i kelompok tak

berdimensi, dimana $i = n - r$. Kelompok tak berdimensi yang dibentuk ini disebut suku-suku π dan dikenali dengan simbol $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$.

Sejumlah k variabel suatu persamaan yang homogeny secara dimensional dapat direduksi menjadi hubungan antara perkalian $k - r$ variable independen, dimana r adalah jumlah minimum dimensi dasar variabel. Perkalian tak berdimensi disebut PI. Dan teoremanya disebut Teorema PI Buckingham. Untuk menyatakan perkalian tak berdimensi digunakan symbol Π .

Misalkan sembarang persamaan fisik melibatkan k variabel seperti berikut:

$$u_1 = f(u_2, u_3, \dots, u_k)$$

Dimensi variabel ruas kiri harus sama dengan dimensi variabel ruas kanan. Kemudian persamaan tersebut dapat disusun ke dalam perkalian tak berdimensi sebagai berikut :

$$\Pi_1 = \phi(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \dots, \Pi_{k-r})$$

Menentukan PI, Langkah – langkah yang dilakukan dalam analisis dimensional menurut teorema PI Buckingham adalah sebagai berikut : Tuliskan semua variabel yang terlibat dengan masalah. Nyatakan variabel tersebut dalam dimensi dasar. Tentukan jumlah PI yang diperlukan. Jumlah PI adalah $k - r$, dimana k adalah jumlah variabel dalam masalah, dan r adalah jumlah dimensi dasar variabel. Pilih jumlah variabel yang berulang. Jumlah variabel berulang sama dengan jumlah dimensi dasar variabel. Tentukan PI dengan cara mengalikan satu variabel tak berulang dengan variabel berulang. Setiap eksponen variabel harus menghasilkan kombinasi tak berdimensi. Periksa semua PI apakah PI tak berdimensi. Nyatakan bentuk akhir sebagai hubungan antara PI diambil kesimpulan.

Pemilihan Variabel, Dalam analisis dimensional pemilihan variabel merupakan langkah penting dan cukup sulit. Variabel dapat diklasifikasikan dalam kelompok geometri, sifat material, dan efek eksternal. Karakteristik geometri digambarkan oleh panjang dan sudut. Respon dari suatu sistem yang dikenai pengaruh dari luar seperti gaya, tekanan, dan perubahan temperatur tergantung pada sifat material seperti viskositas dan kerapatan. Pengaruh eksternal merupakan variabel yang dapat mengubah keadaan sistem sebagai contoh gaya, tekanan, kecepatan, dan gravitasi. Jumlah variabel sebaiknya sesedikit mungkin dan variabel tersebut independen. Jika dalam suatu masalah diketahui bahwa momen inersia penampang dari plat lingkaran adalah variabel penting maka dapat dipilih salah satu momen inersia atau diameter plat sebagai variabel yang berhubungan. Berikut ini adalah langkah – langkah yang perlu dipertimbangkan dalam memilih variabel : Definisikan masalah secara jelas. Variabel apa yang menjadi perhatian (Variabel dependen)?. Ingat rumus/hukum dasar yang memenuhi fenomena. Mulai memilih variabel dengan pengelompokan variabel ke dalam tiga kategori, yaitu geometri, sifat material dan pengaruh eksternal. Ingat variabel yang belum termasuk ke dalam katagori di atas. Misalkan waktu, apakah variabel waktu sangat penting dalam masalah. Masukkan berbagai besaran dalam masalah walaupun besaran tersebut adalah konstan (gravitasi). Yakinkan bahwa semua variabel adalah independen.

Analisis Dimensional Penurunan Tekanan (ΔP)

- a. Penurunan tekanan pada filter tergantung pada variabel berikut :

$$\Delta P = f(D, H, Q, \rho_w, \rho_s)$$

- b. Jumlah variabel yang terlibat adalah enam variabel. Masing – masing variabel dinyatakan dalam dimensi dasar sebagai berikut :

$$\Delta P = ML^{-1}T^{-2}$$

$$D = L$$

$$H = L$$

$$Q = L^3T^{-1}$$

$$\rho_w = ML^{-3}$$

$$\rho_s = ML^{-3}$$

- c. Jumlah $\pi = k - r$, dimana $k = 6$ dan $r = 3$, maka jumlah π ada 3
d. Jumlah variabel berulang ada tiga variabel. Variabel berulang yang dipilih : H, ρ_s dan Q .
e. Menentukan π_1, π_2 dan π_3

$$\pi_1 = \Delta P H^a \rho_s^b Q^c$$

$$\pi_2 = DH^a \rho_s^b Q^c$$

$$\pi_3 = \rho_w H^a \rho_s^b Q^c$$

Bentuk π_1 menjadi

$$\pi_1 = \frac{\Delta P H^4}{\rho_s Q^2} \quad (1)$$

Bentuk π_2 menjadi

$$\pi_2 = \frac{D}{H} \quad (2)$$

Bentuk π_3 menjadi

$$\pi_3 = \frac{\rho_w}{\rho_s} \quad (3)$$

Menyatakan hasil analisis dimensi seperti berikut :

$$\frac{\Delta P H^4}{\rho_s Q^2} = f\left(\frac{D}{H}, \frac{\rho_w}{\rho_s}\right) \quad (4)$$

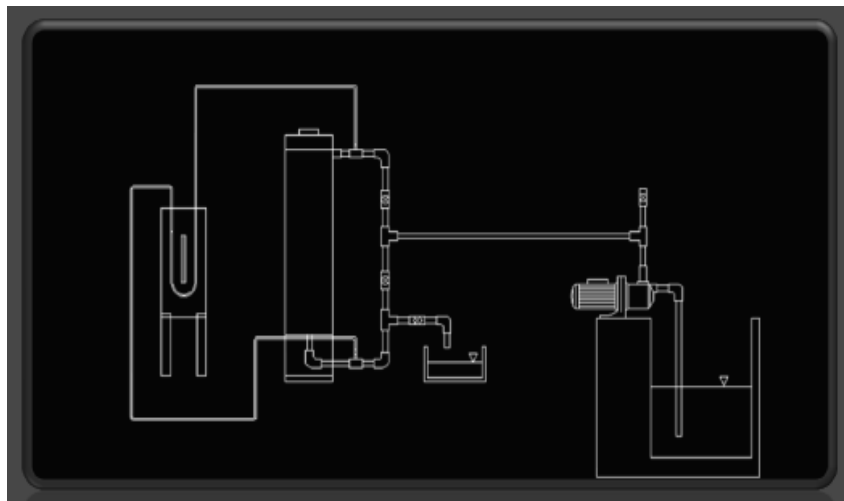
$$\frac{D}{H} = f\left(\frac{\Delta P H^4}{\rho_s Q^2}, \frac{\rho_w}{\rho_s}\right) \quad (5)$$

$$\frac{\rho_w}{\rho_s} = f\left(\frac{\Delta P H^4}{\rho_s Q^2}, \frac{D}{H}\right) \quad (6)$$

Persamaan (4) di atas menunjukkan bahwa besar penurunan tekanan air dalam filter tergantung pada rasio diameter tabung dan tinggi pasir aktif dalam tabung, kerapatan pasir, dan kerapatan air, besar diameter tabung dan besarnya laju aliran air dalam filter. Untuk fluida (air) tertentu dan pasir aktif yang telah ditentukan, maka besar penurunan tekanan yang terjadi adalah :

$$\frac{\Delta P H^4}{\rho_s Q^2} = \Phi\left(\frac{D}{H}\right) \quad (7)$$

Set-up pengamatan, Gambar 2 di bawah ini menunjukkan set-up instalasi pengamatan penurunan tekanan air dalam filter secara skematik. Instalasi pengamatan terdiri atas peralatan sebagai berikut: Bak penampungan air (reservoir). Pompa sentrifugal. Tabung berdiameter 150, 200 dan 250 mm, tinggi media filter dalam tabung: 300, 450, 600, 750 dan 900mm. Manometer U dengan media manometer air raksa. Weirmeter, tangki ukur dan stopwatch. Sistem pipa.



Gambar 2. Set-up instalasi pengamatan

Langkah –langkah pengamatan

Persiapan pengamatan, Periksa seluruh alat ukur untuk memastikan tidak ada yang menyimpang dari keadaan yang seharusnya. Isi bak penampung air dengan air secukupnya. Pompa dioperasikan jika sudah terisi air (priming). Periksa selang – selang pada manometer untuk memastikan tidak ada udara yang terjebak dalam selang manometer.

Prosedur pengamatan. Masukkan pasir aktif ke dalam filter (diameter tabung filter 150, 200 dan 250mm). Ukur ketinggian pasir aktif dalam filter dengan melihat meteran yang telah dipasang di dalam tabung. Tinggi pasir aktif dalam tabung: 300, 450, 600, 750 dan 900mm. Operasikan pompa. Setelah air memenuhi filter, kemudian tutup filter. Pasang selang manometer ke lubang yang sudah dibuat untuk memasukkan selang manometer. Catat penurunan tekanan yang terbaca pada manometer, serta catat waktu yang dibutuhkan air untuk memenuhi tangki ukur dengan volume tertentu dan bukakan katup tertentu. Ulangi langkah 1 s/d 6 untuk tiap tinggi pasir aktif dalam tabung filter, dan ukuran diameter tabung filter yang berbeda. Jika pengujian selesai, buka katup pengatur debit aliran dan matikan pompa.

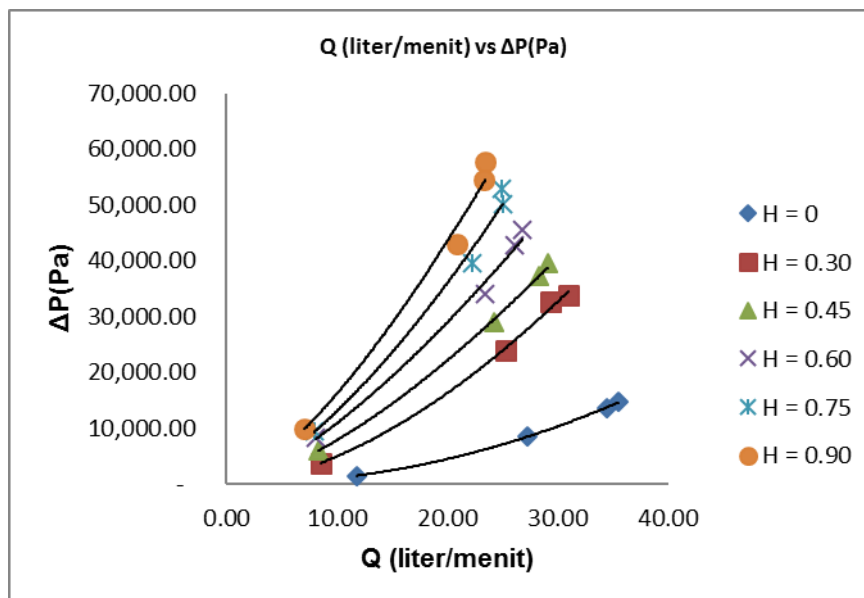
4.

asil dan Pembahasan

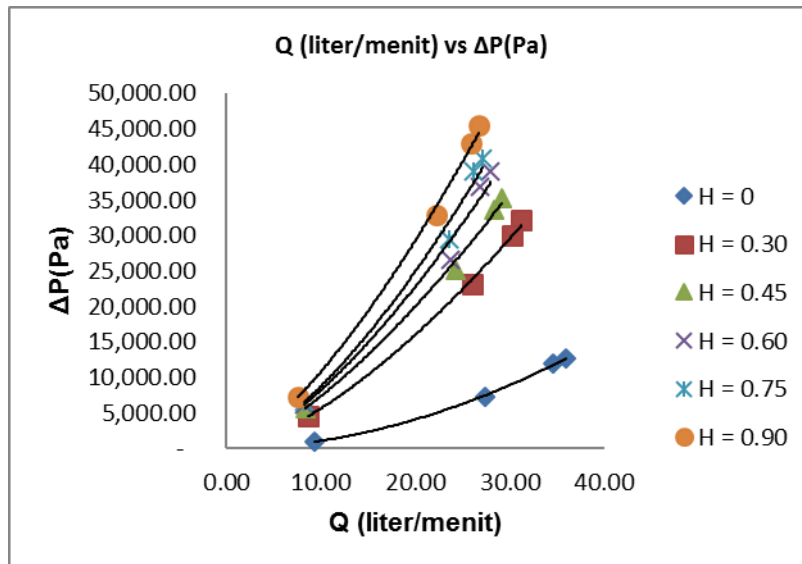
H

4.1. Hubungan Penurunan Tekanan (ΔP) Dengan Laju Aliran (Q)

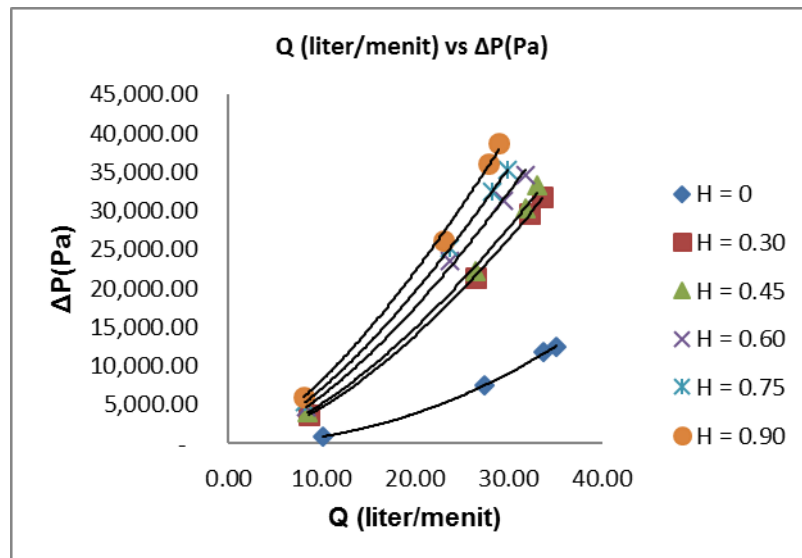
Gambar 3, 4 dan 5 memperlihatkan kurva hubungan penurunan tekanan (ΔP) dan laju aliran (Q) dengan diameter tabung filter (D) dan tinggi pasir aktif dalam tabung (H). Pengamatan dilakukan dengan memvariasikan laju aliran air yang mengalir masuk-keluar tabung filter. Dari gambar-gambar tersebut, terlihat hubungan antara penurunan tekanan dengan laju aliran untuk tiap tabung dan ketinggian pasir dalam tabung tertentu yaitu: Laju aliran (Q) semakin besar memberikan harga penurunan tekanan (ΔP) semakin besar pula. Semakin besar ketinggian pasir aktif dalam filter (H), maka harga penurunan tekanan juga bertambah besar. Harga penurunan tekanan (ΔP) paling besar terjadi pada tabung paling kecil (150 mm) dengan ketinggian pasir aktif dalam tabung tertinggi (900 mm). Harga laju aliran (Q) paling besar terjadi pada tabung paling besar (250 mm) dengan ketinggian pasir aktif paling rendah (300 mm).



Gambar 3. Hubungan ΔP - Q ($D = 150\text{mm}$)



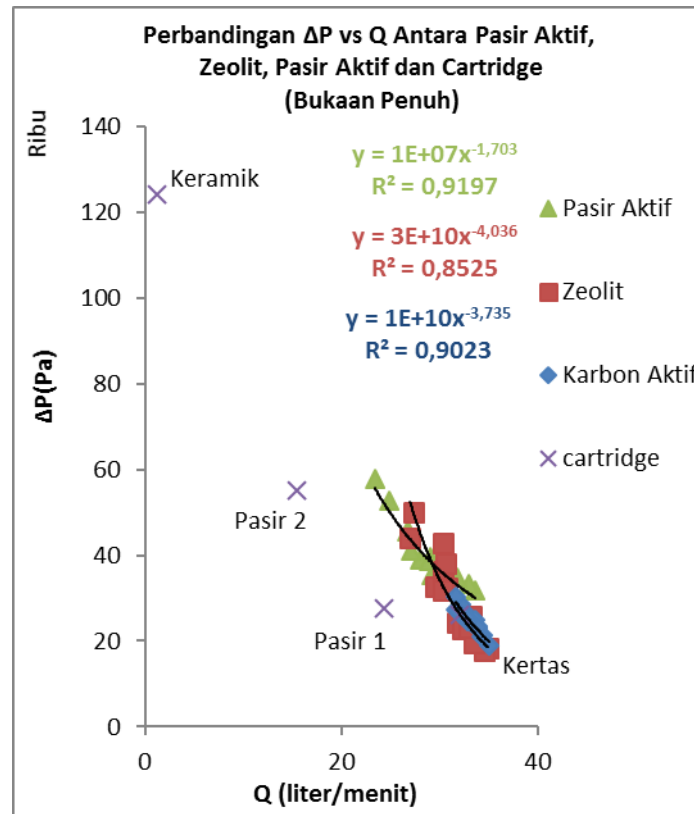
Gambar 4. Hubungan ΔP -Q (D = 200mm)



Gambar 5. Hubungan ΔP -Q (D = 250mm)

4.2. Perbandingan karakteristik filter

Gambar 6 di bawah ini memperlihatkan perbandingan kurva antara berbagai media filter seperti catridge keramik, karbon aktif baru, karbon aktif lama, kertas, pasir aktif, zeolit dan karbon aktif. Catridge keramik memberikan harga penurunan tekanan yang sangat besar hingga diatas 120 kPa. Media filter catridge karbon, catridge kertas, pasir aktif, zeolit dan karbon aktif memberikan harga penurunan tekanan mulai dari 20 kPa hingga 60 kPa.



Gambar 6. Perbandingan ΔP -(Q) berbagai media filter

5. SIMPULAN

Dari hasil analisa data pengujian dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variabel sebagai berikut: Laju aliran (Q) semakin besar maka penurunan tekanan (ΔP) semakin besar. Semakin besar ketinggian pasir aktif dalam tabung (H) maka penurunan tekanan (ΔP) semakin besar. Semakin besar diameter tabung (D) berbanding terbalik dengan penurunan tekanan (ΔP) yang semakin kecil. Distribusi data penurunan tekanan dapat diwakili oleh formulasi penurunan tekanan berikut:

$$\Delta P = \Delta P = K \cdot \left(\frac{p_c}{H^4}\right) \cdot \left(\frac{D}{H}\right)^n Q^2$$

Saran: Penelitian selanjutnya menggunakan variasi dimensi tabung yang lebih banyak. Pengaruh kualitas hasil filterisasi juga diamati. Pengujian dilakukan dalam rentang waktu yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supriyono, Toto, Studi *Penurunan Tekanan Air Pada Filter Pasir*, Seminar Nasional Teknik Mesin 4, Surabaya, 2009.
- [2] Supriyono, Toto, *Mekanika Fluida II*, Universits Pasundan, Bandung, 2009.
- [3] Suhana, Ana, *Membuat Perangkat Air Siap Minum*, Puspa Swara, Jakarta, 2011.
- [4] www.wikipedia.org/wiki/waterfilter, accessed:20/11/2011.18:30.
- [5] www.Google.com/Gambar/PasirAktif, accessed: 20/11/2011.19:00.
- [6] Anonim(2010).bhupalaka.files.wordpress.com//filtercepat, accessed: 15/12/2011. 08:00.

Analisis Performa Refrigeran R 290 Pada Sistem AC Yang Menggunakan *Accumulator Heat Exchanger*

Ega Taqwali Berman^{1)*} dan Syamsuri Hasan¹⁾

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FPTK Universitas Pendidikan Indonesia,
Jl. Dr. Setiabudi No. 207 Bandung 40154 Tel dan Fax (022) 2011576, HP: 081321866024
E-mail: egatb@upi.edu

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa penggunaan refrigeran R 290 pada sistem AC yang menggunakan *accumulator heat exchanger*. Penelitian dilakukan pada sebuah alat uji yang terdiri dari satu unit sistem *split air conditioning* kapasitas 9000 Btu yang dimodifikasi menjadi sistem *air cooled water chiller system* dan debit aliran air yang mengalir ke coil pendingin divariasikan mulai dari 0,5 gpm, 0,75 gpm dan 1 gpm dengan cara mengatur bukaan katup dan diukur melalui flow meter. Pengambilan data dilakukan pada saat kondisi steady yaitu ketika temperatur air $T = 14^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $T = 10^{\circ}\text{C}$ dan fluida kerja yang digunakan sebagai refrigeran primer adalah R 290. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh performa terbaik ketika debit aliran air diatur pada 0,75 gpm. Pada kondisi tersebut pencapaian nilai efek refrigerasi, daya kompresor, dan koefisien performa mesin berkisar 2% sampai dengan 5% lebih baik daripada dua kondisi lainnya.

Kata kunci: *air conditioning, heat exchanger, performa, refrigeran.*

Abstract

This study aims to determine the performance of the use of refrigerant R290 on the AC system with an accumulator heat exchanger. The study was conducted on a test apparatus consisting of a split air conditioning system with capacity of 9000 Btu and modified into an air cooled water chiller system and flow rate of water flowing into the cooling coil varied from 0.5 gpm, 0.75 gpm and 1 gpm by regulating the valve opening and is measured by a flowmeter. Data were collected during the steady state when the water temperature $T = 14^{\circ}\text{C}$ up to $T = 10^{\circ}\text{C}$ and the working fluid used as the primary refrigerant is R290. The result showed the best performance when the water flow rate is set at 0.75 gpm. In these conditions the achievement of value refrigeration effect, compressor power, and coefficients of performance systems ranged from 2% to 5% better than the other two conditions.

Keywords: *air conditioning, heat exchanger, performance, refrigerant.*

1. PENDAHULUAN

Refrigeran R-22 telah lama digunakan sebagai fluida kerja pada sistem air conditioning (AC). Namun diketahui bahwa R-22 termasuk kedalam kelompok HCFC (hidroklorofluorokarbon) yaitu senyawa kimia yang tidak hanya berkontribusi merusak lapisan ozon (ODP – *Ozon Depletion Potential*), tetapi juga berkontribusi terhadap perubahan iklim global karena bahan-bahan tersebut memiliki potensi pemanasan global (GWP – *Global Warming Potential*) yang tinggi (Firdaus, 2010). Berdasarkan hasil pengumpulan dan analisa data dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) telah teridentifikasi tingkat konsumsi HCFC di Indonesia pada tahun 2009 mencapai 5714,25 Metrik Ton atau setara dengan 364,05 ODP Ton. Penggunaan HCFC terbesar adalah pada sektor AC yaitu 54,5%, yang diikuti dengan sektor Refrigerasi, Foam dan Pemadam Kebakaran dengan tingkat konsumsi masing-masing sebesar 29,52%, 11,78%, dan 4,19% (Mukti, 2011). Upaya penghapusan konsumsi HCFC ini, Pemerintah Indonesia telah menyusun strategi nasional yang dikenal dengan HCFC Phase-out Management Plan (HPMP) untuk mencapai target freeze pada tahun 2013 dan 10% reduksi HCFC pada tahun 2015, pengurangan konsumsi sebesar 35% pada tahun 2020, pengurangan sebesar 67,5% pada tahun 2025 dan pengurangan sebesar 97,5% pada tahun 2030 (KLH, 2011). Lebih lanjut, Kementerian Perdagangan Indonesia sudah melakukan pembatasan impor BPO (bahan perusak ozon) dan sudah melarang penggunaan HCFC untuk perusahaan manufaktur alat-alat pendingin dan foam per tanggal 1 Januari 2015. Pembatasan itu diatur melalui Peraturan Menteri Perindustrian No. 41/M-IND/PER/5/2014 tentang larangan penggunaan HCFC yang diundangkan pada 4 juni 2014 lalu (Hakam, 2014).

Alternatif yang dapat digunakan untuk menggantikan refrigeran R-22 sebagai fluida kerja pada

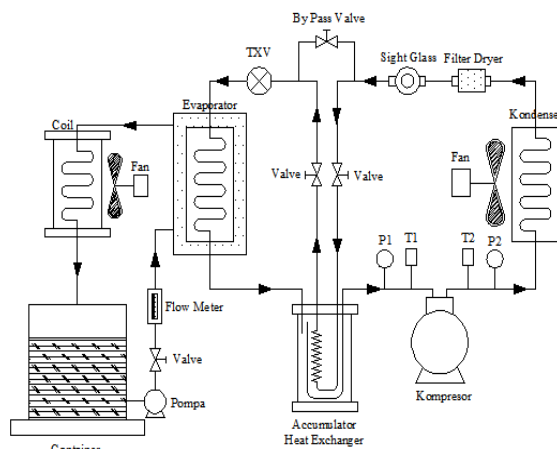
* Penulis korespondensi, Hp: +62222013161
Email: egatb@upi.edu

sistem AC adalah refrigeran R-290. Refrigeran ini termasuk kedalam kelompok hidrokarbon dengan komposisi 99,5 % propana. Hidrokarbon sebagai salah satu refrigeran alternatif memiliki banyak keuntungan antara lain tidak diperlukan perubahan peralatan utama yang sudah ada, memiliki kestabilan kimia, kesesuaian sifat fisika dan kimia secara termodinamika dengan refrigeran sintetis, hidrokarbon bisa dipakai dengan pelumas mineral maupun sintetis serta tidak menyebabkan kerusakan ozon dan pemanasan global karena ODP yang dimiliki nol dan GWP-nya kecil (Richardson & Butterworth, 1995; Hammad & Alsaad, 1999). Selanjutnya Suwono (2008) menyatakan Hidrokarbon sebagai refrigeran bekerja pada tekanan rendah sehingga energi yang diperlukan dalam sistem refrigerasi lebih rendah sampai 25%.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan hidrokarbon sebagai refrigeran menunjukkan bahwa penggunaan refrigeran hidrokarbon dapat menghemat energi bila dibandingkan dengan refrigeran sintetis, karena tekanan kondensasi menurun sehingga rasio kompresi berkurang dan kerja kompresor lebih ringan serta cepat mencapai suhu yang diinginkan (Nasrudin et al., 2006). Hasil penelitian lainnya menyatakan bahwa campuran hidrokarbon ketika digunakan sebagai fluida kerja pada mesin pendingin memberikan parameter kinerja yang sangat baik (Alsaad & Hammad, 1998; Lee & Su, 2002; Tashtoush et al., 2002; Wongwises & Chimres, 2005; Sattar et al., 2007).

2. METODE

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah eksperimen. Gambar 1 menunjukkan skema instalasi alat eksperimen yang digunakan untuk menguji performa sistem AC yang menggunakan *accumulator heat exchanger*. Pengujian dilakukan pada satu unit *air conditioner wall mounted split* kapasitas 1 PK yang dimodifikasi menjadi *air cooled water chiller* dan debit aliran air yang mengalir ke coil pendingin divariasikan mulai 0,5 gpm, 0,75 gpm dan 1 gpm dengan cara mengatur bukaan katup dan diukur melalui flowmeter. Parameter data yang diamati meliputi: temperatur air dingin (refrigeran sekunder), tekanan suction dan discharge dari refrigeran (refrigeran primer). Pengambilan data dilakukan saat sistem dalam kondisi steady yaitu ketika temperatur air $T = 14^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $T = 10^{\circ}\text{C}$ dan fluida kerja yang digunakan sebagai refrigeran primer adalah R-290.



Gambar 1. Instalasi alat eksperimen

Tahapan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pertama melakukan kalibrasi semua alat ukur yaitu thermometer, pressure gauge, flowmeter, dan thermocouple. Selanjutnya, proses vakum dan cek kebocoran sistem ac dan dilanjutkan dengan pengisian refrigeran ke dalam sistem ac. Setelah itu, mencatat temperatur lingkungan saat pengujian dilakukan. Berikutnya, mengoperasikan pompa dan mengatur debit aliran air dingin yang akan dialirkan ke evaporator pada variasi debit aliran air mulai 0,5 gpm, 0,75 gpm dan 1 gpm. Sesudah itu, menghidupkan sistem AC untuk mulai proses pengujian yang dilakukan pada saat temperatur air mencapai 14°C hingga 10°C di mana pengamatan dilakukan tiap penurunan 1°C . Pada akhirnya, mengulangi tahapan pengujian sebanyak empat kali pada empat hari yang berbeda.

Data hasil pengamatan selanjutnya dianalisa guna mendapatkan variabel performa sistem AC yang meliputi: efek refrigerasi, daya teoritis kompresor dan koefisien performa sistem (COP). Besaran nilai dari efek refrigerasi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_e = h_2 - h_1 \quad (\text{Btu/lb}) \quad (1)$$

dimana: R_e = efek refrigerasi (Btu/lb)

h_2 = entalpi setelah evaporator (Btu/lb)

h_1 = entalpi setelah evaporator (Btu/lb)

Kemudian nilai daya teoritis kompresor dapat dicari menggunakan persamaan:

$$H_p = \frac{((200 \times TR) / (h_2 - h_1)) \times (h_3 - h_2)}{42,42} \quad (2)$$

dimana: H_p = daya teoritis kompresor

TR = Kapasitas pendinginan sistem (ton refrigerasi)

h_3 = entalpi setelah kompresor (Btu/lb)

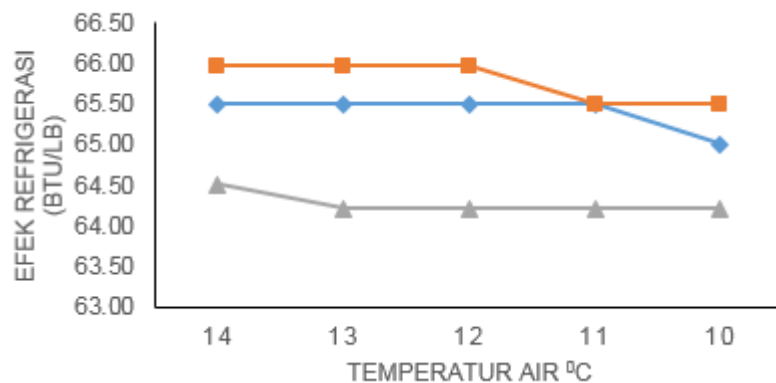
Selanjutnya nilai koefisien performa sistem (COP) dicari dengan menggunakan persamaan:

$$COP = (h_2 - h_1) / (h_3 - h_2) \quad (3)$$

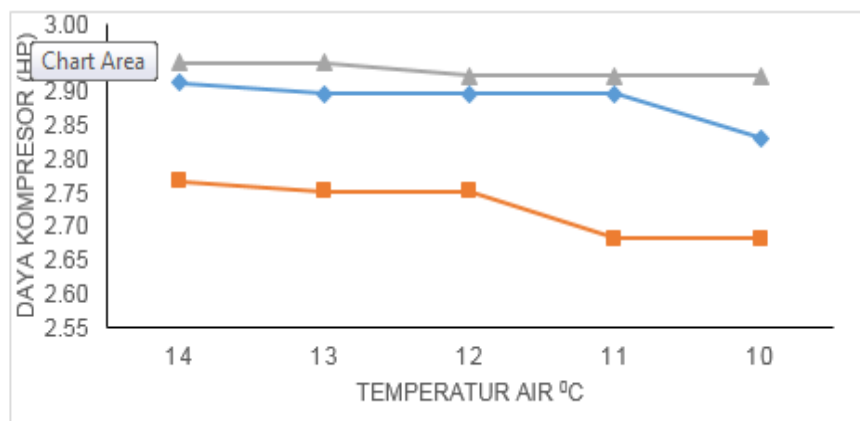
Nilai COP selalu lebih besar dari satu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan perbandingan nilai efek refrigerasi pada variasi debit aliran air ke coil pendingin mulai dari 0,5 gpm, 0,75 gpm dan 1 gpm. Secara keseluruhan nampak nilai efek refrigerasi dari pengaturan ketiga debit aliran air ke coil pendingin mengalami penurunan dari temperatur 14 °C sampai 10 °C. Pada temperatur air 14 °C perolehan nilai efek refrigerasi pada debit aliran air 0,75 gpm sebesar 65,97 Btu/lb dan pada debit aliran 1 gpm adalah 64,50 Btu/lb.

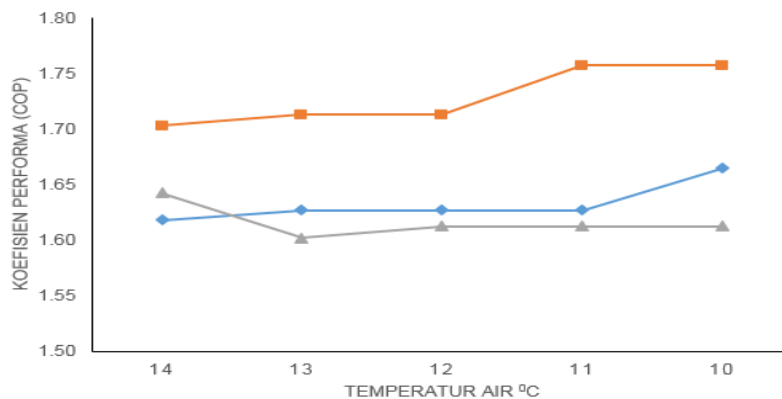


Gambar 2 Nilai efek refrigerasi pada debit aliran air 0,5 gpm (—◆— 0,75 gpm (—■— 1 gpm (—▲—)



Gambar 3. Nilai daya kompresor pada debit aliran air 0,5 gpm (—◆— 0,75 gpm (—■— 1 gpm (—▲—)

Sementara itu nilai efek refrigerasi pada debit aliran air 0,5 gpm berada diantara keduanya. Pada temperatur air selanjutnya, nilai efek refrigerasi pada debit aliran air 0,5 gpm dan 0,75 gpm cenderung konstan sampai temperatur air 12 °C dan 11 °C dan setelah itu nilai turunnya secara drastis. Tetapi pada debit aliran air 1 gpm terjadi penurunan nilai efek refrigerasi sampai temperatur air 13 °C dan selanjutnya stabil sampai temperatur 10 °C. Hal tersebut disebabkan oleh penurunan tekanan discharge sebesar 1% pada kondisi debit air 1 gpm sedangkan pada dua kondisi lainnya tetap stabil. Selain itu debit air yang terlalu besar membuat proses perpindahan kalor menjadi lebih singkat.



Gambar 4. Nilai koefisien performa sistem pada debit aliran air 0,5 gpm (\triangle), 0,75 gpm (\diamond), dan 1 gpm (\square)

Perolehan nilai koefisien performa sistem pada variasi debit aliran air 0,5 gpm, 0,75 gpm dan 1 gpm ditunjukkan pada Gambar 4. Pada temperatur awal 14 °C nilai koefisien performa sistem pada debit aliran air 0,5 gpm dan 1 gpm berada pada kisaran nilai yang hampir sama yaitu diantara 1,60 dan 1,65. Kemudian terjadi penurunan nilai koefisien performa saat temperatur air 13 °C pada debit aliran air 1 gpm, sementara itu nilai yang dicapai pada debit aliran air 0,5 gpm relatif konstan sampai temperatur air 11 °C lalu sedikit naik pada temperatur 10 °C. Kejadian sebaliknya terjadi pada debit aliran air 0,75 gpm, nilai koefisien performa sistem yang dicapai sebesar 1,70 pada saat temperatur air 14 °C. Selanjutnya seiring dengan turunnya temperatur air, nilai koefisien performa sistem naik secara bertahap hingga pada puncaknya dicapai sebesar 1,76. Besarnya nilai koefisien performa sistem pada debit aliran air 0,75 gpm berkaitan erat dengan perolehan nilai efek refrigerasi dan kerja kompresi yang dilakukan kompresor. Semakin banyak kalor yang mampu diserap oleh evaporator dan semakin kecil kerja kompresi yang dilakukan oleh kompresor maka nilai koefisien performa yang dicapai semakin besar.

4. SIMPULAN

Penelitian tentang analisa performa refrigeran R 290 pada sistem AC yang menggunakan accumulator heat exchanger telah membuktikan bahwa pengaturan debit aliran air 0,75 gpm menghasilkan nilai efek refrigerasi, daya kompresor dan koefisien performa sistem berkisar 2% sampai 5% lebih baik dari dua kondisi lainnya. Temuan dari penelitian ini mengindikasikan bahwa pengaturan debit aliran air pada tempo sedang akan menghasilkan parameter performa mesin yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firdaus A., *Analisa pengaruh penggunaan refrigerant hidrokarbon MC 22 pengganti R 22 terhadap kinerja alat air conditioning*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin ke-9, Universitas Sriwijaya, 2010.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), *Pengertian lapisan ozon/bahan perusak ozon dan dampaknya bagi kesehatan*, 2011. [<http://www.ozon-indonesia.org>] (diakses tanggal: 16 Januari 2012).
- [3] Hakam Y., *Indonesia komitmen hentikan konsumsi bahan perusak ozon*, 2014. [<http://ekuatorial.com/pollution/indonesia-to-abandon-ozone-depleting-chemicals-by-2015-ministry-of-environment>] (diakses tanggal: 01 Oktober 2014).
- [4] Richardson R.N., Butterworth J.S., *The performance of propane/isobutane mixtures in a vapour-compression refrigeration system*, Int. J. Refrig. 18 (1):58–62, 1995.
- [5] Hammad M.A., Alsaad M.A., *The use of hydrocarbon mixtures as refrigerants in domestic refrigerator*, Appl. Thermal Eng. 19: 1181–1189, 1999.
- [6] Suwono Aryadi, *Experience in Conversion of Various HCFC 22 System to Hydrocarbon*, International Conference, Bangkok, Thailand, 2008.
- [7] Nasrudin, I. Syafi'i, D. Arsanto, Sarwono, Y. Turyana, *Perbandingan unjuk kerja tiga refrigerant hidrokarbon Indonesia terhadap refrigerant 12*, J. Teknologi, edisi 4 Tahun XX: 241, 2006.
- [8] Alsaad M.A., Hammad M.A., *The application of propane/butane mixture for domestic refrigerators*, Appl Thermal Eng 18: 911–918, 1998.
- [9] Lee Y.S., Su C.C., *Experimental studies of isobutane (R600a) as the refrigerant in domestic refrigeration system*, Appl Thermal Eng 22: 507–519, 2002.

Optimasi Derajat Kebebasan *Redundant* Mekanisme Paralel *Spherical* 3-URU untuk Optimalisasi Kekakuan Kinematik

Sepriyanto^{1,2)*}, Syamsul Huda³⁾, Lovely Son³⁾, Mulyadi Bur³⁾

¹⁾ Prodi Teknik Mesin, Politeknik Jambi, Jl. Lingkar Barat 2, Kel. Bagan Pete, Kec. Kota Baru, Jambi-36129

²⁾ Mahasiswa Program magister Teknik Mesin, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang-25163

Email : sepriyanto@gmail.com

³⁾ Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang-25163

Email : syamsulhuda@ft.unand.ac.id; lovelyson@ft.unand.ac.id; mulyadibur@ft.unand.ac.id

Abstrak

Pada *paper* ini dikaji optimasi postur mekanisme paralel 3-URU rotasi murni. Optimasi ini digunakan untuk memperoleh kekakuan kinematik yang optimal berupa kemampuan mekanisme meneruskan torsi input dan kemampuan mekanisme menahan gaya luar yang dinyatakan dengan indeks evaluasi (EI). Optimasi meliputi pemilihan parameter kinematik yang menggambarkan gerak *platform* yang dinyatakan dengan rotasi berurut berdasarkan *Euler Angle* dengan sistem rotasi Z-X-Z. *Euler Angle* tersebut dinyatakan dengan ξ_z, ξ_x, ϕ . Pada penelitian ini mekanisme paralel rotasi murni 3-URU diaplikasikan sebagai pengontrolan orientasi pahat pada mesin perkakas. Pada aplikasi ini sudut ϕ merupakan sudut *redundant* yang menyatakan putaran pada sumbu yang tegak lurus terhadap bidang *platform*. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa ϕ optimal merupakan fungsi sudut inklinasi $platform(\xi_x)$ yang dapat diformulasikan dengan $\phi_{optimal} = -1E - 08(\xi_x)^6 + 4E - 06(\xi_x)^5 - 0.0008(\xi_x)^4 + 0.0151(\xi_x)^3 - 0.3143(\xi_x)^2 + 3.9654(\xi_x) + 79.977$. Dengan menggunakan formulasi sudut *redundant* ini telah didapatkan kekakuan yang optimal yang dinyatakan dengan indeks evaluasi EI.

Kata kunci: kinematik, mekanisme paralel, *constraint singularity*, *actuation singularity*

Abstract

In this paper was studied the optimization of posture of a 3-URU spherical parallel mechanism. The mechanism was applied to control the orientation of *platform* represented by three successive Euler Rotation Angles. The rotation angle was denoted as ξ_z, ξ_x, ϕ that indicates the rotation about Z, X and Z axis respectively. Based on the desired application, the third rotation angle, ϕ was recognized as redundant degree dof because such rotation is not required as orienting tool. The optimization was carried out to realize optimal kinematic stiffness of the mechanism to transmit the torques and to restrict the external forces acting on the center of *platform* motion indicated by evaluation index, EI. Based on this works, it was obtained that the optimal ϕ is a function of the angle of inclination *platform*, ξ_x formulated as $\phi_{optimal} = -1E - 08(\xi_x)^6 + 4E - 06(\xi_x)^5 - 0.0008(\xi_x)^4 + 0.0151(\xi_x)^3 - 0.3143(\xi_x)^2 + 3.9654(\xi_x) + 79.977$. The optimize gave the highest of EI.

Keywords: kinematic, parallel mechanism, *constraint singularity*, *actuation singularity*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mekanisme paralel *spherical* merupakan mekanisme paralel yang mempunyai batang output (*platform*) yang dapat bergerak rotasi murni (*spherical*). Gerak *platform* yang *spherical* ini mempunyai potensi untuk diaplikasikan pada berbagai bidang, diantaranya adalah mesin perkakas. Dalam konstruksinya, mesin perkakas ini harus mempunyai kekakuan yang cukup dengan inersia komponen bergerak yang relatif kecil. Dengan menerapkan mekanisme paralel *spherical* untuk aplikasi mesin perkakas, dapat memberikan alternatif terhadap pilihan konfigurasi struktur mesin perkakas.

Peneliti terdahulu, Gregorio [1] mengusulkan mekanisme paralel rotasi murni 3-URC (universal, *revolute*, *cylindrical*). Pada penelitian ini menggunakan sambungan *cylindrical* sebagai join pasif.

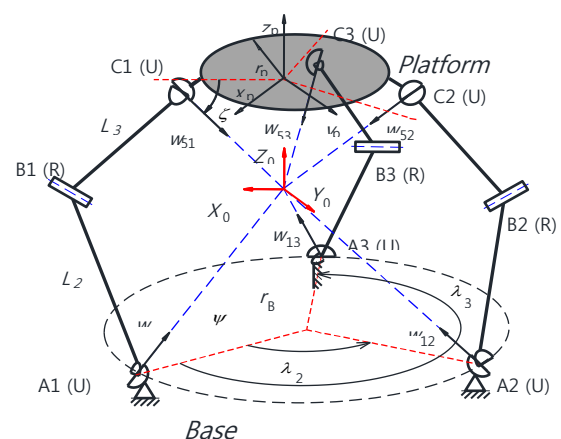
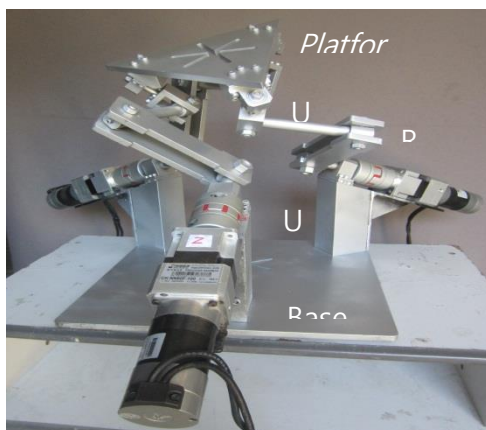
* Penulis korespondensi, Hp: 0741591477,
Email: sepriyanto@gmail.com

Dalam aplikasinya sambungan *cylindrical* sebaiknya sebagai joint aktif terkait dengan transmisibilitasnya. Zlatanov [2] mengusulkan mekanisme paralel 3-URU yang menghasilkan gerakan *platform* berbeda, yaitu gerakan translasi murni, gerakan rotasi murni dan gerakan planar 3-dof. Huda [3] menurunkan persamaan kinematik invers dan *singularity* untuk meneliti hubungan konstanta kinematik sebagai solusi untuk kinematik invers dan *singularity*. Selain itu juga diusulkan prosedur sintesis dimensi untuk mekanisme paralel 3-URU dengan mempertimbangkan *singularity* dan *workspace*. Jufrizal [4] telah merancang mekanisme paralel rotasi murni menggunakan joint *revolute* dan *universal*. Pada penelitian ini telah diperoleh konstanta kinematik dan prototipe robot paralel 3-URU. Selanjutnya Syafri [5] mengembangkan mekanisme paralel tersebut menjadi lebih kaku dan lebih presisi. Penelitian tersebut mengevaluasi kesalahan dimensi dan geometri robot paralel terhadap kepresisian gerak output. Pada mekanisme paralel 3-URU ini kesalahan dimensi dan geometri menyebabkan terjadinya kesalahan orientasi (*compensable error*) dan pergeseran titik pusat *platform* (*uncompensable error*).

Pada mekanisme paralel rotasi murni terdapat derajat kebebasan berlebih (*redundant*) jika diaplikasikan sebagai pengontrol orientasi. Derajat kebebasan *redundant* ini dapat dioptimasi untuk meningkatkan kekakuan kinematik mekanisme paralel. Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi terhadap parameter gerak berupa rotasi terhadap sumbu yang sejajar dengan sumbu pahat. Secara umum parameter gerak mekanisme dinyatakan dengan *Euler angle*, ξ_z, ξ_y, ϕ , sebagai representasi sistem rotasi berurut, Z – X – Z. Sudut ϕ sebagai sudut *redundant* akan dioptimasi sebagai fungsi dari ξ_x . Dasar optimasi adalah transmisibilitas torsi dan gaya pada rantai kinematik.

1.2 KONFIGURASIRANTAI KINEMATIK 3-URU ROTASI MURNI

Mekanisme paralel disusun oleh batang output (*platform*), beberapa rantai kinematik dan sebuah batang diam (*base*). Secara umum mekanisme paralel ini mempunyai enam derajat kebebasan. Untuk mekanisme dengan derajat kebebasan dua sampai lima disebut *lower dof parallel mechanism*. Mekanisme tiga derajat kebebasan rotasi murni merupakan mekanisme *lower dof*. Mekanisme ini disusun oleh rantai kinematik dengan konfigurasi Universal, *Revolute* dan Universal (URU) seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Robot paralel 3-dof rotasi murni Gambar 2 Diagram kinematik mekanisme 3-URU rotasi murni[3]

Pada dasarnya untuk satu rantai kinematik mekanisme paralel 3-URU rotasi murni disusun oleh lima joint. Kelima joint tersebut disusun sedemikian rupa sehingga terbentuk dua kelompok arah sumbu joint. Kelompok pertama merupakan kelompok sejajar yang akan mengatur arah gaya yang menahan perpindahan translasi *platform* pada sumbu putar. Berikutnya kelompok sumbu berpotongan, dimana titik perpotongannya digunakan untuk mendefinisikan lokasi titik pusat putar *platform* [3].

Konstanta kinematik mekanisme 3-URU diklasifikasikan menjadi 2 grup [6]. Grup pertama terdiri dari sudut ψ, ζ, λ , serta jari-jari r_b dan r_p seperti yang terlihat pada Gambar 2 yang digunakan untuk menghitung posisi dan orientasi joint universal pada base dan platform. Disini, ψ merupakan sudut

yang dibentuk oleh join revolute pertama dengan bidang base, ζ adalah sudut antara join revolute kelima yang terletak pada platform dengan bidang platform, λ adalah sudut untuk menghitung lokasi masing-masing rantai kinematik pada base dan platform sedangkan r_B dan r_P berturut-turut adalah jari-jari base dan platform. Grup kedua adalah panjang dua batang pada masing-masing rantai kinematik yaitu L_{2i} dan L_{3i} ($i=1,2,3$).

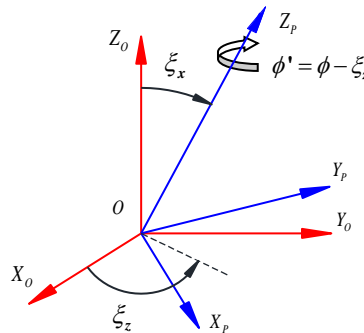
Orientasi *platform* didefinisikan dengan tiga parameter rotasi yang dikenal dengan sistem rotasi *Euler-Angle*[7] seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Parameter tersebut berturut-turut terdiri dari $Z(\xi_z) - X(\xi_x) - Z(\phi)$. Jika vektor pada $O - X_0 Y_0 Z_0$ dilambangkan dengan $p_o = [X \ Y \ Z]^T$ dan vektor pada $O_p - X_p Y_p Z_p$ dengan $p = [x \ y \ z]^T$, maka akan diperoleh hubungan antara p_o dan p . Dimana p_o dan p melambangkan vektor pada sistem koordinat referensi dan koordinat *platform* [8].

$$p_o = R p \quad (1)$$

R adalah matrik rotasi

$$R = \begin{bmatrix} c\xi_z c\phi - s\xi_z c\xi_x s\phi & -c\xi_z s\phi - s\xi_z c\xi_x c\phi & s\xi_z c\xi_x \\ s\xi_z c\phi + c\xi_z c\xi_x s\phi & -s\xi_z s\phi + c\xi_z c\xi_x c\phi & -c\xi_z s\xi_x \\ s\xi_x s\phi & s\xi_x c\phi & c\xi_x \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$c\xi_z = \cos \xi_z, c\xi_x = \cos \xi_x, s\xi_z = \sin \xi_z, s\xi_x = \sin \xi_x, s\phi = \sin \phi, c\phi = \cos \phi$$



Gambar 3 *Successive rotation* pada *platform*[3]

2. METODE

2.1 ANALISIS SINGULARITY

Actuation singularity menunjukkan bahwa gerakan platform tidak dapat dikontrol oleh aktuator. Persamaan singularity diperoleh dari hubungan antara kecepatan platform V_P dan kecepatan join yang dinyatakan dengan [9]

$$V_P = \sum_{j=1}^5 S_{ji}^{(O)} \dot{\theta}_{ji} \quad (i=1,2,3; j=1,2,3,4,5) \quad (3)$$

Untuk mekanisme paralel rotasi murni, kecepatan platform V_P dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_P = \begin{bmatrix} \omega_p \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Kecepatan join pasif dapat dieliminasi dari persamaan (3) dan (4) untuk memperoleh hubungan antara θ_{li} dan ω_p . Untuk itu, perlu diperhitungkan *screw* S_{RAi} yang *reciprocal* terhadap semua join pasif S_{2i} sampai S_{5i} tetapi tidak *reciprocal* terhadap join input S_{1i} . *Reciprocal screw* $S_{RAi}^{(O)}$ dinyatakan dalam sistem koordinat $O - X_0 - Y_0 - Z_0$ dapat ditulis sebagai

$$S_{Rli}^{(O)} = \begin{bmatrix} 0 \\ S_{Rli}^{(O)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Penerapan perkalian *reciprocal* pada kedua sisi persamaan (3) dengan $S_{Rli}^{(O)}$ menghasilkan

$$S_{Rli}^{(O)} \circ [\omega_p^T \ 0^T]^T = S_{Rli}^{(O)} \circ S_{li}^{(O)} \dot{\theta}_{ji} \quad (i=1,2,3) \quad (6)$$

Persamaan (6) dapat ditulis dalam bentuk sederhana menjadi [10]

$$J_a \omega_p = J_c \dot{\theta} \quad (7)$$

dimana

$$J_a = \begin{bmatrix} (S_{R11}^{(O)})^T \\ (S_{R12}^{(O)})^T \\ (S_{R13}^{(O)})^T \end{bmatrix}, J_c = \begin{bmatrix} S_{R11}^{(O)T} \cdot S_{11}^{(O)} & 0 & 0 \\ 0 & S_{R12}^{(O)T} \cdot S_{12}^{(O)} & 0 \\ 0 & 0 & S_{R13}^{(O)T} \cdot S_{13}^{(O)} \end{bmatrix}$$

Dari persamaan (7) diperoleh

$$\dot{\theta} = J_c^{-1} J_a \omega_p \quad (8)$$

Singularity dapat diketahui dengan mengecek determinan $(J_c^{-1} J_a)$. Jika *magnitude* dari determinan tersebut bernilai nol atau mendekati nol maka pada postur tersebut mekanisme akan mengalami *singularity*.

2.2 ANALISIS KEKAKUAN

Kekakuan robot paralel dapat dievaluasi melalui matriks J_c yang menyatakan kemampuan struktur mekanisme menahan gaya luar ketika aktuator dikunci. *Singularity* terjadi jika determinan matriks J_c sama dengan nol atau mendekati nol yang dinyatakan dengan persamaan (9)

$$\det J_c = 0 \quad (9)$$

Pada postur tersebut *platform* mendapat tambahan gerakan translasi selain gerak rotasi 3-dof. Titik O pada *platform* yang merupakan pusat rotasi dapat mengalami gerakan translasi karena gaya *constraint* dari ketiga rantai kinematik menjadi tidak mampu menahan gaya luar. Fenomena ini disebut *constraint singularity*. Untuk mekanisme 3-URU rotasi murni persamaan (9) dapat disederhanakan menjadi

$$\det J_c = \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \psi (\sin \theta_{11} \cos \theta_{12} \cos \theta_{13} + \cos \theta_{11} \sin \theta_{12} \cos \theta_{13} + \cos \theta_{11} \cos \theta_{12} \sin \theta_{13} + 3 \sin^2 \psi \sin \theta_{11} \sin \theta_{12} \sin \theta_{13}) = 0 \quad (10)$$

Berdasarkan parameter yang muncul pada persamaan (10) terlihat bahwa kondisi *constraint singularity* ditentukan oleh beberapa konstanta kinematik yang berhubungan dengan *base* dan *platform*, yaitu sudut ψ , ζ , jari-jari r_B dan r_P serta sudut input θ_{li} . Sebagaimana diketahui sudut input θ_{li} ditentukan oleh orientasi *platform* dan vektor u_i (sudut ψ) dan sudut ζ , dimana parameter tersebut independen terhadap panjang batang L_{2i} dan L_{3i} . Oleh karena itu *constraint singularity* dipengaruhi oleh orientasi *platform* dan empat konstanta kinematik (ψ, ζ, r_B, r_P) .

2.3 OPTIMASI DERAJAT KEBEBASAN REDUNDANT (ϕ)

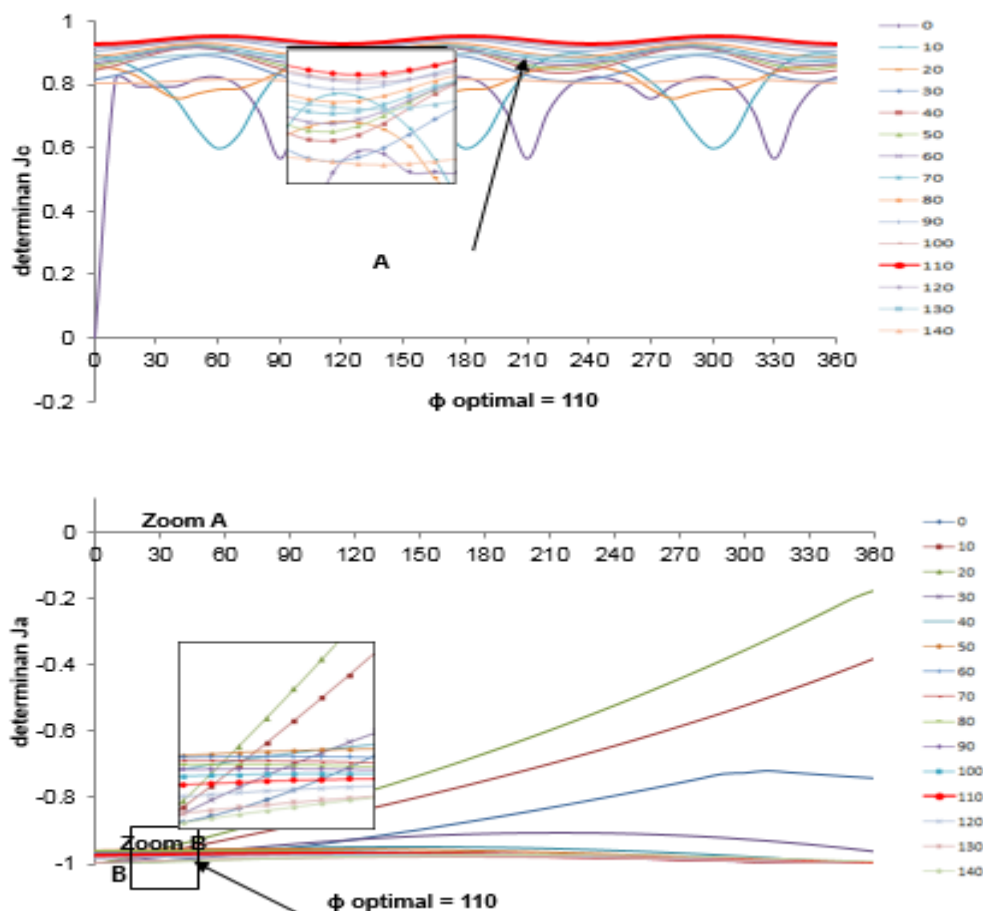
Secara teoritis *singularity* hanya terdeteksi jika determinan matrik J_c dan J_a sama dengan nol.

Artinya jika mendekati nol maka di sekitar daerah tersebut akan terjadi *singularity*. Pada penelitian ini dideteksi determinan yang nilainya mendekati 1 dengan memvariasikan derajat kebebasan *redundant* (ϕ). Dengan mengetahui nilai optimal dari sudut *redundant* maka akan diketahui nilai sudut yang memberikan kekakuan yang paling optimal. Dari simulasi yang telah dibuat akan diperoleh determinan J_c dan J_a untuk setiap sudut inklinalasi $\xi_x = 0^\circ:10^\circ:70^\circ$. Determinan J_c dan J_a yang diperoleh tersebut divariasikan sudut *redundant* nya. Pemilihan sudut ϕ optimal adalah dengan cara menggunakan Indeks Evaluasi (EI) dengan menggunakan persamaan (11).

$$EI = |J_c| |J_a| \quad (11)$$

Dalam menentukan sudut *redundant* (ϕ) yang optimal, dipilih nilai mutlak yang terkecil dari kedua determinan pada masing-masing sudut ϕ untuk setiap sudut inklinalasi (ξ_x). Selanjutnya dipilih determinan J_c dan J_a yang nilainya mendekati 1, dalam hal ini dipilih nilai besar dari 0.6 untuk kedua determinan. Nilai 0.6 tersebut hanya sebagai acuan agar pada mekanisme berada jauh dari kondisi *singulanya*. Kemudian dipilih harga Indeks Evaluasi (EI) yang paling besar dari determinan yang memenuhi persyaratan tersebut dengan mempertimbangkan harga sudut *redundant* (ϕ) optimal sebelumnya sehingga dapat menghasilkan fungsi yang kontinyu. Hubungan antara sudut *redundant* (ϕ) optimal dengan sudut inklinalasi (ξ_x) selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik dimana akan diperoleh persamaan sudut ϕ optimal yang merupakan fungsi dari ξ_x .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4 Derajat kebebasan *redundant* (ϕ) optimum untuk $\xi_x = 20^\circ$

Dari simulasi yang telah dibuat diperoleh hubungan antara determinan matrik J_c dan J_a dengan sudut ξ_z . Determinan matrik J_c dan J_a diperoleh untuk setiap kenaikan 10° sudut ξ_z dan sudut $redundant(\phi)$. Disini variasi sudut $redundant$ dengan menggunakan persamaan $\phi' = \phi - \xi_z$ dimana nilai $\phi = 0^\circ : 10^\circ : 140^\circ$. Dengan demikian terdapat 15 nilai sudut $redundant$ untuk setiap sudut kemiringan (inklinasi) $platform$. Sudut inklinasi $platform(\xi_x)$ bervariasi dari $\xi_x = 0^\circ$ sampai dengan $\xi_x = 70^\circ$ dengan kenaikan 10° . Untuk setiap sudut inklinasi disajikan dalam bentuk grafik baik untuk determinan matrik J_c maupun J_a . Determinan matrik J_c dan J_a dihubungkan masing-masing untuk setiap sudut $redundant$ nya. Berikut ini disajikan salah satu contoh derajat kebebasan optimal (ϕ) untuk sudut inklinasi (ξ_x) = 20° yang tersaji pada Gambar 4. ξ_z ($^\circ$)

Dari Gambar 4 terlihat bahwa nilai determinan matrik J_c dan J_a bervariasi untuk setiap sudut ξ_z . Untuk masing-masing determinan J_c dan J_a ditampilkan variasi sudut $redundant$ (ϕ), dengan nilai $\phi = 0^\circ : 10^\circ : 140^\circ$. Untuk setiap sudut inklinasi (ξ_x), nilai mutlak dari kedua determinan dipilih yang paling minimum untuk masing-masing sudut ϕ . Selanjutnya kedua determinan minimum tersebut dievaluasi dengan menggunakan Indeks Evaluasi (EI). Dalam menentukan sudut $redundant$ (ϕ) optimal, dipilih harga mutlak determinan J_c dan J_a yang nilainya besar dari 0.6 untuk kedua determinan. Selanjutnya dipilih sudut ϕ dengan harga EI terbesar dari determinan yang memenuhi persyaratan tersebut. Berikut ini disajikan salah satu contoh tabel pemilihan ϕ optimum untuk sudut inklinasi $\xi_x = 20^\circ$ yang tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1 Pemilihan Sudut ϕ optimum untuk sudut inklinasi $\xi_x = 20^\circ$

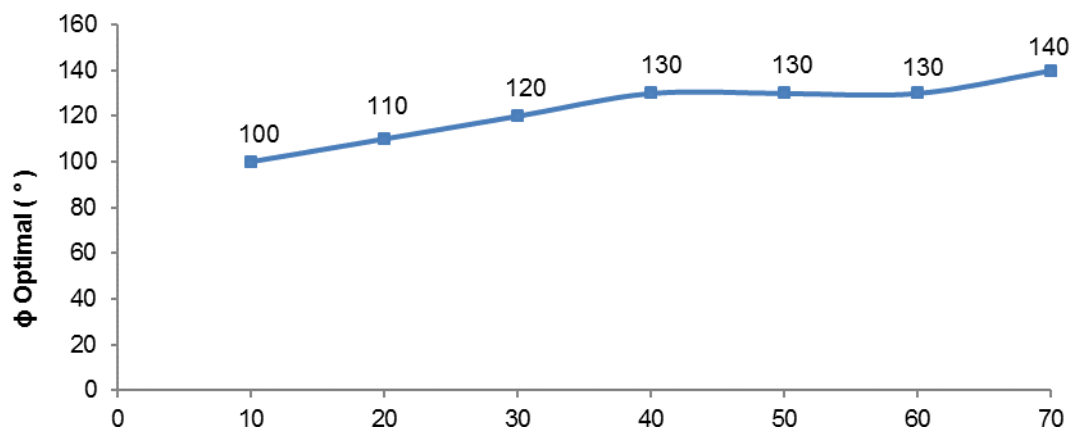
No	ϕ ($^\circ$)	det $ J_c $ minimum	det $ J_a $ minimum	EI
1	0	0.00000	0.72101	0.00000
2	10	0.59814	0.37856	0.22643
3	20	0.75446	0.17656	0.13321
4	30	0.80755	0.90568	0.73138
5	40	0.83568	0.94768	0.79195
6	50	0.84838	0.95481	0.81005
7	60	0.85909	0.95899	0.82385
8	70	0.87233	0.96144	0.83870
9	80	0.88855	0.96373	0.85632
10	90	0.90590	0.96628	0.87535
11	100	0.91962	0.96904	0.89115
12	110	0.92535	0.97189	0.89934
13	120	0.91522	0.97479	0.89215
14	130	0.87845	0.97775	0.85891
15	140	0.80290	0.97240	0.78074

Dari Tabel 1 terlihat bahwa determinan J_a dan J_c minimum yang nilainya besar dari 0.6 terdapat pada sudut $\phi = 30^\circ$ sampai dengan $\phi = 140^\circ$. Dari determinan yang memenuhi tersebut, nilai EI terbesar adalah pada saat $\phi = 110^\circ$. Dengan demikian sudut ϕ optimal yang dipilih adalah 110° . Untuk sudut ϕ optimal berbagai variasi sudut inklinasi $\xi_x = 0^\circ : 10^\circ : 70^\circ$ disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sudut ϕ optimal untuk berbagai variasi sudut inklinasi (ξ_x)

No	$\xi_x (^\circ)$	det Jc	det Ja	EI	$\phi_{opt} (^\circ)$
1	10	0.98200	0.66321	0.65127	100
2	20	0.92535	0.97189	0.89934	110
3	30	0.82856	0.92045	0.76265	120
4	40	0.80421	0.85050	0.68398	130
5	50	0.78187	0.72910	0.57006	130
6	60	0.61321	0.62166	0.38121	130
7	70	0.43576	0.41489	0.18079	140

Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai determinan J_a dan J_c yang dipilih adalah yang bernilai besar dari 0.6, kecuali untuk sudut inklinasi (ξ_x) = 70° . Pada kemiringan tersebut determinan minimumnya tidak ada yang bernilai di atas 0.6. Pada kondisi ini mekanisme semakin mendekati titik *singular*. Hubungan antara sudut *redundant* (ϕ) optimal dengan sudut inklinasi (ξ_x) disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik hubungan sudut *redundant* (ϕ) optimal dengan sudut inklinasi (ξ_x)

Dari grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa untuk mendapatkan sudut inklinasi 10° sampai dengan 70° dibutuhkan sudut *redundant* (ϕ) optimal yang nilainya berada antara $\phi = 100^\circ - 140^\circ$. Selain itu juga diperoleh hubungan sudut *redundant* (ϕ) optimal dengan sudut inklinasi (ξ_x) yang dinyatakan dengan persamaan

$$\phi_{optimal} = -1E-08(\xi_x)^6 + 4E-06(\xi_x)^5 - 0.0008(\xi_x)^4 + 0.0151(\xi_x)^3 - 0.3143(\xi_x)^2 + 3.9654(\xi_x) + 79.977 .$$

4. SIMPULAN

Telah berhasil diperoleh sudut *redundant* yang optimal untuk mekanisme paralel 3-URU rotasi murni. Sudut *redundant* yang optimal ini dapat memberikan postur mekanisme yang dapat menghasilkan kekakuan kinematik yang tinggi. Dalam hal ini diperoleh sudut ϕ optimal yang merupakan fungsi dari ξ_x , yang dinyatakan dengan persamaan

$$\phi_{optimal} = -1E-08(\xi_x)^6 + 4E-06(\xi_x)^5 - 0.0008(\xi_x)^4 + 0.0151(\xi_x)^3 - 0.3143(\xi_x)^2 + 3.9654(\xi_x) + 79.977 .$$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gregorio, R., D., Kinematic of a new spherical parallel manipulator with three equal legs : The 3-URC wrist, *Journal of Robotic Systems*, Vol.18, No.5, pp. 213-219,2001.
- [2] Zlatanov, D., Bonev, I., A., Gosselin., M., Constraint singularities as C-space singularities, *Advances in Robot Kinematics, Kluwer Academic Publishers*, pp.183-192, 2002.
- [3] Huda, S. and Takeda, Y., Kinematic Analysis and Synthesis of a 3 URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Respect to *Singularity* and Workspace, *Journal of Advanced Mechanicaldesign, Systems, and Manufacturing*, vol.1,No.1,2007.
- [4] Jufriзал, Rancang Bangun *Prototype* Mekanisme Paralel Rotasi Murni Berbasis Join Revolut dan Universal, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, Padang, 2013.
- [5] Syafri, Kaji Sensitivitas Kesalahan Dimensi dan Geometri Struktur Robot Paralel 3 Derajat Kebebasan Rotasi Murni Terhadap Kepresisian dan Ketelitian Gerak Output, Tesis, Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, Padang, 2014.
- [6] Huda, S. and Takeda, Y., Dimensional Synthesis of a 3 URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Respect to *Singularity* and Workspace, 12th IFToMM World Congress, 2007.
- [7] Tsai, L.-W., Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, John Willey & Son, 1999.
- [8] Huda, S. and Takeda, Y., Kinematic Design of 3 URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Consideration of Uncompensable Error, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, Vol.2, No.5,2008.
- [9] Zhao, J., Lu, W., Chu, F. and Feng, Z. , Kinematics and Statics of Manipulators, <http://www.paper.edu.cn>
- [10] Zhao, J., Li , Bi., Yang , X. and Yu, H., Geometrical Method to Determine the Reciprocal Screw and Applications to Parallel Manipulator, *Robotica*, Vol.27, Cambridge University, 2009.

Potensi Biogas dari Substrat Bio-Limbah Perhotelan

I Nyoman Suprpta Winaya^{1)1a}, I Gusti Ngurah Putu Tenaya^{1)b}, I Made Agus Putrawan²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali
Email: ins.winaya@me.unud.ac.id

²⁾ Program Pascasarjana Universitas Udayana
Email: agusputrawanmade@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi produksi biogas yang dihasilkan dari pemanfaatan bio-limbah perhotelan seperti limbah dapur (kitchen) dan limbah lumpur (*sewage*) dengan penambahan inokulum kotoran hewan. Jumlah material kering (*total solid*, TS) dari limbah hotel akan dikaji untuk diketahui pengaruhnya terhadap produksi biogas yang dihasilkan. Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan variasi TS sebesar 3, 4, 5 gram ke dalam sebuah biodigester skala laboratorium kapasitas 1000ml. Pengukuran kinerja dari biodigester diamati selama 40 hari dan dilakukan pengkondisian pH pada digester kontrol. Pengujian kandungan gas metana dilakukan secara langsung menggunakan metode absorpsi CO₂ *Brigon gas tester*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan mengkondisikan pH pada rentang 6,8-7,5 merupakan kondisi ideal bagi bakteri metana sehingga mempengaruhi produksi biogas yang dihasilkan. Komposisi 5 gram TS *sewage* dengan pH dikondisikan menunjukkan volume spesifik biogas paling tinggi. Sedangkan persentase gas metana yang dihasilkan tidak memiliki korelasi langsung terhadap komposisi material kering dan menunjukkan fenomena yang hampir seragam

Kata kunci : Limbah perhotelan, inokulum, biogas, *total solid*

Abstract

This study aims to determine biogas production using organic waste as raw material from hotel industries such as kitchen waste and sewage sludge with the addition of inokulum. Total dry matter (*total solid*, TS) of organic waste is studied to determine its effect on the biogas production. Experiments was conducted with a variation of TS of 3, 4, 5 grams into a biodigester laboratory scale of 1000ml. Measurement of the performance of the biodigester was observed for 40 days and the pH condition in the digester was controlled. Methane gas content was done directly using *Brigon CO2 gas tester*. The results showed that the conditioned of pH 6.8 to 7.5 are found as the ideal conditions for methane bacteria to produce of biogas. Composition of 5 grams TS sewage with a conditioned pH showed the highest specific volume of biogas production. While the percentage of methane gas that is produced does not have a direct correlation to the composition of TS and show the phenomenon that is almost uniformly

Key words: hotel wastes, inoculum, biogas, total solids

1. PENDAHULUAN

Pariwisata di Pulau Bali merupakan sektor yang paling diunggulkan dan berkontribusi terbesar bagi pendapatan daerah. Ini disebabkan oleh banyaknya obyek daya tarik wisata di Bali, terutama di daerah Bali bagian selatan yaitu Kabupaten Badung. Perkembangan hotel-hotel pun sangat pesat, banyaknya pembangunan hotel-hotel baru mencapai titik puncak di tahun 2013 karena dipicu izin pembangunan hotel ditutup tahun 2013 [1].

Melihat perkembangan tersebut maka sebuah konsep *green energy* yang mengacu pada kebijaksanaan pemerintah untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak, menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak (Tim Nasional Pengembangan BBN, 2007). Penanganan permasalahan limbah sampah menjadi energi (*waste to energy*) diharapkan mampu berkontribusi dalam penekanan penggunaan sumber energi fosil dan juga memecahkan persoalan pencemaran lingkungan yang terjadi. Dari situasi semacam ini, pencarian, penyebaran dan pengembangan teknologi energi non-BBM di kawasan hotel sangat penting karena hotel merupakan konsumen energi cukup tinggi.

Dari area dan jumlah kamar yang dimiliki hotel-hotel dikawasan *Bali Tourism Development Cooperation* (BTDC) Nusa Dua menghasilkan potensi sampah sekitar 60,50 m³/hari (BPS dan Analisa

¹ Penulis korespondensi: phone. 62361703321
Email: ins.winaya@me.unud.ac.id,

Wisnu 2011), ini sudah termasuk sampah garden, sampah *kitchen*, dan limbah *sewage*. Dengan luas area dan potensi sampah yang dimiliki, pengembangan dan pembuatan sumber energi biogas menjadi alternatif pilihan untuk memperbaiki tatakelola sampah serta menghasilkan energi yang tepat guna.

Biogas merupakan sumber energi dapat diperbarui (*renewable*) yang berasal dari aktifitas anaerobik/fermentasi bahan-bahan organik. Pada dasarnya, biogas merupakan gas yang mudah terbakar (*flameable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerobik. Biogas terdiri dari 55% - 75% metana (CH₄), 30% - 45% karbondioksida (CO₂), 0 -1% hidrogen (H₂), 1% – 2% hidrogen sulfida (H₂S) dan 0% -1% nitrogen (N₂) [2].

Penelitian dilakukan untuk mengkaji produksi biogas yang dihasilkan dari pemanfaatan biolimbah yang dihasilkan dari limbah perhotelan. Hasil penelitian nantinya sebagai data awal untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari komposisi material kering (*Total Solids*) dari limbah organik perhotelan terhadap karakteristik kinerja pembentukan biogas.

2. METODE PENELITIAN

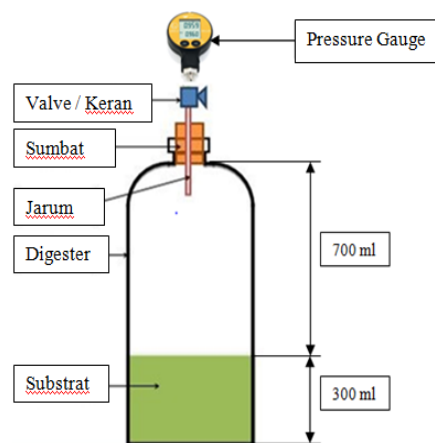
Analisa perhitungan produksi biogas dilakukan pada unit biodigester skala laboratorium biogas Teknik Mesin Universitas Udayana. Pengujian awal yaitu dengan mengetahui karakteristik dari limbah organik seperti Total Solids (TS) dan Volatile Solid (VS). Produksi biogas dari sampel limbah perhotelan memungkinkan untuk dilakukan dengan menggunakan digester skala laboratorium. Komposisi jumlah material padat yang dimasukkan divariasikan yaitu sebesar 3,4,dan 5 gr dari 300ml volume slurry inokulum kotoran hewan dalam digester. Dua seri digester memudahkan dalam mengontrol dan mengamati kinerja digester dengan pengkondisian pH.

Untuk meningkatkan performa digester biogas yang hanya menggunakan kotoran sapi dilakukan dengan penambahan substrat limbah organik perhotelan. Pengujian TS dan VS dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$TS\% = \frac{\text{Berat Akhir (gr)}}{\text{Berat Awal (gr)}} \times 100 \quad (1)$$

Volatile Solids (VS) merupakan kadar organik yang mampu terdegradasi dalam suatu bahan dan dinyatakan dengan persentase:

$$VS\% = \left(1 - \frac{\text{Berat kering sampel (gr)}}{\text{Berat abu (gr)}} \right) \times 100 \quad (2)$$



Gambar 1 Skematik digester skala laboratorium

Perhitungan produksi biogas diukur menggunakan digital pressure (bar) dan dikonversi kedalam satuan volume yang dihasilkan setiap digester dihitung menggunakan persamaan berikut [4] :

$$\text{Volume biogas (ml)} = \frac{\text{Volume sisa botol (ml)} \times 273 \text{ K} \times \text{tekanan botol (bar)}}{(273 + \text{Temperatur digester}) \times \text{tekanan udara luar (bar)}} \quad (3)$$

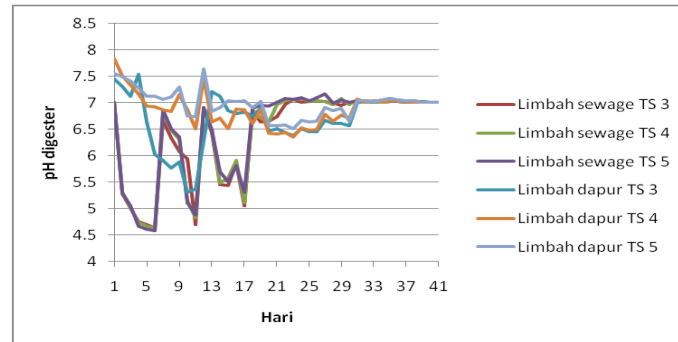
Volume spesifik biogas yang dihasilkan dari setiap substrat dihitung menggunakan persamaan berikut [3]:

$$V_{\text{spesifik}} (\text{NL/kgTS}) = \frac{\text{Volume biogas (ml)}}{\text{berat TS (gr)}} \quad (4)$$

Pengukuran produksi biogas dilakukan selama 40 hari dengan masing-masing 3 digester dari limbah dapur dan sewage dilakukan secara alami sedangkan untuk 3 digester dilakukan pengkondisian pH pada rentang 6,6 – 7,5 menggunakan larutan NaOH dan H₂SO₄.

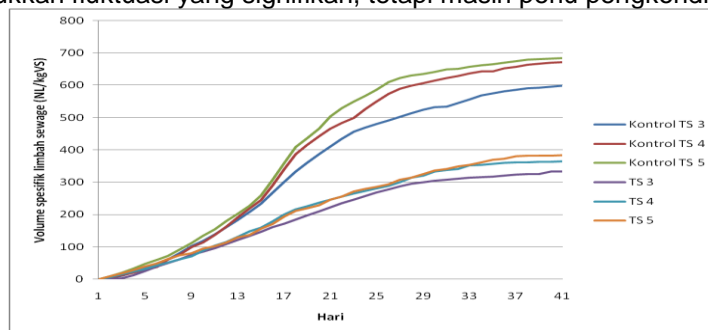
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan karakterisasi dari sampel didapatkan data persentase total solids sebesar 27,38% untuk limbah dapur dan 11,90% untuk limbah sewage. Sedangkan volatile solid limbah dapur sebesar 95,10% dan limbah sewage sebesar 86,26%. Selanjutnya dilakukan pengujian pada biodigester dari setiap variasi yang dicampur dengan inokulum seperti pada metodologi sehingga didapatkan data tekanan digester, pH, temperatur, persentase metana untuk menentukan volume spesifik biogas yang dihasilkan.

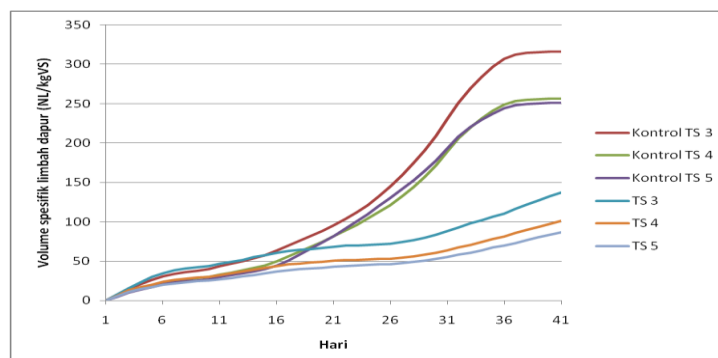


Gambar 1 Grafik pengkondisian pH pada digester control

Penggunaan limbah sewage sebagai substrat menunjukkan kondisi pH di dalam digester mengalami penurunan dan berfluktuasi sampai hari ke 17. Hal ini disebabkan karena pada hari pertama hingga hari ke-17 merupakan proses pengasaman atau reaksi asidogenik dari bakteri inokulum yang terdapat dalam digester. Pengkondisian dilakukan dengan penambahan larutan NaOH setiap minggu sehingga pada hari ke 21 kondisi pH mendekati ideal. Sedangkan untuk limbah sewage menunjukkan pH digester tidak terlalu menunjukkan fluktuasi yang signifikan, tetapi masih perlu pengkondisian sampai pH ideal.



Gambar 2 Grafik volume spesifik biogas limbah sewage (NL/kgVS)

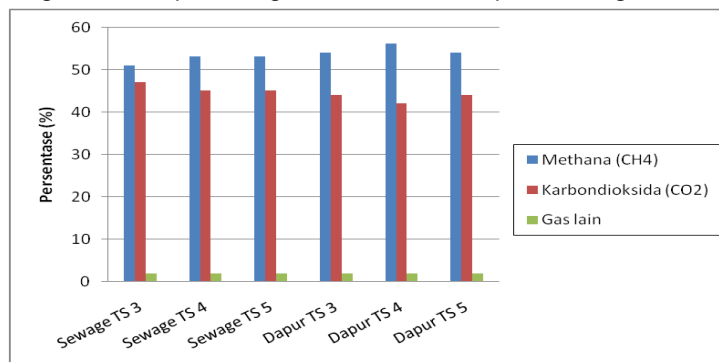


Gambar 3 Grafik volume spesifik biogas limbah dapur (NL/kgVS)

Variasi TS yang berbeda mempengaruhi produksi biogas dimana paling rendah ditunjukkan pada digester TS 3 gr tanpa pengkondisian pH. Digester TS 5 gr dengan pengkondisian pH menghasilkan volume spesifik biogas akumulasi paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa dengan variasi TS 5 gr

merupakan variasi campuran yang seimbang antara komposisi bakteri pengurai dengan jumlah substrat yang ada. Di satu sisi dapat dilihat bahwa pH sangat mempengaruhi produksi biogas, hal ini dibuktikan pada digester dengan pengkondisian pH proses produksi biogas lebih cepat dibandingkan dengan digester tanpa pengkondisian pH. Ini disebabkan dengan pengkondisian pH bakteri dapat bekerja lebih optimal sehingga menghasilkan tekanan yang lebih tinggi.

Volume spesifik biogas limbah dapur paling rendah ditunjukkan pada digester dengan komposisi 5 gr TS pada 300 ml campuran substrat tanpa dilakukan pengkondisian pH. Sedangkan pada digester 3 gram TS dengan pengkondisian pH menghasilkan volume spesifik biogas akumulasi paling tinggi.



Gambar 4 Grafik komposisi gas pada substrat limbah sewage dan dapur

Komposisi gas metana diperlukan untuk dapat dimanfaatkan sebagai energi berguna. Dari gambar 4 menunjukkan komposisi gas metana (CH₄) dari biogas yang dihasilkan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kadar air dalam material substrat dapat mempengaruhi kandungan CO₂ didalam biogas. Hasil gas metana paling tinggi ditunjukkan pada limbah dapur dengan komposisi material kering 4 gram.

4. SIMPULAN

Berdasarkan dari data hasil penelitian yang telah dilakukan selama 40 hari, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Pengkondisian pH pada rentang 6,6 – 7,5 sangat berpengaruh terhadap lama fermentasi, rentang pH tersebut merupakan rentang pH yang baik dalam pembentukan biogas pada limbah sewage dan limbah dapur
- Karakteristik komposisi material kering dari substrat mempengaruhi produksi harian biogas dimana volume spesifik tertinggi dihasilkan pada komposisi 5 gram TS sewage perhotelan dengan pengkondisian pH. Hal ini menunjukkan keadaan yang seimbang antara komposisi bakteri pengurai dengan jumlah substrat yang ada.
- Sedangkan persentase gas methane yang dihasilkan tidak memiliki korelasi langsung terhadap komposisi material kering dan menunjukkan fenomena yang hampir seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Provinsi Bali (2011), "*Banyaknya Hotel Berbintang di Bali Menurut Lokasi dan Kelas Hotel Tahun 2011*", (http://bali.bps.go.id/tabel_detail.php?ed=611003&od=11&id=11), (25 Februari 2013)
- [2] Hilikiah Igoni A., Abowei M.F.N., Ayotamuno M.J., and Eze C.L., (2008), *Effect of Total Solids Concentration of Municipal Solid Waste on the Biogas Produced in an Anaerobic Continous Digester*, Agricultural Engineering International : the CIGR Ejournal, Manuscript EE 07 010, Vol.1
- [3] Nett D., Winaya I N.S., Putrawan M., Wartmann R., Edelman W. (2014), *Evaluation of Co-Substrates for Biogas Production in Bali and Their Possible Application in Rural Biogas Plants*, Applied Mechanics and Materials Vol. 493, pp 262-266

Format Penulisan Artikel Jurnal Energi dan Manufaktur

[Judul tidak lebih dari 12 kata: Arial, 14 pt, Bold]

I Ketut Adi Atmika^{1)*}, Aaa Bbb¹⁾, Ccc Dd²⁾ [Arial, 11 pt, Bold]

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email: tutadi@me.unud.ac.id, aabb@yahoo.com

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas ---
Alamat lengkap dengan kode pos [Arial, 9 pt]
Email: ccdd@yahoo.com

Abstrak [Arial, 11 pt, Bold]

Abstrak ditulis menggunakan huruf Arial, 9 pt, sepanjang maksimum 300 kata, berjarak 1 spasi, indentation kiri dan kanan 1,3 cm, memuat latar belakang, metode penelitian/analisis, hasil dan pembahasan. Abstrak harus ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Apabila artikel dalam bahasa Indonesia maka urutan abstraknya adalah Indonesia-Inggris dan sebaliknya.

Kata kunci: biodiesel, karakteristik spray, image processing [Arial, 9 pt]

Abstract [Arial, 11 pt, Bold]

The Abstract is written by using 9 pt Arial, with maximum 300 words, space 1, left and right indentation are 1,3 cm. The abstract contents are: Title background, research method/analyses, continued with result and discussion. Abstract should be prepared in Indonesian and English. If the article is presented in Indonesian, the sequence for the abstract is Indonesia-English and vice versa.

Keywords: Biodiesel, spray charactersitic, image processing [Arial, 9 pt]

1. PENDAHULUAN [Arial, 10 pt, Bold]

Makalah dapat ditulis dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris. Naskah harap diketik dengan MS-Word pada kertas ukuran A4 dalam 1 spasi, Arial ukuran font 10 dengan format 1 kolom. Margin yang digunakan adalah 2,5 cm (atas, bawah, kiri dan kanan). *Gutter* = 0 cm, orientasinya adalah Portrait dengan Mirror margin. Layout-nya adalah Different odd and even dengan Header = 1.27 cm dan Footer = 1 cm. Jumlah total halaman maksimum adalah 10 halaman termasuk daftar pustaka, gambar, tabel, apendiks dan lain-lain. Semua halaman harus diberi nomor secara urut di bagian kiri bawah.

Sistematika pembabakan (*Heading* utama) mengikuti *template* ini. Heading utama harus mengikuti sistematika di template ini dan ditulis dengan huruf KAPITAL, Arial font 10 Bold, sedangkan *heading* level kedua ditulis dengan huruf kapital dan huruf kecil, Arial font 10 Bold. Mohon dihindari penggunaan heading sampai level ketiga.

2. METODE [Arial, 10 pt, Bold]

2.1. Prosedur Penelitian dan Persamaan [Arial, 10 pt, Bold]

Persamaan matematika dan simbol harus terketik dan dapat dibedakan antara angka satu (1) dan huruf l serta antara angka nol (0) dan huruf O. Persamaan harus diberi nomor urut mulai dari (1) dalam tanda kurung yang diletakkan di sisi kanan dari persamaan tersebut. Sisipkan (*insert*) equation untuk menuliskan persamaan matematika dengan *style math*.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (1)$$

Satuan yang digunakan dalam naskah adalah Sistem Satuan Internasional (SI). Jika satuan lain harus digunakan, maka satuan SI juga harus dicantumkan dalam tanda kurung. Tidak ada aturan khusus dalam penggunaan simbol-simbol yang sudah umum digunakan.

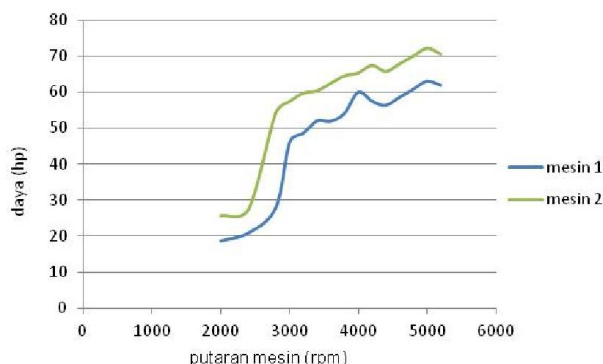
Semua penulisan variabel ditulis dengan *italic* dengan index angka dalam Arial, contoh, X_1, \dots, X_n . Y_i , $i = 1, \dots, n$. Gunakan tanda " : " untuk menjelaskan arti variable dan " = " jika variable itu bernilai sebuah angka atau persamaan. N : jumlah data, $X = 1$.

*Penulis korespondensi, HP: 6281236785776,
Email: tutadi@me.unud.ac.id

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambar dan Tabel [Arial, 10 pt, Bold]

Foto, grafik, ilustrasi ataupun diagram termasuk dalam kelompok “gambar”. Semua gambar dan tabel harus diletakkan di antara teks dan diidentifikasi atau diberi nomor secara berurutan dengan huruf latin (bukan Romawi). Nama atau keterangan dituliskan dengan huruf kecil kecuali pada karakter pertama pada tiap kalimat. Gambar maupun tabel diletakkan di tengah halaman (*center alignment*).



Gambar 1 Gunakan huruf besar hanya di awal nama gambar saja.

Keterangan pada tabel harus terlihat di atas tabel.

Tabel 1 Keterangan pada tabel juga ditulis dengan huruf besar di awal saja demikian juga dengan judul-judul dalam tabel

Putaran (rpm)	Daya mesin (hp)	Torsi mesin (KW)
2000	18.78	6.82
2400	20.99	6.35
2800	28.00	11.16
3000	46.11	11.25

Pengurutan nomor yang berbeda antara Gambar dan Tabel. Foto harus dicetak dalam format digital yang tergabung dalam naskah. Semua gambar dan tulisannya harus jelas terbaca bila dikecilkan hingga 50% dari ukuran semula. Semua tabel dan gambar harus disertai dengan legenda penjelasan. Apabila gambar maupun tabel merupakan kutipan, harus dituliskan sumbernya.

4. SIMPULAN [Arial, 10 pt, Bold]

Penarikan simpulan, perampatan yang meluas, dan pencetusan teori baru yang dituangkan secara mapan menjadikan artikel lebih bermakna dibandingkan dengan memuat tulisan yang berisi simpulan dangkal dan saran bahwa penelitiannya perlu dilanjutkan.

UCAPAN TERIMA KASIH [Arial, 10 pt, Bold]

Kalau ada ucapan terima kasih yang disampaikan, misalnya kepada penyandang dana disini tempatnya.

DAFTAR PUSTAKA [Arial, 10 pt, Bold]

Penyitiran pustaka dilakukan dengan mengacu pada sistem *numerical (vancouver system)* dengan memberi nomor yang diletakkan pada kurung besar seperti berikut [1] bukan sebagai superscript. Pustaka yang dirujuk adalah minimal 70% dari pustaka primer.

Contoh penulisan daftar pustaka:

- [1] Lakkard, S.C., Patel JM, *Mechanical properties of bamboo, a natural composite*, J. Fibre Sci. Tech. 14:319–322, 2011.
- [2] Pane, S., *Metode dan Alat Pemadam Api*, Paten di Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Indonesia P4567-890123, 2008.
- [3] Bhayangkara, A., *Desain Mesin Injeksi*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung, 25-35, 2009.
- [4] Howard, S. A., *SHADOW – Peak Profiling/Stress/Size/Strain Analysis*, 2002.
[http://www.ccp14.ac.uk/projects/shadow/] (Diakses tanggal: 28 Oktober 2011).

Jurnal Energi dan Manufaktur
Sekretariat: Jurusan Teknik Mesin
Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung – Bali 80362
Telp./Fax.: 62 361 703321
E-mail: jem.jurnal@yahoo.com
<http://ejournal.unud.ac.id>



9 772302 525000